



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής»  
«Advanced Control Systems and Robotics»

«Ιδιότητες Επιθυμητών Κανονικών Γλωσσών και Ανάπτυξη  
Κώδικα για PLC»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής» του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στα Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής

από τον

Δημήτριο Σαμαρά

Ιούνιος 2022



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής»  
«Advanced Control Systems and Robotics»

«Ιδιότητες Επιθυμητών Κανονικών Γλωσσών και Ανάπτυξη  
Κώδικα για PLC»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής» του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στα Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής

από τον

Δημήτριο Σαμαρά

Δήλωση Αυθεντικότητας, ζητήματα **Copyright**

«Ο μεταπτυχιακός φοιτητής που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κ.λπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

Ιούνιος 2022

«Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Συνέλευση του Γενικού Τμήματος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του ΠΜΣ «Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής». Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

1. Νικόλαος Δ. Κούβακας, Αναπληρωτής Καθηγητής .....(Επιβλέπων)
2. Φώτιος Ν. Κουμπουλής, Καθηγητής.....(Μέλος)
3. Δημήτριος Γ. Φραγκούλης, Επίκουρος Καθηγητής.....(Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Γενικό Τμήμα του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.

Σύμφωνα με τον Ν. 4589/2019 (ΦΕΚ 13/29-1-2019 τ. Α) το Π.Μ.Σ. «Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής» εντάχθηκε στο Γενικό Τμήμα του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.»

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί το σύστημα ενός κινούμενου ρομποτικού συστήματος σχεδιασμένο για να συμμετέχει σε έναν ρομποτικό αγώνα σούμιο. Το ρομποτικό σύστημα αποτελείται από δύο κινητήρες σταθερού ρεύματος, δύο αισθητήρες φωτός και τέσσερις αισθητήρες απόστασης. Οι δύο πρώτοι είναι κατάλληλα τοποθετημένοι και χρησιμοποιούνται για να παραμένει το ρομποτικό σύστημα εντός του χώρου που πραγματοποιείται ο αγώνας ενώ οι τέσσερις αισθητήρες απόστασης χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό του αντιπάλου. Θα παρουσιαστούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Θα αναπτυχθεί το συνολικό μοντέλο του συστήματος. Θα παρουσιαστούν τα αυτόματα αναφοράς των επιθυμητών συμπεριφορών της βιβλιογραφίας και θα διερευνηθεί η δυνατότητα περιγραφής των επιθυμητών συμπεριφορών του συστήματος σε μορφή απλών επιθυμητών κανονικών γλωσσών. Θα διερευνηθούν οι ιδιότητες των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Θα διερευνηθεί η δυνατότητα σχεδιασμού μίας δομοστοιχειωτής αρχιτεκτονικής εποπτικού ελέγχου. Τέλος, θα αναπτυχθεί κώδικας για την υλοποίηση των προτεινόμενων ελεγκτών σε περιβάλλον PLC.

**Λέξεις κλειδιά:** Πεπερασμένα ντετερμινιστικά αυτόματα, Επόπτης ελεγκτής, Κανονικές Γλώσσες, Δομοστοιχειωτός εποπτικός έλεγχος, Έλεγχος Ρομποτικών Συστημάτων

## Abstract

In this diploma thesis, the system of a moving robotic system designed to participate in a robotic sumo fight will be presented. The robotic system consists of two DC motors, two light sensors and four distance sensors. The first two are properly positioned and are used to keep the robotic system inside the space where the fight takes place while the four distance sensors are used to locate the opponent. The mathematical models of the individual subsystems of the system using finite deterministic automata will be presented. The overall system model will be developed. The automata references of the desired behaviors of the literature will be presented and the possibility of describing the desired behaviors of the system in the form of simple desired normal languages will be explored. The properties of the desired languages regarding the overall automaton will be investigated. The possibility of designing a modular supervisory architecture will be explored. Finally, Ladder diagrams will be developed for the implementation of the proposed controllers in a PLC environment.

**Keywords:** Deterministic Finite Automaton, Supervisory control, Regular Languages, Modular supervisory control, Control of Robotic Systems

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	3
2.1 ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	3
2.2 ΣΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	4
2.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....	5
2.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ .....	8
2.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ .....	16
3.1 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΓΛΩΣΣΑ ΕΠΙΘΕΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	16
3.2 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΓΛΩΣΣΑ ΑΜΥΝΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	18
4.1 ΕΠΟΠΤΕΣ ΤΩΝ ΕΠΙΘΕΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	18
4.2 ΕΠΟΠΤΗΣ ΤΩΝ ΑΜΥΝΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ .....	21
4.3 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΟΠΤΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΘΕΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	23
4.4 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΟΠΤΗ ΤΩΝ ΑΜΥΝΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	28
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	29

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα $s_1$ του ρομποτικού οχήματος.....	6
Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα $s_2$ του ρομποτικού οχήματος.....	8
Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα $p_1$ του ρομποτικού οχήματος.....	10
Σχήμα 4: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα $p_2$ του ρομποτικού οχήματος.....	11
Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα $p_3$ του ρομποτικού οχήματος.....	13
Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα $p_4$ του ρομποτικού οχήματος.....	14
Σχήμα 7: Το αυτόματο του επόπτη $S_1$ .....	19
Σχήμα 8: Το αυτόματο του επόπτη $S_2$ .....	20
Σχήμα 9: Το αυτόματο του επόπτη $S_3$ .....	23
Σχήμα 10: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη $S_1$ .....	23
Σχήμα 15: Διάγραμμα Ladder του επόπτη $S_1$ .....	24
Σχήμα 12: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη $S_2$ .....	24
Σχήμα 13: Διάγραμμα Ladder του επόπτη $S_2$ .....	25
Σχήμα 14: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη $S_3$ .....	26
Σχήμα 15: Διάγραμμα Ladder του επόπτη $S_3$ .....	27





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί το σύστημα ενός κινούμενου ρομποτικού συστήματος σχεδιασμένο για να συμμετέχει σε έναν ρομποτικό αγώνα σούμο [1]. Το ρομποτικό σύστημα αποτελείται από δύο κινητήρες σταθερού ρεύματος, δύο αισθητήρες φωτός και τέσσερις αισθητήρες απόστασης. Οι δύο πρώτοι είναι κατάλληλα τοποθετημένοι και χρησιμοποιούνται για να παραμένει το ρομποτικό σύστημα εντός του χώρου που πραγματοποιείται ο αγώνας ενώ οι τέσσερις αισθητήρες απόστασης χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό του αντιπάλου. Θα παρουσιαστούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Θα αναπτυχθεί το συνολικό μοντέλο του συστήματος.

Θα παρουσιαστούν τα αυτόματα αναφοράς των επιθυμητών συμπεριφορών της βιβλιογραφίας και θα διερευνηθεί η δυνατότητα περιγραφής των επιθυμητών συμπεριφορών του συστήματος σε μορφή απλών επιθυμητών κανονικών γλωσσών ([1]-[2]). Θα διερευνηθούν οι ιδιότητες των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Θα διερευνηθεί η δυνατότητα σχεδιασμού μίας δομοστοιχειωτής αρχιτεκτονικής εποπτικού ελέγχου. Τέλος, θα αναπτυχθεί κώδικας για την υλοποίηση των προτεινόμενων ελεγκτών σε περιβάλλον PLC.

Η αναλυτική περιγραφή της δομής της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Στο Κεφάλαιο 2 θα παρουσιαστεί η περιγραφή του συστήματος και τα μαθηματικά μοντέλα όλων των υποσυστημάτων των αισθητήρων με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων.

Στο Κεφάλαιο 3 θα παρουσιαστεί η επιθυμητή συμπεριφορά στη μορφή κανονικών γλωσσών και θα διερευνηθεί η ελεγκσιμότητα των επιθυμητών γλωσσών.

Στο Κεφάλαιο 4 θα σχεδιαστούν οι επόπτες του συστήματος και θα υλοποιηθούν σε γλώσσα Ladder.

Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής.

