



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

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

«Εποπτικός έλεγχος μίας γραμμής συναρμολόγησης
αναφοράς για την οροφή αυτοκινήτων με παρουσία
σφαλμάτων»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

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

από τη

Σταύρος Αραπάκης

Μάρτιος 2022



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

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

«Εποπτικός έλεγχος μίας γραμμής συναρμολόγησης
αναφοράς για την οροφή αυτοκινήτων με παρουσία
σφαλμάτων»

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

Σταύρος Αραπάκης

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».

Μάρτιος 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. Φώτιος Ν. Κουμπουλής, Καθηγητής(Επιβλέπων)
2. Νικόλαος Δ. Κούβακας, Αναπληρωτής 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 της γραμμής συναρμολόγησης της οροφής του πλαισίου (σκελετού) ενός αυτοκινήτου. Θα παρουσιαστούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος συναρμολόγησης, δηλαδή ο μεταφορέας, ο τροφοδότης του πλαισίου, ο τροφοδότης της οροφής, η πρέσα και ο εκφορτωτής. Θα αναπτυχθούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος συναρμολόγησης με την παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών/αισθητήρων. Θα αναπτυχθεί το συνολικό μοντέλο του συστήματος με παρουσία σφαλμάτων. Θα παρουσιαστούν οι επιθυμητές συμπεριφορές σε μορφή κανόνων και σε μορφή επιθυμητών γλωσσών. Θα αποδειχτεί η ελεγχιμότητα των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Θα σχεδιαστεί ένα σύνολο δυναμικών εποπτικών με βάση τις επιθυμητές γλώσσες και θα σχεδιαστεί μία δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου με ανοχή σε σφάλματα.

Λέξεις κλειδιά: Πεπερασμένα ντετερμινιστικά αυτόματα, Επόπτης ελεγκτής, Δομοστοιχειωτός εποπτικός έλεγχος, Σφάλματα Ενεργοποιητών/Αισθητήρων, Έλεγχος με ανοχή σε σφάλματα

Abstract

In this diploma thesis the system of an assembly line of the roof (frame) of a car will be presented. The mathematical models of the individual subsystems of the assembly system will be presented, i.e., the transporter, the chassis feeder, the roof feeder, the press and the unloader. Mathematical models of the individual subsystems of the assembly system will be developed in the presence of actuator / sensor faults. The overall system model with faults will be developed. The desired behaviors will be presented in the form of rules and in the form of desired languages. The controllability of the desired languages regarding the overall automaton of the system will be proved. A set of dynamic supervisors will be designed based on the desired languages and a modular supervisory control architecture with fault tolerance will be designed.

Keywords: Deterministic Finite Automaton, Supervisory control, Modular supervisory control, Actuator/Sensor Faults, Fault Tolerant Control

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ	5
3.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΕΑ	5
3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	9
3.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ.....	12
3.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΡΕΣΑΣ	15
3.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΕΚΦΩΡΤΩΤΗ.....	16
3.6 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	19
4.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΕΑ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	19
4.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....	21
4.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΕΚΦΩΡΤΩΤΗ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	24
4.4 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ	28
5.1 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΩΝ.....	28
5.2 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ	29
5.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΑΝΟΧΗ ΣΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ.....	31

6.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΠΟΠΤΩΝ	31
6.2 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΟΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	39

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης του μεταφορέα.....	9
Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης του τροφοδότη του πλαισίου.....	12
Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης του τροφοδότη της οροφής	15
Σχήμα 4: Διάγραμμα κατάστασης του εκφορτωτή	17
Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος σφαλμάτων του μεταφορέα.....	20
Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος σφαλμάτων του μεταφορέα του πλαισίου.....	23
Σχήμα 7: Διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος σφαλμάτων του εκφορτωτή.....	25
Σχήμα 8: Το αυτόματο του επόπτη S_1	32
Σχήμα 9: Το αυτόματο του επόπτη S_2	33
Σχήμα 10: Το αυτόματο του επόπτη S_3	34
Σχήμα 11: Το αυτόματο του επόπτη $S_{4,1}$	35
Σχήμα 12: Το αυτόματο του επόπτη $S_{4,2}$	36
Σχήμα 13: Το αυτόματο του επόπτη $S_{4,3}$	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί το σύστημα της γραμμής συναρμολόγησης της οροφής του πλαισίου (σκελετού) ενός αυτοκινήτου. Θα παρουσιαστούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος συναρμολόγησης, δηλαδή ο μεταφορέας, ο τροφοδότης του πλαισίου, ο τροφοδότης της οροφής, η πρέσα και ο εκφορτωτής. Θα αναπτυχθούν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος συναρμολόγησης με την παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών/αισθητήρων. Θα αναπτυχθεί το συνολικό μοντέλο του συστήματος με παρουσία σφαλμάτων. Θα παρουσιαστούν οι επιθυμητές συμπεριφορές σε μορφή κανόνων και σε μορφή επιθυμητών γλωσσών. Θα αποδειχτεί η ελεγχιμότητα των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Θα σχεδιαστεί ένα σύνολο δυναμικών εποπτικών με βάση τις επιθυμητές γλώσσες και θα σχεδιαστεί μία δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου με ανοχή σε σφάλματα.