-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

### 2.1 ΕΝΤΟΛΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Όπως ήδη προαναφέρθηκε το ρομποτικό όχημα έχει τέσσερεις ενεργοποιητές, 2 κινητήρες συνεχούς ρεύματος σε κάθε πλευρά του ρομπότ [1]. Το μαθηματικό μοντέλο του κάθε ενεργοποιητή ή του ρομποτικού οχήματος με τους ενεργοποιητές δεν θα παρουσιαστεί. Όμως, και καθότι είναι απαραίτητα για τη μοντελοποίηση των αισθητήρων, θα παρουσιαστεί η περιγραφή των συμβάντων/εντολών κίνησης. Τα συμβάντα κίνησης του ρομποτικού οχήματος είναι

$$\mathbb{E}_m = \{e_{f,1}, e_{f,2}, e_r, e_{e,1}, e_{e,2}, e_{e,3}, e_{r,1}, e_{r,2}, e_{r,3}\}$$

Το συμβάν  $e_{f,1}$  είναι η εντολή στο ρομποτικό όχημα να κινηθεί με κατεύθυνση προς τα μπροστά με χαμηλή ταχύτητα. Το συμβάν  $e_{f,2}$  είναι η εντολή στο ρομποτικό όχημα να κινηθεί με κατεύθυνση προς τα μπροστά με υψηλή ταχύτητα. Το συμβάν  $e_r$  είναι η εντολή στο ρομποτικό όχημα να κινηθεί με κατεύθυνση προς τα πίσω. Το συμβάν  $e_{e,1}$  είναι η εντολή στο ρομποτικό όχημα να κινηθεί με κατεύθυνση προς τα αριστερά. Το συμβάν  $e_{e,2}$  είναι η εντολή στο ρομποτικό όχημα να κινηθεί επιτόπου προς τα αριστερά για ορισμένο προκαθορισμένο χρόνο. Το συμβάν  $e_{e,3}$  είναι η εντολή στο ρομποτικό όχημα να κινηθεί επιτόπου προς τα αριστερά μέχρι κάποιο άλλο συμβάν λάβει χώρα (μη ελέγξιμο συμβάν αισθητήρα. Το συμβάν  $e_{r,1}$  είναι η εντολή στο ρομποτικό όχημα να κινηθεί με κατεύθυνση προς τα δεξιά. Το συμβάν  $e_{r,2}$  είναι η εντολή στο ρομποτικό όχημα να κινηθεί επιτόπου προς τα δεξιά για ορισμένο προκαθορισμένο χρόνο. Το συμβάν  $e_{r,3}$  είναι η εντολή στο ρομποτικό όχημα να κινηθεί επιτόπου προς τα δεξιά μέχρι κάποιο άλλο συμβάν λάβει χώρα (μη ελέγξιμο συμβάν αισθητήρα.

## 2.2 ΣΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο ρομπότ βρίσκεται εγκατεστημένος ένας μεγάλος αριθμός αισθητήρων για την καλύτερη κίνηση του ρομπότ στο χώρο [1]. Έτσι στο ρομπότ έχουν εγκατασταθεί 6 αισθητήρες, 2 αισθητήρες χρώματος ( $s_1$  και  $s_2$ ) τοποθετημένοι κατάλληλα και 4 αισθητήρες απόστασης ( $p_1, p_2, p_3$  και  $p_4$ ). Οι αισθητήρες χρώματος επιτρέπουν στο ρομποτικό όχημα να παραμένει μέσα στον προκαθορισμένο χώρο στον οποίο πραγματοποιείται ο αγώνας. Οι αισθητήρες απόστασης αναζητούν τον αντίπαλο. Ο αισθητήρας  $s_1$  βρίσκεται εγκατεστημένος στο μπροστινό τμήμα του ρομποτικού οχήματος στα αριστερά. Ο αισθητήρας  $s_2$  βρίσκεται εγκατεστημένος στο μπροστινό τμήμα του ρομποτικού οχήματος στα δεξιά. Ο αισθητήρας  $p_1$  βρίσκεται εγκατεστημένος στο μπροστινό τμήμα του ρομποτικού οχήματος στα αριστερά. Ο αισθητήρας  $p_2$  βρίσκεται εγκατεστημένος στο μπροστινό τμήμα του ρομποτικού οχήματος στα δεξιά. Ο αισθητήρας  $p_3$  βρίσκεται εγκατεστημένος στο αριστερό τμήμα του ρομποτικού οχήματος. Ο αισθητήρας  $p_4$  βρίσκεται εγκατεστημένος στο αριστερό τμήμα του ρομποτικού οχήματος. Επίσης στο ρομποτικό όχημα βρίσκεται εγκατεστημένο και ένα κουμπί  $b$  για την έναρξη του αγώνα. Τα συμβάντα των αισθητήρων του ρομποτικού οχήματος είναι

$$\mathbb{E}_m = \{e_{f,1}, e_{f,2}, e_r, e_{e,1}, e_{e,2}, e_{e,3}, e_{r,1}, e_{r,2}, e_{r,3}\}$$

Το συμβάν  $e_b$  λαμβάνει χώρα όταν το κουμπί εκκίνησης πατηθεί. Το συμβάν  $e_{s,1}$  είναι το σήμα από τον αισθητήρα χρώματος  $s_1$  για αλλαγή χρώματος. Το συμβάν  $e_{s,2}$  είναι το σήμα από τον αισθητήρα χρώματος  $s_2$  για αλλαγή χρώματος. Το συμβάν  $e_{p,3}$  είναι το σήμα από τον αισθητήρα απόστασης  $p_3$  για εντοπισμό του αντιπάλου ρομπότ. Το συμβάν  $e_{p,4}$  είναι το σήμα από τον αισθητήρα απόστασης  $p_4$  για εντοπισμό του αντιπάλου ρομπότ. Το συμβάν  $e_{p,11}$  είναι το σήμα (ακμή ανόδου του σήματος) από τον αισθητήρα απόστασης  $p_1$  για εντοπισμό του αντιπάλου ρομπότ (ακμή ανόδου του σήματος). Το συμβάν  $e_{p,12}$  είναι το σήμα από τον αισθητήρα απόστασης  $p_1$  ότι δεν εντοπίζεται το αντίπαλο ρομπότ (ακμή καθόδου του σήματος). Το συμβάν  $e_{p,21}$  είναι το σήμα (ακμή ανόδου του σήματος) από τον αισθητήρα απόστασης  $p_2$  για εντοπισμό του αντιπάλου ρομπότ (ακμή ανόδου του σήματος). Το συμβάν  $e_{p,22}$  είναι το σήμα από τον αισθητήρα απόστασης  $p_2$  ότι δεν εντοπίζεται το αντίπαλο ρομπότ (ακμή καθόδου του σήματος). Το συμβάν  $e_r$  λαμβάνει χώρα όταν ο χρόνος για την αρνητική ακμή ενός εκ των δύο αισθητήρων απόστασης  $p_1$  ή  $p_2$  έχει παρέλθει.

## 2.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Το μαθηματικό μοντέλο του αισθητήρα χρώματος  $s_1$  [1] με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[9]) είναι

$${}^1G_1 = ({}^1Q_1, {}^1E_1, {}^1f_1, {}^1H_1, {}^1x_{1,0}, {}^1Q_{1,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$${}^1Q_1 = \{{}^1q_{1,1}, {}^1q_{1,2}, {}^1q_{1,3}, {}^1q_{1,4}\}$$

Η κατάσταση  ${}^1q_{1,1}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι απενεργοποιημένο. Η κατάσταση  ${}^1q_{1,2}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι ενεργοποιημένο και δεν έχει εντοπίσει αλλαγή χρώματος. Η κατάσταση  ${}^1q_{1,3}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου ο αισθητήρας  $s_1$  εντόπισε αλλαγή χρώματος. Η κατάσταση  ${}^1q_{1,4}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου ο αισθητήρας  $s_1$  εντόπισε αλλαγή χρώματος και το ρομποτικό όχημα κινείται με όπισθεν.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^1E_1 = E_w \cup E_m$$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι

$${}^1x_{1,0} = {}^1q_{1,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$${}^1Q_{1,m} = \{{}^1q_{1,2}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^1f_1({}^1q_{1,1}, e_b) = {}^1q_{1,2},$$

$${}^1f_1({}^1q_{1,2}, e) = {}^1q_{1,2}; e \in ({}^1E_1 - \{e_{s,1}, e_b\}), {}^1f_1({}^1q_{1,2}, e_{s,1}) = {}^1q_{1,3}$$

$${}^1f_1({}^1q_{1,3}, e_{s,2}) = {}^1q_{1,3}, {}^1f_1({}^1q_{1,3}, e_r) = {}^1q_{1,4}$$

$${}^1f_1({}^1q_{1,4}, e) = {}^1q_{1,4}; e \in (E_w - \{e_{s,1}, e_{s,2}, e_b\}), {}^1f_1({}^1q_{1,4}, e) = {}^1q_{1,2}; e \in (E_m - \{e_r\})$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$${}^1H_1({}^1q_{1,1}) = \{e_b\}, {}^1H_1({}^1q_{1,2}) = E_1 - \{e_b\},$$

$${}^1\mathbb{H}_1({}^1q_{1,3}) = \{e_r, e_{s,2}\} \text{ και } {}^1\mathbb{H}_1({}^1q_{1,4}) = {}^1\mathbb{E}_1 - \{e_{s,1}, e_{s,2}, e_b, e_r\}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι

$${}^1\mathbb{E}_{1,c} = \mathbb{E}_m \text{ συνεπώς } {}^1\mathbb{E}_{1,uc} = \mathbb{E}_w.$$

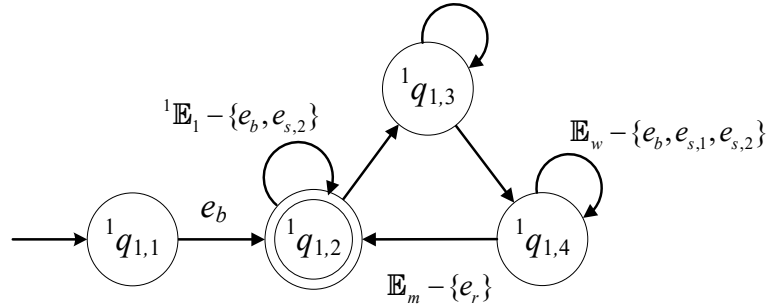
Η γλώσσα που παράγεται είναι

$$\mathbb{L}({}^2\mathbf{G}_1) = \frac{\left( e_b(e_{f,1} + e_{f,2} + e_r + e_{e,1} + e_{e,2} + e_{e,3} + e_{r,1} + e_{r,2} + e_{r,3} + e_{s,1} + e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4} + e_t)^* \right)}{e_{s,2}e_{s,1}^*e_r(e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4})^*(e_{f,1} + e_{f,2} + e_{e,1} + e_{e,2} + e_{e,3} + e_{r,1} + e_{r,2} + e_{r,3})^*}$$

Η γλώσσα που σημαδεύεται είναι

$$\mathbb{L}_m({}^2\mathbf{G}_1) = \frac{\left( e_b(e_{f,1} + e_{f,2} + e_r + e_{e,1} + e_{e,2} + e_{e,3} + e_{r,1} + e_{r,2} + e_{r,3} + e_{s,1} + e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4} + e_t)^* \right)}{e_{s,2}e_{s,1}^*e_r(e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4})^*(e_{f,1} + e_{f,2} + e_{e,1} + e_{e,2} + e_{e,3} + e_{r,1} + e_{r,2} + e_{r,3})^*}$$

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αισθητήρα  $s_1$  του ρομποτικού οχήματος.



Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα  $s_1$  του ρομποτικού οχήματος

Το μαθηματικό μοντέλο του αισθητήρα χρώματος  $s_2$  με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[9]) είναι

$${}^1\mathbf{G}_2 = ({}^1\mathbb{Q}_2, {}^1\mathbb{E}_2, {}^1f_2, {}^1\mathbb{H}_2, {}^1x_{2,0}, {}^1\mathbb{Q}_{2,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$${}^1\mathbb{Q}_2 = \{{}^1q_{2,1}, {}^1q_{2,2}, {}^1q_{2,3}, {}^1q_{2,4}\}$$

Η κατάσταση  ${}^1q_{2,1}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι απενεργοποιημένο. Η κατάσταση  ${}^1q_{2,2}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι ενεργοποιημένο και δεν έχει εντοπίσει αλλαγή χρώματος. Η κατάσταση  ${}^1q_{2,3}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου ο αισθητήρας  $s_2$  εντόπισε αλλαγή χρώματος. Η κατάσταση  ${}^1q_{2,4}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου ο αισθητήρας  $s_2$  εντόπισε αλλαγή χρώματος και το ρομποτικό όχημα κινείται με όπισθεν.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^1\mathbb{E}_2 = \mathbb{E}_w \cup \mathbb{E}_m$$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι

$${}^1x_{2,0} = {}^1q_{2,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$${}^1\mathbb{Q}_{2,m} = \{{}^1q_{2,2}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^1f_2({}^1q_{2,1}, e_b) = {}^1q_{2,2},$$

$${}^1f_2({}^1q_{2,2}, e) = {}^1q_{2,2}; e \in ({}^1\mathbb{E}_2 - \{e_{s,2}, e_b\}), {}^1f_2({}^1q_{2,2}, e_{s,2}) = {}^1q_{2,3}$$

$${}^1f_2({}^1q_{2,3}, e_{s,1}) = {}^1q_{2,3}, {}^1f_2({}^1q_{2,3}, e_r) = {}^1q_{2,4}$$

$${}^1f_2({}^1q_{2,4}, e) = {}^1q_{2,4}; e \in (\mathbb{E}_w - \{e_{s,1}, e_{s,2}, e_b\}), {}^1f_2({}^1q_{2,4}, e) = {}^1q_{2,2}; e \in (\mathbb{E}_m - \{e_r\})$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$${}^1\mathbb{H}_2({}^1q_{2,1}) = \{e_b\}, {}^1\mathbb{H}_2({}^1q_{2,2}) = {}^1\mathbb{E}_2 - \{e_b\},$$

$${}^1\mathbb{H}_2({}^1q_{2,3}) = \{e_r, e_{s,1}\} \text{ και } {}^1\mathbb{H}_2({}^1q_{2,4}) = {}^1\mathbb{E}_2 - \{e_{s,1}, e_{s,2}, e_b, e_r\}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι

$${}^1\mathbb{E}_{2,c} = \mathbb{E}_m \text{ συνεπώς } {}^1\mathbb{E}_{2,uc} = \mathbb{E}_w.$$

Η γλώσσα που παράγεται είναι

$$\mathbb{L}({}^2\mathbf{G}_2) =$$

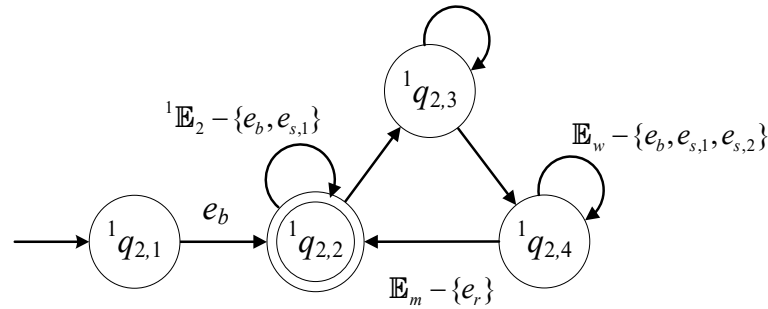
$$\frac{\left( e_b(e_{f,1} + e_{f,2} + e_r + e_{e,1} + e_{e,2} + e_{e,3} + e_{r,1} + e_{r,2} + e_{r,3} + e_{s,2} + e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4} + e_t)^* \right.}{\left. e_{s,1}e_{s,2}^*e_r(e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4})^*(e_{f,1} + e_{f,2} + e_{e,1} + e_{e,2} + e_{e,3} + e_{r,1} + e_{r,2} + e_{r,3}) \right)^*}$$

Η γλώσσα που σημαδεύεται είναι

$$\mathbb{L}_m({}^2\mathbf{G}_2) =$$

$$\left( e_b(e_{f,1} + e_{f,2} + e_r + e_{e,1} + e_{e,2} + e_{e,3} + e_{r,1} + e_{r,2} + e_{r,3} + e_{s,2} + e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4} + e_t)^* \right. \\ \left. e_{s,1}e_{s,2}^*e_r(e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4})^*(e_{f,1} + e_{f,2} + e_{e,1} + e_{e,2} + e_{e,3} + e_{r,1} + e_{r,2} + e_{r,3}) \right)^*$$

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αισθητήρα  $s_2$  του ρομποτικού οχήματος.



Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα  $s_2$  του ρομποτικού οχήματος

## 2.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ

Το μαθηματικό μοντέλο του αισθητήρα απόστασης  $p_1$  με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[9]) είναι

$${}^2\mathbf{G}_1 = ({}^2\mathbf{Q}_1, {}^2\mathbb{E}_1, {}^2f_1, {}^2\mathbb{H}_1, {}^2x_{1,0}, {}^2\mathbf{Q}_{1,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$${}^2\mathbf{Q}_1 = \{ {}^2q_{1,1}, {}^2q_{1,2}, {}^2q_{1,3} \}$$

Η κατάσταση  ${}^2q_{1,1}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι απενεργοποιημένο. Η κατάσταση  ${}^2q_{1,2}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα