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

Στο Κεφάλαιο 2 θα παρουσιαστεί η περιγραφή του συστήματος της γραμμής συναρμολόγησης.

Στο Κεφάλαιο 3 θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο του συστήματος με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων χωρίς την παρουσία σφαλμάτων.

Στο Κεφάλαιο 4 θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο του συστήματος με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων με την παρουσία σφαλμάτων.

Στο Κεφάλαιο 5 θα παρουσιαστεί η επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος σε μορφή κανόνων και κανονικών γλωσσών.

Στο Κεφάλαιο 6 θα σχεδιαστεί η δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου βασισμένη στις επιθυμητές γλώσσες.

Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

Το πρότυπο γραμμής συναρμολόγησης που παρουσιάζεται στην [1] και [2] προσομοιώνει τις συνθήκες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η πραγματική συναρμολόγηση της οροφής ενός αυτοκινήτου και περιλαμβάνει: κινητήρες που κινούν μηχανισμούς που με τη σειρά τους προκαλούν τη συναρμολόγηση του πλαισίου της οροφής. Η κύρια συσκευή του συστήματος είναι ένας μεταφορέας για τη μετακίνηση του ημικατεργασμένου προϊόντος σε διάφορα στάδια της συναρμολόγησης και αισθητήρες που δίνουν την πληροφορία της πραγματικής κατάστασης της γραμμής συναρμολόγησης στον ελεγκτή και πιο συγκεκριμένα στέλνουν την πληροφορία στον ελεγκτή LEGO Dacta. Υπάρχουν συνολικά οκτώ αισθητήρες (αφής, φωτός και γωνίας-θέσης) και οκτώ ενεργοποιητές (κινητήρες).

Το πρότυπο γραμμής συναρμολόγησης ελέγχεται από έναν υπολογιστή, ο οποίος συνδέεται με τη γραμμή συναρμολόγησης μέσω μίας συσκευής διασύνδεσης ελέγχου LEGO. Αυτή η συσκευή διασύνδεσης έχει οκτώ εισόδους αισθητήρων, τέσσερις από τις οποίες φιλοξενούν παθητικούς αισθητήρες, δηλαδή αφής, ενώ τα άλλα τέσσερα διαθέτουν ενεργούς αισθητήρες, δηλαδή φωτός ή γωνίας-θέσης. Οι αισθητήρες αφής επιστρέφουν μια δυαδική τιμή όταν πιέζονται. Οι αισθητήρες φωτός επιστρέφουν την ένταση του φωτός που αντανακλάται στον ανιχνευτή του αισθητήρα, είτε ως ποσοστό είτε ως απόλυτος αριθμός. Οι αισθητήρες γωνίας που είναι πάντα συνδεδεμένοι σε έναν περιστρεφόμενο άξονα, δίνουν την πληροφορία είτε της γωνίας σε μοίρες είτε τον αριθμό των περιστροφών. Εκτός από τις εισόδους των αισθητήρων, η συσκευή διασύνδεσης παρέχει επίσης οκτώ εξόδους συνδεδεμένους σε ανάλογους κινητήρες.

Η γραμμή συναρμολόγησης μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας πεπερασμένα ντετερμινιστικά αυτόματα. Κάθε κατάσταση στη μονάδα θεωρείται σημαδεμένη, καθώς η πραγματικά σημαδεμένη κατάσταση επιβάλλεται από την ίδια την πρόοδο του συστήματος. Αντί λοιπόν να υπάρχει ένα μόνο μονολιθικό μοντέλο για το συνολικό σύστημα και για να γίνει η μοντελοποίηση πιο απλή και κατανοητή, θα αναπτυχθούν μικρότερου μεγέθους «υπομοντέλα»-υποσυστήματα χωρίζοντας ολόκληρο το σύστημα σε πέντε υποσυστήματα, συγκεκριμένα τον μεταφορέα, τον τροφοδότη του πλαισίου, τον τροφοδότη της οροφής, την πρέσα και τον εκφορτωτή.

1) Μεταφορέας: Τα εξαρτήματα μεταφέρονται από το ένα τμήμα συναρμολόγησης στο άλλο μέσω του μεταφορέα, ο οποίος αποτελείται από ένα εξάρτημα που συνδέεται με το ένα άκρο μιας σχάρας που κινείται από έναν κινητήρα. Ένας αισθητήρας γωνίας τοποθετημένος

στον ίδιο άξονα με αυτόν της σχάρας, μετρά τον αριθμό των περιστροφών του άξονα και μέσω αυτού προσδιορίζει τη θέση του εξαρτήματος.

2) Τροφοδότης του πλαισίου: Ο τροφοδότης του πλαισίου μεταφέρει τα εξαρτήματα στην περιοχή πρόσδεσης. Το dock του πλαισίου λειτουργεί ως buffer με χωρητικότητα ενός μόνο εξαρτήματος. Τα εξαρτήματα σπρώχνονται από την αποβάθρα σε έναν άδειο μεταφορέα αναμονής. Οι αισθητήρες παρακολουθούν τη θέση και την παρουσία εξαρτήματος στο dock.

3) Τροφοδότης της οροφής: Ο τροφοδότης της οροφής μεταφέρει εξαρτήματα που φορτώνονται στην αποβάθρα οροφής η οποία έχει επίσης λειτουργεί ως buffer με χωρητικότητα ενός μόνο εξαρτήματος. Ένα εξάρτημα σπρώχνεται από την αποβάθρα σε έναν μεταφορέα αναμονής. Οι αισθητήρες παρακολουθούν τη θέση και την παρουσία του εξαρτήματος στο dock.

4) Πρέσα: Το πάτημα της οροφής και του πλαισίου γίνεται με την απελευθέρωση ενός βαρύ μπλοκ LEGO σε έναν σωστά τοποθετημένο μεταφορέα που φέρει τον συνδυασμό οροφής-σασί. Ο μηχανισμός ελέγχεται από έναν ωθητή πρέσας και έναν κινητήρα περιέλιξης. Αρχικά η ώθηση προωθείται έτσι ώστε το ζυγισμένο μπλοκ να αναρτάται σε ένα ορισμένο ύψος. Όταν ο προωθητής αποσύρεται, το βάρος κατεβαίνει και πιέζει τα κομμάτια μεταξύ τους. Μετά από αυτό, η ώθηση προωθείται ξανά έτσι ώστε να πλέξει με τα γρανάζια του κινητήρα περιέλιξης, τα οποία όταν ενεργοποιηθούν ανυψώνουν ξανά το μπλοκ. Η θέση ανάσυρσης του ωστηρίου και η ανυψωμένη θέση του μπλοκ παρακολουθούνται από αισθητήρες.

5) Εκφορτωτής: Ο εκφορτωτής μεταφέρει εξαρτήματα που ωθούνται πάνω του από τον προωθητή εκφόρτωσης. Υπάρχει ένας αισθητήρας για την παρακολούθηση της θέσης του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν όλα τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται η γραμμή συναρμολόγησης με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Στο τέλος θα παρουσιαστεί το συνολικό μοντέλο της γραμμής παραγωγής παρουσία σφαλμάτων.

3.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΕΑ

Στην παρούσα υποενότητα θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο του μεταφορέα ([1]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[4] και [5]-[9]).

$$\mathbf{G}_M = (\mathbb{Q}_M, \mathbb{E}_M, f_M, \mathbb{H}_M, x_{M,0}, \mathbb{Q}_{M,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$$\mathbb{Q}_M = \{q_{M,1}, q_{M,2}, q_{M,3}, q_{M,4}, q_{M,5}, q_{M,6}, q_{M,7}, q_{M,8}, q_{M,9}, q_{M,10}, q_{M,11}, q_{M,12}, q_{M,13}, q_{M,14}, q_{M,15}, q_{M,16}, q_{M,17}, q_{M,18}, q_{M,19}, q_{M,20}, q_{M,21}\}$$

Η κατάσταση $q_{M,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στην αρχική του θέση και ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{M,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στην αρχική του θέση και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Η κατάσταση $q_{M,3}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στην αρχική του θέση και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα πίσω. Η κατάσταση $q_{M,4}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας φεύγει από την αρχική του θέση και ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{M,5}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας φεύγει από την αρχική του θέση και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Η κατάσταση $q_{M,6}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας φεύγει προς την αρχική του θέση και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα πίσω. Η κατάσταση $q_{M,7}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στην πρέσα και ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος. Η