είναι ενεργοποιημένο και ο αισθητήρας  $p_1$  δεν έχει εντοπίσει το αντίπαλο ρομποτικό όχημα. Η κατάσταση  ${}^2q_{1,3}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου ο αισθητήρας  $p_1$  εντόπισε το αντίπαλο ρομποτικό όχημα.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^2\mathbb{E}_1 = \{e_b, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,3}, e_{p,4}, e_r, e_t\}$$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι

$${}^2x_{1,0} = {}^2q_{1,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$${}^2\mathbb{Q}_{1,m} = \{{}^2q_{1,2}, {}^2q_{1,3}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$\begin{aligned} {}^2f_1({}^2q_{1,1}, e_b) &= {}^2q_{1,2}, \\ {}^2f_1({}^2q_{1,2}, e_{p,3}) &= {}^2q_{1,2}, \quad {}^2f_1({}^2q_{1,2}, e_{p,4}) = {}^2q_{1,2}, \quad {}^2f_1({}^2q_{1,2}, e_r) = {}^2q_{1,2}, \quad {}^2f_1({}^2q_{1,2}, e_t) = {}^2q_{1,2}, \\ {}^2f_1({}^2q_{1,2}, e_{p,11}) &= {}^2q_{1,3} \\ {}^2f_1({}^2q_{1,3}, e_{p,12}) &= {}^2q_{1,2}, \quad {}^2f_1({}^2q_{1,3}, e_r) = {}^2q_{1,2}, \quad {}^2f_1({}^2q_{1,3}, e_t) = {}^2q_{1,2} \end{aligned}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\begin{aligned} {}^2\mathbb{H}_1({}^2q_{1,1}) &= \{e_b\}, \quad {}^2\mathbb{H}_1({}^2q_{1,2}) = \{e_{p,11}, e_{p,3}, e_{p,4}, e_r, e_t\}, \\ \text{και } {}^2\mathbb{H}_1({}^2q_{1,3}) &= \{e_{p,12}, e_r, e_t\} \end{aligned}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι

$${}^2\mathbb{E}_{1,c} = \{e_r, e_t\} \text{ συνεπώς } {}^2\mathbb{E}_{1,uc} = \{e_b, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,3}, e_{p,4}\}.$$

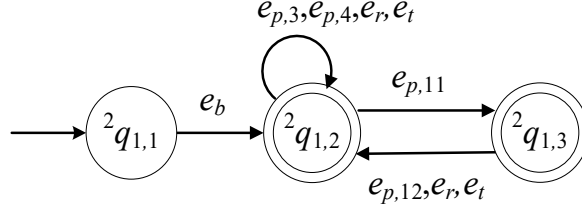
Η γλώσσα που παράγεται είναι

$$\mathbb{L}({}^2\mathbf{G}_1) = \overline{e_b \left( (e_{p,3} + e_{p,4} + e_r + e_t)^* e_{p,11} (e_{p,12} + e_r + e_t) \right)^*}$$

Η γλώσσα που σημαδεύεται είναι

$$\mathbb{L}_m({}^2\mathbf{G}_1) = \overline{\overline{e_b \left( (e_{p,3} + e_{p,4} + e_r + e_t)^* e_{p,11} (e_{p,12} + e_r + e_t) \right)^*}}$$

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αισθητήρα  $p_1$  του ρομποτικού οχήματος.



Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα  $p_1$  του ρομποτικού οχήματος

Το μαθηματικό μοντέλο του αισθητήρα απόστασης  $p_2$  με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[9]) είναι

$${}^2\mathbf{G}_2 = ({}^2\mathbf{Q}_2, {}^2\mathbf{E}_2, {}^2f_2, {}^2\mathbf{H}_2, {}^2x_{2,0}, {}^2\mathbf{Q}_{2,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$${}^2\mathbf{Q}_2 = \{{}^2q_{2,1}, {}^2q_{2,2}, {}^2q_{2,3}\}$$

Η κατάσταση  ${}^2q_{2,1}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι απενεργοποιημένο. Η κατάσταση  ${}^2q_{2,2}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι ενεργοποιημένο και ο αισθητήρας  $p_2$  δεν έχει εντοπίσει το αντίπαλο ρομποτικό όχημα. Η κατάσταση  ${}^2q_{2,3}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου ο αισθητήρας  $p_2$  εντόπισε το αντίπαλο ρομποτικό όχημα.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^2\mathbf{E}_2 = \{e_b, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,3}, e_{p,4}, e_r, e_t\}$$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι

$${}^2x_{2,0} = {}^2q_{2,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$${}^2\mathbf{Q}_{2,m} = \{{}^2q_{2,2}, {}^2q_{2,3}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^2f_2({}^2q_{2,1}, e_b) = {}^2q_{2,2},$$

$${}^2f_2({}^2q_{2,2}, e_{p,3}) = {}^2q_{2,2}, {}^2f_2({}^2q_{2,2}, e_{p,4}) = {}^2q_{2,2}, {}^2f_2({}^2q_{2,2}, e_r) = {}^2q_{2,2}, {}^2f_2({}^2q_{2,2}, e_t) = {}^2q_{2,2},$$

$${}^2f_2({}^2q_{2,2}, e_{p,21}) = {}^2q_{2,3}$$

$${}^2f_2({}^2q_{2,3}, e_{p,22}) = {}^2q_{2,2}, \quad {}^2f_2({}^2q_{2,3}, e_r) = {}^2q_{2,2}, \quad {}^2f_2({}^2q_{2,3}, e_t) = {}^2q_{2,2}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$${}^2\mathbb{H}_2({}^2q_{2,1}) = \{e_b\}, \quad {}^2\mathbb{H}_2({}^2q_{2,2}) = \{e_{p,21}, e_{p,3}, e_{p,4}, e_r, e_t\},$$

$$\text{και } {}^2\mathbb{H}_2({}^2q_{2,3}) = \{e_{p,22}, e_r, e_t\}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι  ${}^2\mathbb{E}_{2,c} = \{e_r, e_t\}$  συνεπώς  ${}^2\mathbb{E}_{2,uc} = \{e_b, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,3}, e_{p,4}\}$ .

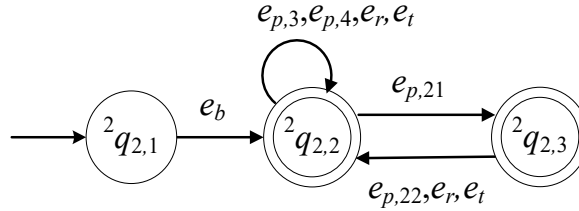
Η γλώσσα που παράγεται είναι

$$\mathbb{L}({}^2\mathbf{G}_2) = \overline{e_b \left( (e_{p,3} + e_{p,4} + e_r + e_t)^* e_{p,21} (e_{p,22} + e_r + e_t) \right)^*}$$

Η γλώσσα που σημαδεύεται είναι

$$\mathbb{L}_m({}^2\mathbf{G}_2) = \overline{e_b \left( (e_{p,3} + e_{p,4} + e_r + e_t)^* e_{p,21} (e_{p,22} + e_r + e_t) \right)^*}$$

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αισθητήρα  $p_2$  του ρομποτικού οχήματος.



Σχήμα 4: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα  $p_2$  του ρομποτικού οχήματος

Το μαθηματικό μοντέλο του αισθητήρα απόστασης  $p_3$  με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[9]) είναι

$${}^2\mathbf{G}_3 = ({}^2\mathbb{Q}_3, {}^2\mathbb{E}_3, {}^2f_3, {}^2\mathbb{H}_3, {}^2x_{3,0}, {}^2\mathbb{Q}_{3,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$${}^2\mathbb{Q}_3 = \{{}^2q_{3,1}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{3,3}\}$$

Η κατάσταση  ${}^2q_{3,1}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι απενεργοποιημένο. Η κατάσταση  ${}^2q_{3,2}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι ενεργοποιημένο και ο αισθητήρας  $p_3$  δεν έχει εντοπίσει το αντίπαλο ρομποτικό όχημα. Η κατάσταση  ${}^2q_{3,3}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου ο αισθητήρας  $p_3$  εντόπισε το αντίπαλο ρομποτικό όχημα.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^2\mathbb{E}_3 = \{e_b, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,3}, e_r, e_{e,3}\}$$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι

$${}^2x_{3,0} = {}^2q_{3,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$${}^2\mathbb{Q}_{3,m} = \{{}^2q_{3,2}, {}^2q_{3,3}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^2f_3({}^2q_{3,1}, e_b) = {}^2q_{3,2},$$

$$\begin{aligned} {}^2f_3({}^2q_{3,2}, e_{p,11}) &= {}^2q_{3,2}, \quad {}^2f_3({}^2q_{3,2}, e_{p,12}) = {}^2q_{3,2}, \quad {}^2f_3({}^2q_{3,2}, e_{p,21}) = {}^2q_{3,2}, \quad {}^2f_3({}^2q_{3,2}, e_{p,22}) = {}^2q_{3,2}, \\ {}^2f_3({}^2q_{3,2}, e_r) &= {}^2q_{3,2}, \quad {}^2f_3({}^2q_{3,2}, e_{p,3}) = {}^2q_{3,3} \\ {}^2f_3({}^2q_{3,3}, e_{e,3}) &= {}^2q_{3,2}, \quad {}^2f_3({}^2q_{3,3}, e_r) = {}^2q_{3,2} \end{aligned}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\begin{aligned} {}^2\mathbb{H}_3({}^2q_{3,1}) &= \{e_b\}, \quad {}^2\mathbb{H}_3({}^2q_{3,2}) = \{e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,3}, e_r\}, \\ \text{και } {}^2\mathbb{H}_3({}^2q_{3,3}) &= \{e_{e,3}, e_r\} \end{aligned}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι

$${}^2\mathbb{E}_{3,c} = \{e_r, e_{e,3}\} \text{ συνεπώς } {}^2\mathbb{E}_{3,uc} = \{e_b, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,3}\}.$$