κατάσταση $q_{M,8}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στην πρέσα και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Η κατάσταση $q_{M,9}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στην πρέσα και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα πίσω. Η κατάσταση $q_{M,10}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας φεύγει από την πρέσα και ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{M,11}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας φεύγει από την πρέσα και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Η κατάσταση $q_{M,12}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας φεύγει από την πρέσα και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα πίσω. Η κατάσταση $q_{M,13}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στον τροφοδότη της οροφής και ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{M,14}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στον τροφοδότη της οροφής και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Η κατάσταση $q_{M,15}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στον τροφοδότη της οροφής και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα πίσω. Η κατάσταση $q_{M,16}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας φεύγει από τον τροφοδότη της οροφής και ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{M,17}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας φεύγει από τον τροφοδότη της οροφής και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Η κατάσταση $q_{M,18}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας φεύγει από τον τροφοδότη της οροφής και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα πίσω. Η κατάσταση $q_{M,19}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στον τροφοδότη του πλαισίου και ο κινητήρας είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{M,20}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στον τροφοδότη του πλαισίου και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Η κατάσταση $q_{M,21}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται στον τροφοδότη του πλαισίου και ο κινητήρας είναι ενεργοποιημένος με κατεύθυνση προς τα πίσω.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$$\mathbb{E}_M = \{e_{M,1}, e_{M,2}, e_{M,3}, e_{M,4}, e_{M,5}, e_{M,6}, e_{M,7}, e_{M,8}, e_{M,9}, e_{M,10}, e_{M,11}, e_{M,12}, e_{M,13}, e_{M,14}, e_{M,15}, e_{M,16}\}$$

Το συμβάν $e_{M,1}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα να κινηθεί προς τα εμπρός. Το συμβάν $e_{M,2}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα να σταματήσει να κινείται προς τα εμπρός. Το συμβάν $e_{M,3}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα να κινηθεί προς τα πίσω. Το συμβάν $e_{M,4}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα να σταματήσει να κινείται προς τα πίσω. Το συμβάν $e_{M,5}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφυγε από την αρχική θέση με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Το συμβάν $e_{M,6}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφτασε στην αρχική θέση με κατεύθυνση προς τα πίσω. Το συμβάν $e_{M,7}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφτασε

στην πρέσα με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Το συμβάν $e_{M,8}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφτασε στην πρέσα με κατεύθυνση προς τα πίσω. Το συμβάν $e_{M,9}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφυγε από την πρέσα με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Το συμβάν $e_{M,10}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφυγε από την πρέσα με κατεύθυνση προς τα πίσω. Το συμβάν $e_{M,11}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφτασε στον τροφοδότη της οροφής με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Το συμβάν $e_{M,12}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφτασε στον τροφοδότη της οροφής με κατεύθυνση προς τα πίσω. Το συμβάν $e_{M,13}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφυγε από τον τροφοδότη της οροφής με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Το συμβάν $e_{M,14}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφυγε από τον τροφοδότη της οροφής με κατεύθυνση προς τα πίσω. Το συμβάν $e_{M,15}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφτασε στον τροφοδότη του πλαισίου με κατεύθυνση προς τα εμπρός. Το συμβάν $e_{M,16}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο μεταφορέας έφυγε από τον τροφοδότη του πλαισίου με κατεύθυνση προς τα πίσω.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{M,0} = q_{M,1}$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι $Q_{M,m} = Q_M$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$\begin{aligned}
f_M(q_{M,1}, e_{M,1}) &= q_{M,2}, & f_M(q_{M,1}, e_{M,3}) &= q_{M,3}, \\
f_M(q_{M,2}, e_{M,2}) &= q_{M,1}, & f_M(q_{M,2}, e_{M,5}) &= q_{M,5} \\
f_M(q_{M,3}, e_{M,4}) &= q_{M,1}, \\
f_M(q_{M,4}, e_{M,1}) &= q_{M,5}, & f_M(q_{M,4}, e_{M,3}) &= q_{M,6}, \\
f_M(q_{M,5}, e_{M,2}) &= q_{M,4}, & f_M(q_{M,5}, e_{M,7}) &= q_{M,8}, \\
f_M(q_{M,6}, e_{M,4}) &= q_{M,4}, & f_M(q_{M,6}, e_{M,6}) &= q_{M,3}, \\
f_M(q_{M,7}, e_{M,1}) &= q_{M,8}, & f_M(q_{M,7}, e_{M,3}) &= q_{M,9}, \\
f_M(q_{M,8}, e_{M,2}) &= q_{M,7}, & f_M(q_{M,8}, e_{M,9}) &= q_{M,11} \\
f_M(q_{M,9}, e_{M,4}) &= q_{M,7}, & f_M(q_{M,9}, e_{M,8}) &= q_{M,6}, \\
f_M(q_{M,10}, e_{M,1}) &= q_{M,11}, & f_M(q_{M,10}, e_{M,3}) &= q_{M,12}, \\
f_M(q_{M,11}, e_{M,2}) &= q_{M,10}, & f_M(q_{M,11}, e_{M,11}) &= q_{M,14} \\
f_M(q_{M,12}, e_{M,4}) &= q_{M,10}, & f_M(q_{M,12}, e_{M,10}) &= q_{M,9}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_M(q_{M,13}, e_{M,1}) &= q_{M,14}, & f_M(q_{M,13}, e_{M,3}) &= q_{M,15}, \\
f_M(q_{M,14}, e_{M,2}) &= q_{M,13}, & f_M(q_{M,14}, e_{M,13}) &= q_{M,17}, \\
f_M(q_{M,15}, e_{M,4}) &= q_{M,13}, & f_M(q_{M,15}, e_{M,12}) &= q_{M,11}, \\
f_M(q_{M,16}, e_{M,1}) &= q_{M,17}, & f_M(q_{M,16}, e_{M,3}) &= q_{M,18}, \\
f_M(q_{M,17}, e_{M,2}) &= q_{M,16}, & f_M(q_{M,17}, e_{M,15}) &= q_{M,20}, \\
f_M(q_{M,18}, e_{M,4}) &= q_{M,16}, & f_M(q_{M,18}, e_{M,14}) &= q_{M,15}, \\
f_M(q_{M,19}, e_{M,1}) &= q_{M,20}, & f_M(q_{M,19}, e_{M,3}) &= q_{M,21}, \\
f_M(q_{M,20}, e_{M,2}) &= q_{M,19}, \\
f_M(q_{M,21}, e_{M,4}) &= q_{M,19} \text{ και } f_M(q_{M,21}, e_{M,16}) &= q_{M,18}
\end{aligned}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

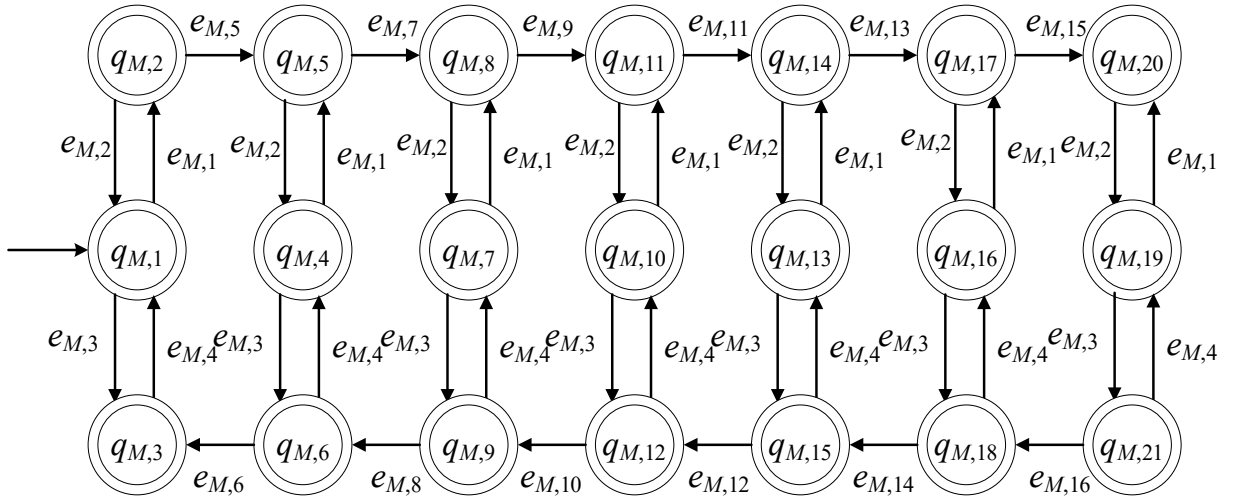
$$\begin{aligned}
\mathbb{H}_M(q_{M,1}) &= \{e_{M,1}, e_{M,3}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,2}) &= \{e_{M,2}, e_{M,5}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,3}) &= \{e_{M,4}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,4}) &= \{e_{M,1}, e_{M,3}\}, \\
\mathbb{H}_M(q_{M,5}) &= \{e_{M,2}, e_{M,7}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,6}) &= \{e_{M,4}, e_{M,6}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,7}) &= \{e_{M,1}, e_{M,3}\}, \\
\mathbb{H}_M(q_{M,8}) &= \{e_{M,2}, e_{M,9}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,9}) &= \{e_{M,4}, e_{M,8}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,10}) &= \{e_{M,1}, e_{M,3}\}, \\
\mathbb{H}_M(q_{M,11}) &= \{e_{M,2}, e_{M,11}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,12}) &= \{e_{M,4}, e_{M,10}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,13}) &= \{e_{M,1}, e_{M,3}\}, \\
\mathbb{H}_M(q_{M,14}) &= \{e_{M,2}, e_{M,13}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,15}) &= \{e_{M,4}, e_{M,12}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,16}) &= \{e_{M,1}, e_{M,3}\}, \\
\mathbb{H}_M(q_{M,17}) &= \{e_{M,2}, e_{M,15}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,18}) &= \{e_{M,4}, e_{M,14}\}, & \mathbb{H}_M(q_{M,19}) &= \{e_{M,1}, e_{M,3}\}, \\
\mathbb{H}_M(q_{M,20}) &= \{e_{M,2}\} \text{ και } \mathbb{H}_M(q_{M,21}) &= \{e_{M,4}, e_{M,16}\}
\end{aligned}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι $\mathbb{E}_{M,c} = \{e_{M,1}, e_{M,2}, e_{M,3}, e_{M,4}\}$ και