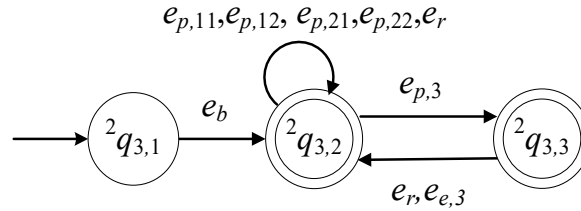
Η γλώσσα που παράγεται είναι

$$\mathbb{L}({}^2\mathbf{G}_3) = \overline{e_b \left( (e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_r)^* e_{p,3} (e_{e,3} + e_r) \right)^*}$$

Η γλώσσα που σημαδεύεται είναι

$$\mathbb{L}_m({}^2\mathbf{G}_3) = \overline{e_b \left( (e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_r)^* e_{p,3} (e_{e,3} + e_r) \right)^*}$$

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αισθητήρα  $p_3$  του ρομποτικού οχήματος.



Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα  $p_3$  του ρομποτικού οχήματος

Το μαθηματικό μοντέλο του αισθητήρα απόστασης  $p_4$  με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[9]) είναι

$${}^2\mathbf{G}_4 = ({}^2\mathbf{Q}_4, {}^2\mathbf{E}_4, {}^2f_4, {}^2\mathbf{H}_4, {}^2x_{4,0}, {}^2\mathbf{Q}_{4,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$${}^2\mathbf{Q}_4 = \{{}^2q_{4,1}, {}^2q_{4,2}, {}^2q_{4,3}\}$$

Η κατάσταση  ${}^2q_{4,1}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι απενεργοποιημένο. Η κατάσταση  ${}^2q_{4,2}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου το ρομποτικό όχημα είναι ενεργοποιημένο και ο αισθητήρας  $p_4$  δεν έχει εντοπίσει το αντίπαλο ρομποτικό όχημα. Η κατάσταση  ${}^2q_{4,3}$  συμβολίζει την περίπτωση όπου ο αισθητήρας  $p_4$  εντόπισε το αντίπαλο ρομποτικό όχημα.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^2\mathbf{E}_4 = \{e_b, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,4}, e_r, e_{r,3}\}$$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι

$${}^2x_{4,0} = {}^2q_{4,1}.$$

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$${}^2\mathbf{Q}_{4,m} = \{{}^2q_{4,2}, {}^2q_{4,3}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^2f_4({}^2q_{4,1}, e_b) = {}^2q_{4,2},$$

$$\begin{aligned}
{}^2f_4({}^2q_{4,2}, e_{p,11}) &= {}^2q_{4,2}, & {}^2f_4({}^2q_{4,2}, e_{p,12}) &= {}^2q_{4,2}, & {}^2f_4({}^2q_{4,2}, e_{p,21}) &= {}^2q_{4,2}, & {}^2f_4({}^2q_{4,2}, e_{p,22}) &= {}^2q_{4,2}, \\
{}^2f_4({}^2q_{4,2}, e_r) &= {}^2q_{4,2}, & {}^2f_4({}^2q_{4,2}, e_{p,4}) &= {}^2q_{4,3} \\
{}^2f_4({}^2q_{4,3}, e_{r,3}) &= {}^2q_{4,2}, & {}^2f_4({}^2q_{4,3}, e_r) &= {}^2q_{4,2}
\end{aligned}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\begin{aligned}
{}^2\mathbb{H}_4({}^2q_{4,1}) &= \{e_b\}, & {}^2\mathbb{H}_4({}^2q_{4,2}) &= \{e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,4}, e_r\}, \\
&& \text{και } {}^2\mathbb{H}_4({}^2q_{4,3}) &= \{e_{r,3}, e_r\}
\end{aligned}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι

$${}^2\mathbb{E}_{4,c} = \{e_r, e_{r,3}\} \text{ συνεπώς } {}^2\mathbb{E}_{4,uc} = \{e_b, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,4}\}.$$

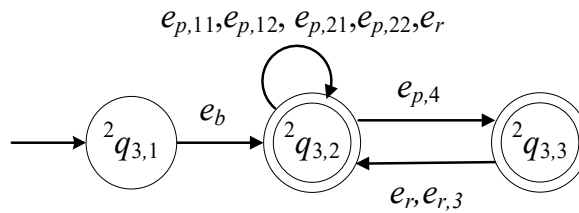
Η γλώσσα που παράγεται είναι

$$\mathbb{L}({}^2\mathbf{G}_4) = \overline{e_b \left( (e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_r)^* e_{p,4} (e_{r,3} + e_r) \right)^*}$$

Η γλώσσα που σημαδεύεται είναι

$$\mathbb{L}_m({}^2\mathbf{G}_4) = \overline{e_b \left( (e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_r)^* e_{p,4} (e_{r,3} + e_r) \right)^*}$$

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αισθητήρα  $p_4$  του ρομποτικού οχήματος.



Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του αισθητήρα  $p_4$  του ρομποτικού οχήματος

## 2.5 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Έστω ότι στο ρομποτικό όχημα εφαρμόζεται η αλληλουχία συμβάντων  $e_{p,3}e_b e_f e_{s,1} e_{s,2} e_r e_{p,11} e_{p,21} e_f e_{s,1} e_f$ . Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η προσομοίωση του συστήματος δύο τραίνων και ενός διακόπτη.

Πίνακας 1: Προσομοίωση του ρομποτικού οχήματος

Συμβάντα	Καταστάσεις
	$({}^1q_{1,1}, {}^1q_{2,1}, {}^2q_{1,1}, {}^2q_{2,1}, {}^2q_{3,1}, {}^2q_{4,1})$
$e_{p,3}$	$({}^1q_{1,1}, {}^1q_{2,1}, {}^2q_{1,1}, {}^2q_{2,1}, {}^2q_{3,1}, {}^2q_{4,1})$
$e_b$	$({}^1q_{1,2}, {}^1q_{2,2}, {}^2q_{1,2}, {}^2q_{2,2}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$
$e_f$	$({}^1q_{1,2}, {}^1q_{2,2}, {}^2q_{1,2}, {}^2q_{2,2}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$
$e_{s,1}$	$({}^1q_{1,3}, {}^1q_{2,2}, {}^2q_{1,2}, {}^2q_{2,2}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$
$e_{s,2}$	$({}^1q_{1,3}, {}^1q_{2,3}, {}^2q_{1,2}, {}^2q_{2,2}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$
$e_r$	$({}^1q_{1,4}, {}^1q_{2,4}, {}^2q_{1,2}, {}^2q_{2,2}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$
$e_{p,11}$	$({}^1q_{1,4}, {}^1q_{2,4}, {}^2q_{1,3}, {}^2q_{2,2}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$
$e_{p,21}$	$({}^1q_{1,4}, {}^1q_{2,4}, {}^2q_{1,3}, {}^2q_{2,3}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$
$e_f$	$({}^1q_{1,2}, {}^1q_{2,2}, {}^2q_{1,3}, {}^2q_{2,3}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$
$e_{s,1}$	$({}^1q_{1,3}, {}^1q_{2,2}, {}^2q_{1,3}, {}^2q_{2,3}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$
$e_f$	$({}^1q_{1,3}, {}^1q_{2,2}, {}^2q_{1,3}, {}^2q_{2,3}, {}^2q_{3,2}, {}^2q_{4,2})$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΠΙΘΥΜΗΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ

Στην [1] παρουσιάστηκε η επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος στη μορφή αυτομάτων χωρίς να ληφθούν υπόψη θέματα ελεγχιμότητα και πιθανών αδιεξόδων που μπορούν να δημιουργηθούν στο ελεγχόμενο σύστημα. Στη συνέχεια η συμπεριφοράς αυτές θα παρουσιαστούν στη μορφή κανονικών γλωσσών. Μέσω των ιδιοτήτων των κανονικών γλωσσών θα αποδειχθεί η ελεγχιμότητα και η αποφυγή του εγκλωβισμού του ελεγχόμενου αυτόματου. Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστούν οι επιθετικές στρατηγικές βασιζόμενες στους δύο πλαϊνούς αισθητήρες απόστασης και οι αμυντικές στρατηγικές του ρομποτικού οχήματος.

### 3.1 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΓΛΩΣΣΑ ΕΠΙΘΕΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Η επιθετική στρατηγική έχει ως στόχο την αποφυγή απομάκρυνσης του ρομποτικού οχήματος από τον στόχο μετά τον εντοπισμό του αντιπάλου από τον αισθητήρα  $p_3$ .

Η επιθυμητή γλώσσα είναι

$$\mathbb{K}_{D,1} = e_b \left( (e_f + e_r)^* e_{p,3} (e_{e,3} + e_r) \right)^*$$

Η παραπάνω γλώσσα είναι ελέγξιμη καθότι αποτελεί τμήμα της γλώσσας  $\mathbb{L}_m({}^2\mathbf{G}_3)$  από την οποία έχουν αφαιρεθεί κάποια μη ελέγξιμα συμβάντα πράγμα που σημαίνει ότι λαμβάνουν πάντα χώρα στη γλώσσα και έχει προστεθεί ένα ελέγξιμο συμβάν, το συμβάν  $e_f$  ([3]-[4]).

Η επιθετική στρατηγική έχει ως στόχο την αποφυγή απομάκρυνσης του ρομποτικού οχήματος από τον στόχο μετά τον εντοπισμό του αντιπάλου από τον αισθητήρα  $p_4$ .

Η επιθυμητή γλώσσα είναι



$$\mathbb{K}_{D,2} = e_b \left( \overline{(e_f + e_r)^* e_{p,4} (e_{r,3} + e_r)^*} \right)$$

Η παραπάνω γλώσσα είναι ελέγξιμη καθότι αποτελεί τμήμα της γλώσσας  $\mathbb{L}_m(^2\mathbf{G}_4)$  από την οποία έχουν αφαιρεθεί κάποια μη ελέγξιμα συμβάντα πράγμα που σημαίνει ότι λαμβάνουν πάντα χώρα στη γλώσσα και έχει προστεθεί ένα ελέγξιμο συμβάν, το συμβάν  $e_f$  ([3]-[4]).

### 3.2 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΓΛΩΣΣΑ ΑΜΥΝΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Η αμυντική στρατηγική έχει ως στόχο αρχικά την αποφυγή της κίνησης του ρομποτικού οχήματος εκτός ορίων. Όταν εντοπίσει ότι βρίσκεται στα όρια του χώρου τότε κινείται με κατεύθυνση προς τα πίσω και στη συνέχεια με τα αντίστοιχα συμβάντα γυρνάει και είναι έτοιμο για επίθεση.

Η επιθυμητή γλώσσα είναι

$$\mathbb{K}_{D,3} = e_b \left( \overline{(e_f + e_{e,3} + e_{r,3} + e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4})^*} \right. \\ \left. \overline{\left( (e_{s,1} (e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{d,2})^* e_{s,1} (e_r + e_{s,2})^* + \right.} \right. \\ \left. \left. (e_{s,2} (e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{e,2})^* e_{s,2} (e_r + e_{s,1})^* \right) (e_{p,3} e_{e,3} + e_{p,4} e_{r,3}) \right)} \right)$$

Η παραπάνω γλώσσα είναι ελέγξιμη καθότι όλες οι αλληλουχίες των μη ελέγξιμων συμβάντων ακολουθούν τις αντίστοιχες αλληλουχίες των αυτόματων των αισθητήρων ([3]-[4]).

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

## 4.1 ΕΠΟΠΤΕΣ ΤΩΝ ΕΠΙΘΕΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Για την επιθυμητή γλώσσα  $\mathbb{K}_{D,1}$  ο επόπτης είναι της μορφής

$$\mathbf{S}_1 = (\mathbb{Q}_{S,1}, \mathbb{E}_{S,1}, f_{S,1}, \mathbb{H}_{S,1}, x_{S,1,0}, \mathbb{Q}_{S,1,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$$\mathbb{Q}_{S,1} = \{q_{S,1,1}, q_{S,1,2}, q_{S,1,3}\}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,1} = \{e_b, e_f, e_r, e_{p,3}, e_{e,3}\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,1}(q_{S,1,1}, e_b) = q_{S,1,2},$$

$$f_{S,1}(q_{S,1,2}, e_f) = q_{S,1,2}, f_{S,1}(q_{S,1,2}, e_r) = q_{S,1,2}, f_{S,1}(q_{S,1,2}, e_{p,3}) = q_{S,1,3}$$

$$f_{S,1}(q_{S,1,3}, e_{e,3}) = q_{S,1,2} \text{ και } f_{S,1}(q_{S,1,3}, e_r) = q_{S,1,2}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,1}(q_{S,1,1}) = \{e_b\}, \mathbb{H}_{S,1}(q_{S,1,2}) = \{e_f, e_r, e_{p,3}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,1}(q_{S,1,3}) = \{e_r, e_{e,3}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι

$$x_{S,1,0} = q_{S,1,1}.$$

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_{S,1,m} = \mathbb{Q}_{S,1}.$$

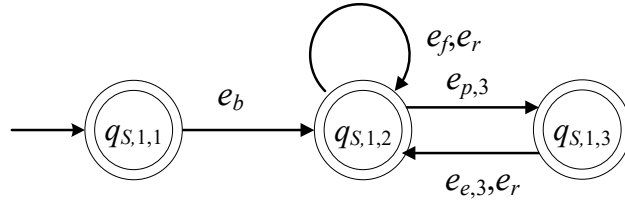
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(S_1) = \overline{e_b \left( (e_f + e_r)^* e_{p,3} (e_{e,3} + e_r) \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(S_1) = \overline{e_b \left( (e_f + e_r)^* e_{p,3} (e_{e,3} + e_r) \right)^*}$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7: Το αυτόματο του επόπτη  $S_1$

Για την επιθυμητή γλώσσα  $\mathbb{K}_{D,2}$  ο επόπτης είναι της μορφής

$$S_2 = (\mathbb{Q}_{S,2}, \mathbb{E}_{S,2}, f_{S,2}, \mathbb{H}_{S,2}, x_{S,2,0}, \mathbb{Q}_{S,2,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$$\mathbb{Q}_{S,2} = \{q_{S,2,1}, q_{S,2,2}, q_{S,2,3}\}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,2} = \{e_b, e_f, e_r, e_{p,4}, e_{r,3}\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,2}(q_{S,2,1}, e_b) = q_{S,2,2},$$

$$f_{S,2}(q_{S,2,2}, e_f) = q_{S,2,2}, f_{S,2}(q_{S,2,2}, e_r) = q_{S,2,2}, f_{S,2}(q_{S,2,2}, e_{p,4}) = q_{S,2,3}$$

$$f_{S,2}(q_{S,2,3}, e_{r,3}) = q_{S,2,2} \text{ και } f_{S,2}(q_{S,2,3}, e_r) = q_{S,2,2}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,2}(q_{S,2,1}) = \{e_b\}, \mathbb{H}_{S,2}(q_{S,2,2}) = \{e_f, e_r, e_{p,4}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,2}(q_{S,2,3}) = \{e_r, e_{r,3}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι

$$x_{S,2,0} = q_{S,2,1}.$$

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι

$$Q_{S,2,m} = Q_{S,2}.$$

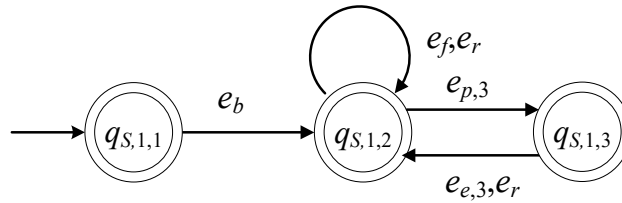
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(S_2) = \overline{e_b ((e_f + e_r)^* e_{p,4} (e_{r,3} + e_r))^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(S_2) = \overline{e_b ((e_f + e_r)^* e_{p,4} (e_{r,3} + e_r))^*}$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8: Το αυτόματο του επόπτη  $S_2$