$$\mathbb{E}_{M,uc} = \{e_{M,5}, e_{M,6}, e_{M,7}, e_{M,8}, e_{M,9}, e_{M,10}, e_{M,11}, e_{M,12}, e_{M,13}, e_{M,14}, e_{M,15}, e_{M,16}\}$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_M)} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_M)$.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος του μεταφορέα.



Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης του μεταφορέα

3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Στην παρούσα υποενότητα θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο του τροφοδότη του πλαισίου ([1]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[4] και [5]-[9]).

$$\mathbf{G}_C = (\mathbb{Q}_C, \mathbb{E}_C, f_C, \mathbb{H}_C, x_{C,0}, \mathbb{Q}_{C,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$$\mathbb{Q}_C = \{q_{C,1}, q_{C,2}, q_{C,3}, q_{C,4}, q_{C,5}, q_{C,6}, q_{C,7}, q_{C,8}, q_{C,9}, q_{C,10}, q_{C,11}, q_{C,12}, q_{C,13}, q_{C,14}, q_{C,15}\}$$

Η κατάσταση $q_{C,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο τροφοδότης του πλαισίου βρίσκεται στην αρχική του θέση και οι κινητήρες είναι απενεργοποιημένοι. Η κατάσταση $q_{C,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο τροφοδότης του πλαισίου βρίσκεται στην αρχική του θέση, ο κινητήρας του μάντα είναι ενεργοποιημένος και ο κινητήρας του προωθητή είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{C,3}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ένα αντικείμενο προς επεξεργασία είναι στην κατάλληλη θέση, ο κινητήρας του μάντα είναι ενεργοποιημένος και ο κινητήρας του προωθητή είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{C,4}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ένα αντικείμενο προς επεξεργασία είναι στην κατάλληλη θέση, ο κινητήρας του μάντα είναι απενεργοποιημένος και ο κινητήρας του προωθητή είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{C,5}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ένα αντικείμενο προς επεξεργασία είναι στην κατάλληλη θέση, ο κινητήρας του μάντα είναι απενεργοποιημένος και ο κινητήρας του προωθητή είναι ενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{C,6}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ένα αντικείμενο προς επεξεργασία είναι στην κατάλληλη θέση, ο προωθητής έχει ανακληθεί, ο κινητήρας του μάντα