## 4.2 ΕΠΟΠΤΗΣ ΤΩΝ ΑΜΥΝΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Για την επιθυμητή γλώσσα  $\mathbb{K}_{D,3}$  ο επόπτης είναι της μορφής

$$\mathbf{S}_3 = (\mathbb{Q}_{S,3}, \mathbb{E}_{S,3}, f_{S,3}, \mathbb{H}_{S,3}, x_{S,3,0}, \mathbb{Q}_{S,3,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$$\mathbb{Q}_{S,3} = \{q_{S,3,1}, q_{S,3,2}, q_{S,3,3}, q_{S,3,4}, q_{S,3,5}, q_{S,3,6}\}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,3} = \{e_b, e_f, e_r, e_{e,3}, e_{r,3}, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,3}, e_{p,4}, e_{s,1}, e_{s,2}, e_{e,2}, e_{r,2}\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$\begin{aligned} f_{S,3}(q_{S,3,1}, e_b) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_f) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{e,3}) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{r,3}) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{p,11}) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{p,12}) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{p,21}) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{p,22}) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{p,3}) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{p,4}) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{s,1}) &= q_{S,3,3}, & f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{s,2}) &= q_{S,3,4}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,3}, e_{p,11}) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,3}, e_{p,12}) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,3}, e_{p,21}) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,3}, e_{p,22}) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,3}, e_{d,2}) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,3}, e_r) &= q_{S,3,3}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,3}, e_{s,2}) &= q_{S,3,3}, & f_{S,3}(q_{S,3,3}, e_{p,3}) &= q_{S,3,5}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,3}, e_{p,4}) &= q_{S,3,6}, & f_{S,3}(q_{S,3,4}, e_{p,11}) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,4}, e_{p,12}) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,4}, e_{p,21}) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,4}, e_{p,22}) &= q_{S,3,2}, & f_{S,3}(q_{S,3,4}, e_{e,2}) &= q_{S,3,2}, \\ f_{S,3}(q_{S,3,4}, e_r) &= q_{S,3,4}, & f_{S,3}(q_{S,3,4}, e_{s,1}) &= q_{S,3,4}, \end{aligned}$$

$$f_{S,3}(q_{S,3,4}, e_{p,3}) = q_{S,3,5}, f_{S,3}(q_{S,3,4}, e_{p,4}) = q_{S,3,6}$$

$$f_{S,3}(q_{S,3,5}, e_{e,3}) = q_{S,3,2} \text{ και } f_{S,3}(q_{S,3,6}, e_{r,3}) = q_{S,3,2}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,1}) = \{e_b\},$$

$$\mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,2}) = \{e_f, e_{e,3}, e_{r,3}, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,3}, e_{p,4}, e_{s,1}, e_{s,2}\},$$

$$\mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,3}) = \{e_r, e_{s,2}, e_{e,2}, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,3}, e_{p,4}\},$$

$$\mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,4}) = \{e_r, e_{s,1}, e_{r,2}, e_{p,11}, e_{p,12}, e_{p,21}, e_{p,22}, e_{p,3}, e_{p,4}\}$$

$$\mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,5}) = \{e_{e,3}\}$$

$$\mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,6}) = \{e_{r,3}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι

$$x_{S,3,0} = q_{S,3,1}.$$

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_{S,3,m} = \mathbb{Q}_{S,3}.$$

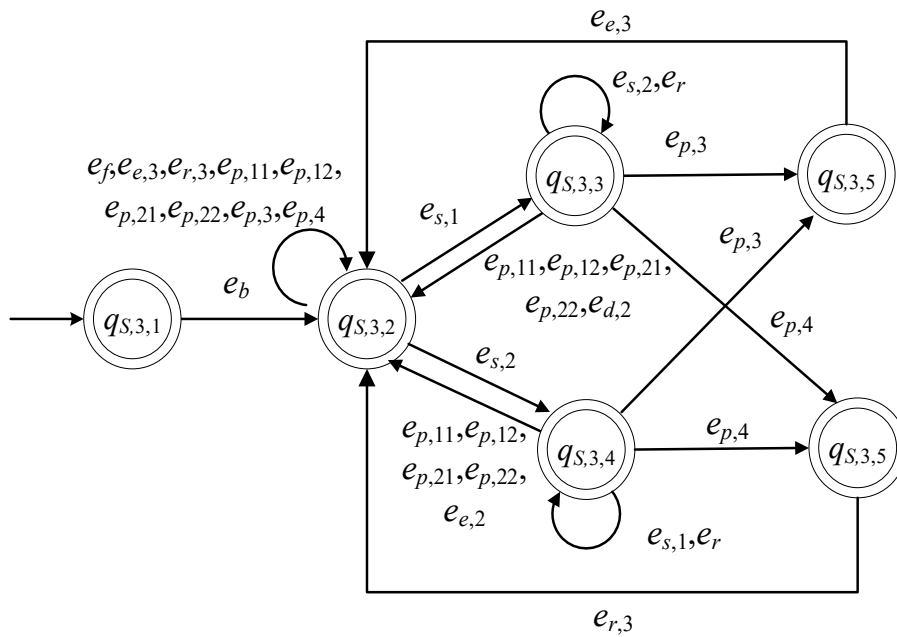
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\begin{aligned} \mathbb{L}(\mathbf{S}_3) = & e_b \overline{\left( (e_f + e_{e,3} + e_{r,3} + e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4})^* \right.} \\ & \left. \overline{\left( (e_{s,1}(e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{d,2}))^* e_{s,1}(e_r + e_{s,2})^* + \right.} \right. \\ & \left. \left. \overline{\left( e_{s,2}(e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{e,2}) \right)^* e_{s,2}(e_r + e_{s,1})^* \right) (e_{p,3}e_{e,3} + e_{p,4}e_{r,3})} \right) \end{aligned}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\begin{aligned} \mathbb{L}_m(\mathbf{S}_3) = & e_b \overline{\left( (e_f + e_{e,3} + e_{r,3} + e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{p,3} + e_{p,4})^* \right.} \\ & \left. \overline{\left( (e_{s,1}(e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{d,2}))^* e_{s,1}(e_r + e_{s,2})^* + \right.} \right. \\ & \left. \left. \overline{\left( e_{s,2}(e_{p,11} + e_{p,12} + e_{p,21} + e_{p,22} + e_{e,2}) \right)^* e_{s,2}(e_r + e_{s,1})^* \right) (e_{p,3}e_{e,3} + e_{p,4}e_{r,3})} \right) \end{aligned}$$

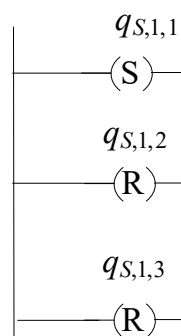
Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9: Το αυτόματο του επόπτη  $S_3$

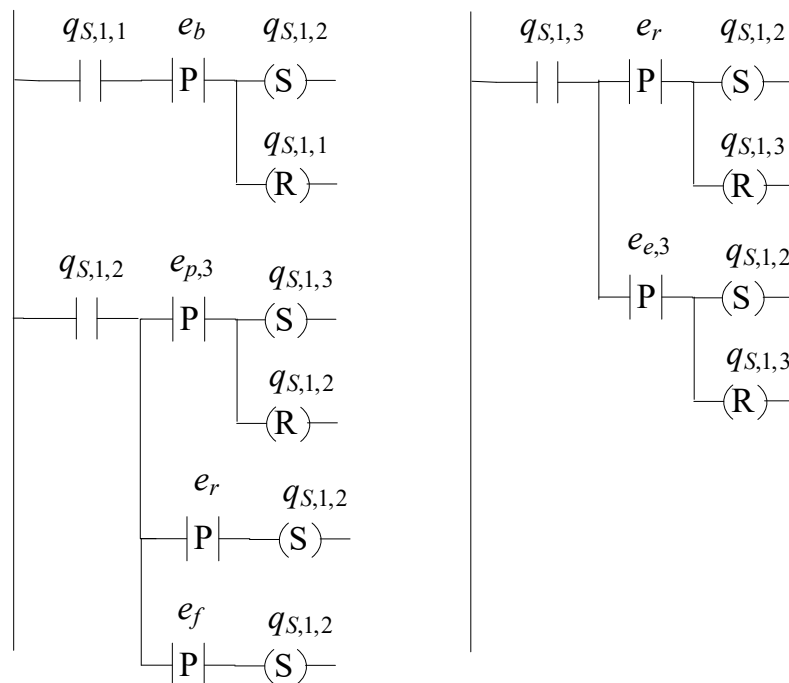
### 4.3 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΟΠΤΩΝ ΤΩΝ ΕΠΙΘΕΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Το διάγραμμα Ladder για την υλοποίηση των εποπτών των επιθετικών στρατηγικών του ρομποτικού οχήματος θα παρουσιαστεί στην παρούσα ενότητα. Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η αρχικοποίηση όλων των μεταβλητών του επόπτη  $S_1$ .



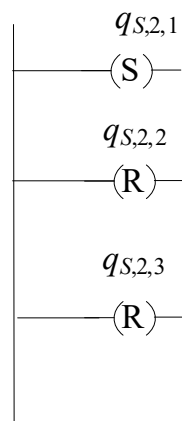
Σχήμα 10: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη  $S_1$

Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται το διάγραμμα Ladder για την υλοποίηση του αυτόματου του επόπτη  $S_1$ .



Σχήμα 11: Διάγραμμα Ladder του επόπτη  $S_1$

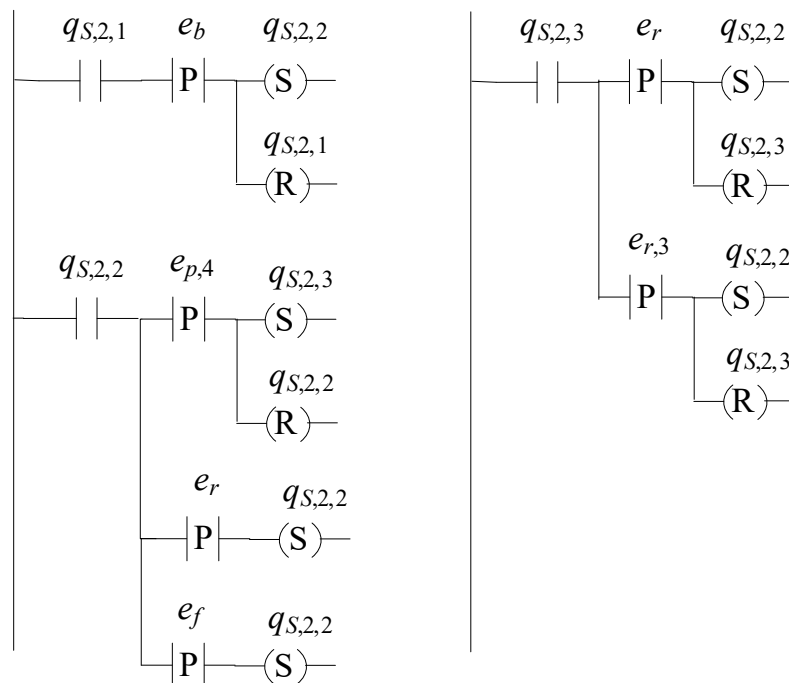
Στο Σχήμα 12 παρουσιάζεται η αρχικοποίηση των μεταβλητών του επόπτη  $S_2$ .



Σχήμα 12: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη  $S_2$



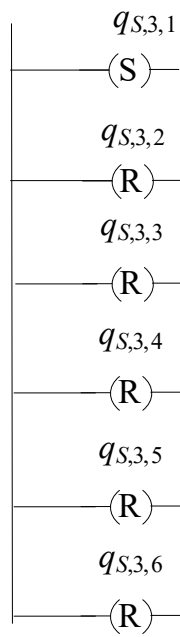
Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται το διάγραμμα Ladder για την υλοποίηση του αυτόματου του επόπτη  $S_2$ .



Σχήμα 13: Διάγραμμα Ladder του επόπτη  $S_2$

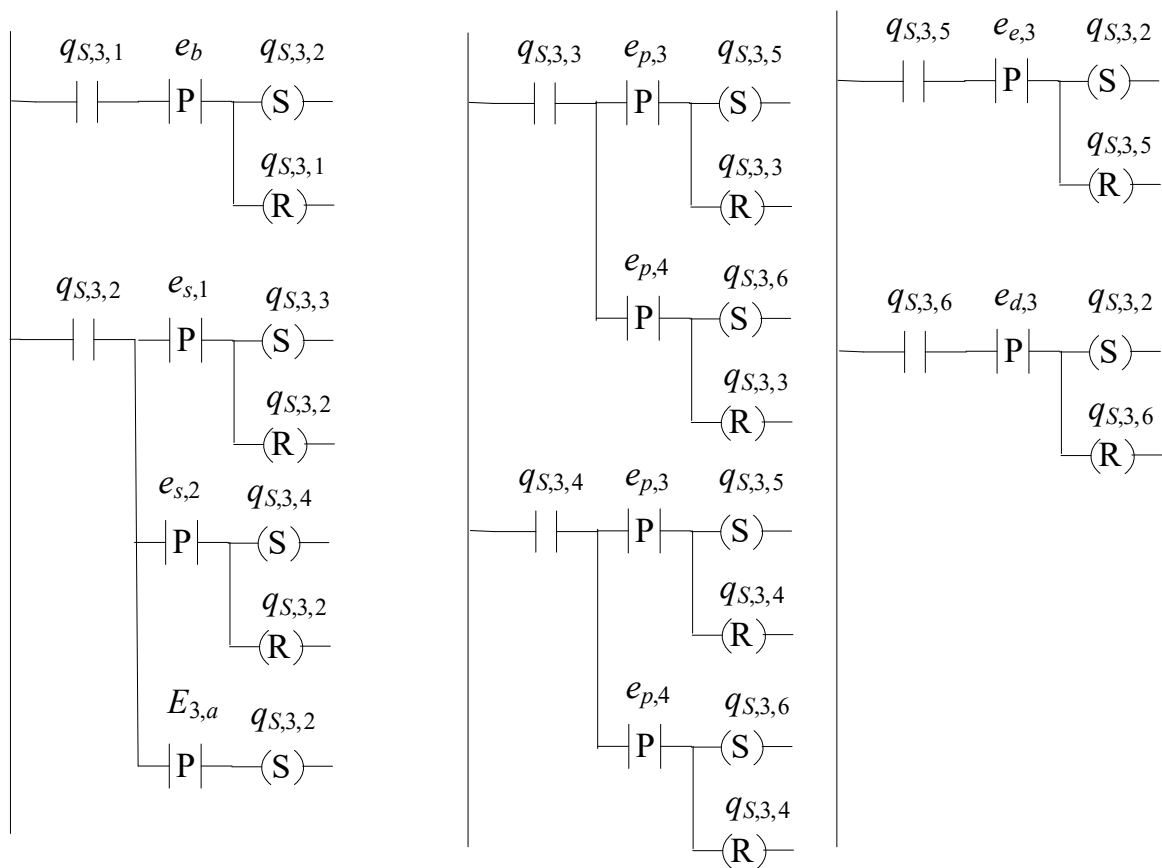
#### 4.4 ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΟΠΤΗ ΤΩΝ ΑΜΥΝΤΙΚΩΝ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται η αρχικοποίηση των μεταβλητών του επόπτη  $S_3$ .



Σχήμα 14: Αρχικοποίηση διαγράμματος Ladder του επόπτη  $S_3$

Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται το διάγραμμα Ladder για την υλοποίηση του αυτόματου του επόπτη  $S_3$ .



Σχήμα 15: Διάγραμμα Ladder του επόπτη  $S_3$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε το σύστημα ενός κινούμενου ρομποτικού συστήματος σχεδιασμένο για να συμμετέχει σε έναν ρομποτικό αγώνα σούμο. Το ρομποτικό σύστημα αποτελείται από δύο κινητήρες σταθερού ρεύματος, δύο αισθητήρες φωτός και τέσσερις αισθητήρες απόστασης. Οι δύο πρώτοι είναι κατάλληλα τοποθετημένοι και χρησιμοποιούνται για να παραμένει το ρομποτικό σύστημα εντός του χώρου που πραγματοποιείται ο αγώνας ενώ οι τέσσερις αισθητήρες απόστασης χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό του αντιπάλου. Παρουσιάστηκαν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Παρουσιάστηκαν τα αυτόματα αναφοράς των επιθυμητών συμπεριφορών της βιβλιογραφίας και διερευνήθηκε η δυνατότητα περιγραφής των επιθυμητών συμπεριφορών του συστήματος σε μορφή απλών επιθυμητών κανονικών γλωσσών. Διερευνήθηκαν οι ιδιότητες των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Διερευνήθηκε η δυνατότητα σχεδιασμού μίας δομοστοιχειωτής αρχιτεκτονικής εποπτικού ελέγχου. Αναπτύχθηκε κώδικας για την υλοποίηση των προτεινόμενων ελεγκτών σε περιβάλλον PLC.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. X. Wang, G. Mafiapragada and A. Ray, “Language-measure-based supervisory control of a mobile robot,” Proc. American Control Conference, Vol. 7, pp. 4897-4902, 2005.
2. C. R. C. Torrico, A. B. Leal and A. T. Y. Watanabe, “Modeling and Supervisory Control of Mobile Robots: A Case of a Sumo Robot,” IFAC-PapersOnLine, 49-32 pp. 240–245, 2016.
3. C. G. Casandras and S. Lafortune, Introduction to Discrete Event Systems, Kluwer Academic Publishers, 1999.
4. W. M. Wonham and C. Kai, Supervisory control of discrete-event systems, Springer International Publishing, 2019.
5. F. N. Koumboulis, D. G. Fragkoulis and A. N. Menexis, “Supervisory Control for Flexibility of Production Manufacturing Processes,” IEEE 21st International Conference on Intelligent Engineering Systems 2017 (INES 2017), Larnaca, October, 20-23, Cyprus, 2017.
6. F. N. Koumboulis, D. G. Fragkoulis and K. A. Ioannou, “Control of Router Nodes in Production Manufacturing Processes,” International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST), May 7-9, Thessaloniki, Greece, 2018.
7. F. N. Koumboulis, D. G. Fragkoulis and V. Ch. Michalainas, “Modular supervisory control for mining process elevator systems,” International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST), May 4-6, Thessaloniki, Greece, 2017.
8. F. N. Koumboulis, D. G. Fragkoulis and G. K. Diveris, “Function Supervisors for Storage Systems,” International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST), May 7-9, Thessaloniki, Greece, 2018.