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{C,0} = q_{C,1}$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι $\mathbb{Q}_{C,m} = \mathbb{Q}_C$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$\begin{aligned}
f_C(q_{C,1}, e_{C,1}) &= q_{C,2}, & f_C(q_{C,1}, e_{C,3}) &= q_{C,8}, \\
f_C(q_{C,2}, e_{C,2}) &= q_{C,1}, & f_C(q_{C,2}, e_{C,3}) &= q_{C,9}, & f_C(q_{C,2}, e_{C,7}) &= q_{C,3}, \\
f_C(q_{C,3}, e_{C,1}) &= q_{C,4}, & f_C(q_{C,3}, e_{C,3}) &= q_{C,12}, \\
f_C(q_{C,4}, e_{C,2}) &= q_{C,3}, & f_C(q_{C,4}, e_{C,3}) &= q_{C,5}, \\
f_C(q_{C,5}, e_{C,2}) &= q_{C,12}, & f_C(q_{C,5}, e_{C,4}) &= q_{C,4}, \\
f_C(q_{C,6}, e_{C,1}) &= q_{C,13}, & f_C(q_{C,6}, e_{C,3}) &= q_{C,14}, & f_C(q_{C,6}, e_{C,8}) &= q_{C,7}, \\
f_C(q_{C,7}, e_{C,1}) &= q_{C,10}, & f_C(q_{C,7}, e_{C,4}) &= q_{C,11}, & f_C(q_{C,7}, e_{C,5}) &= q_{C,8}, \\
f_C(q_{C,8}, e_{C,1}) &= q_{C,9}, & f_C(q_{C,8}, e_{C,4}) &= q_{C,1}, & f_C(q_{C,8}, e_{C,6}) &= q_{C,7}, \\
f_C(q_{C,9}, e_{C,2}) &= q_{C,8}, & f_C(q_{C,9}, e_{C,4}) &= q_{C,2}, & f_C(q_{C,9}, e_{C,6}) &= q_{C,10}, \\
f_C(q_{C,11}, e_{C,1}) &= q_{C,10}, & f_C(q_{C,11}, e_{C,3}) &= q_{C,7}, \\
f_C(q_{C,12}, e_{C,1}) &= q_{C,5}, & f_C(q_{C,12}, e_{C,4}) &= q_{C,3}, & f_C(q_{C,12}, e_{C,6}) &= q_{C,13}, \\
f_C(q_{C,13}, e_{C,2}) &= q_{C,6}, \\
f_C(q_{C,14}, e_{C,1}) &= q_{C,15}, & f_C(q_{C,14}, e_{C,4}) &= q_{C,6} \\
\text{και } f_C(q_{C,15}, e_{C,2}) &= q_{C,14}
\end{aligned}$$

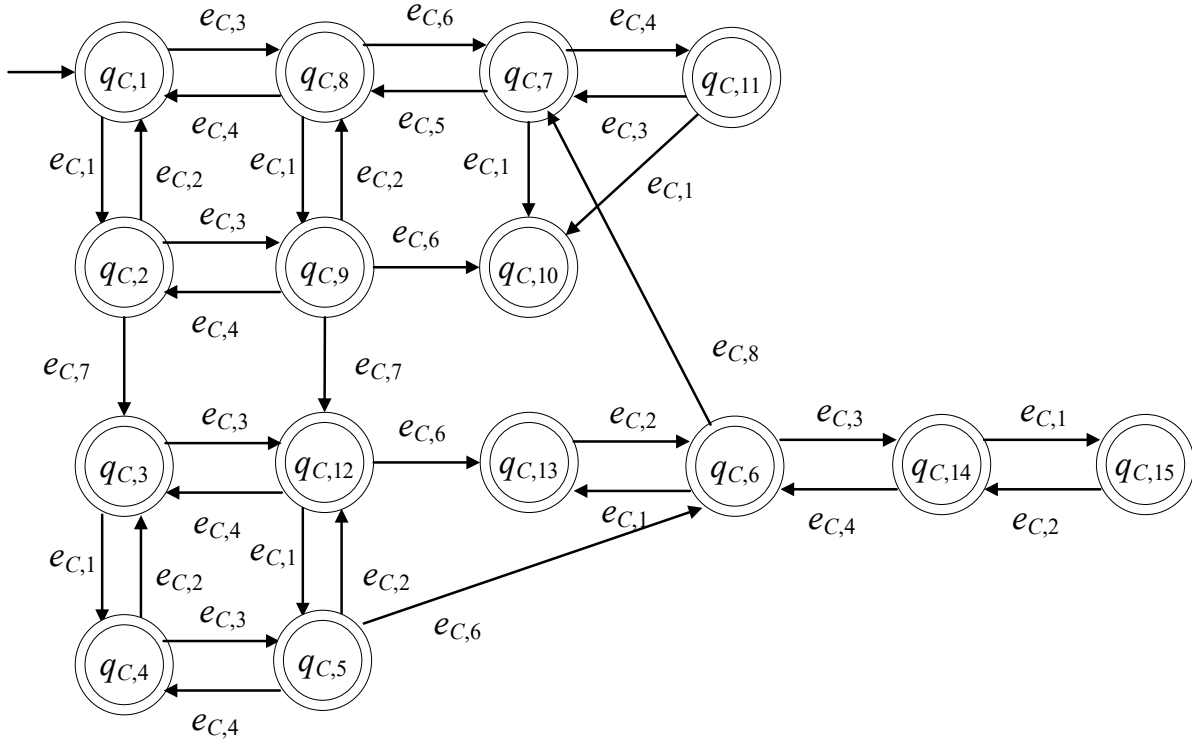
Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\begin{aligned}
\mathbb{H}_C(q_{C,1}) &= \{e_{C,1}, e_{C,3}\}, & \mathbb{H}_C(q_{C,2}) &= \{e_{C,2}, e_{C,3}, e_{C,7}\}, & \mathbb{H}_C(q_{C,3}) &= \{e_{C,1}, e_{C,3}\}, \\
\mathbb{H}_C(q_{C,4}) &= \{e_{C,2}, e_{C,3}\}, & \mathbb{H}_C(q_{C,5}) &= \{e_{C,2}, e_{C,4}\}, & \mathbb{H}_C(q_{C,6}) &= \{e_{C,1}, e_{C,3}, e_{C,8}\}, \\
\mathbb{H}_C(q_{C,7}) &= \{e_{C,1}, e_{C,4}, e_{C,5}\}, & \mathbb{H}_C(q_{C,8}) &= \{e_{C,1}, e_{C,4}, e_{C,6}\}, & \mathbb{H}_C(q_{C,9}) &= \{e_{C,2}, e_{C,4}, e_{C,6}\}, \\
\mathbb{H}_C(q_{C,10}) &= \emptyset, & \mathbb{H}_C(q_{C,11}) &= \{e_{C,1}, e_{C,3}\}, & \mathbb{H}_C(q_{C,12}) &= \{e_{C,1}, e_{C,4}, e_{C,6}\}, & \mathbb{H}_C(q_{C,13}) &= \{e_{C,2}\}, \\
\mathbb{H}_C(q_{C,14}) &= \{e_{C,1}, e_{C,4}\} & \text{και } \mathbb{H}_C(q_{C,15}) &= \{e_{C,2}\}
\end{aligned}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι $\mathbb{E}_{C,c} = \{e_{C,1}, e_{C,2}, e_{C,3}, e_{C,4}\}$ και $\mathbb{E}_{C,uc} = \{e_{C,5}, e_{C,6}, e_{C,7}, e_{C,8}\}$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_C)} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_C)$.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος του τροφοδότη του πλαισίου.



Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης του τροφοδότη του πλαισίου

3.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ

Στην παρούσα υποενότητα θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο του τροφοδότη της οροφής ([1]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[4] και [5]-[9]).

$$\mathbf{G}_R = (\mathbb{Q}_R, \mathbb{E}_R, f_R, \mathbb{H}_R, x_{R,0}, \mathbb{Q}_{R,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$$\mathbb{Q}_R = \{q_{R,1}, q_{R,2}, q_{R,3}, q_{R,4}, q_{R,5}, q_{R,6}, q_{R,7}, q_{R,8}, q_{R,9}, q_{R,10}, q_{R,11}, q_{R,12}, q_{R,13}, q_{R,14}, q_{R,15}\}$$

Η κατάσταση $q_{R,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο τροφοδότης της οροφής βρίσκεται στην αρχική του θέση και οι κινητήρες είναι απενεργοποιημένοι. Η κατάσταση $q_{R,2}$ αντιστοιχεί στην

$$\mathbb{E}_R = \{e_{R,1}, e_{R,2}, e_{R,3}, e_{R,4}, e_{R,5}, e_{R,6}, e_{R,7}, e_{R,8}\}$$

Το συμβάν $e_{R,1}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα του μάντα να ενεργοποιηθεί. Το συμβάν $e_{R,2}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα του μάντα να απενεργοποιηθεί. Το συμβάν $e_{R,3}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα του προωθητή να ενεργοποιηθεί. Το συμβάν $e_{R,4}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα του προωθητή να απενεργοποιηθεί. Το συμβάν $e_{R,5}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο προωθητής έχει ανακληθεί. Το συμβάν $e_{R,6}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο προωθητής δεν έχει ανακληθεί. Το συμβάν $e_{R,7}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ένα αντικείμενο βρίσκεται στην κατάλληλη θέση. Το συμβάν $e_{R,8}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ένα αντικείμενο δεν βρίσκεται στην κατάλληλη θέση.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{R,0} = q_{R,1}$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι $\mathbb{Q}_{R,m} = \mathbb{Q}_R$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$\begin{aligned} f_R(q_{R,1}, e_{R,1}) &= q_{R,2}, & f_R(q_{R,1}, e_{R,3}) &= q_{R,8}, \\ f_R(q_{R,2}, e_{R,2}) &= q_{R,1}, & f_R(q_{R,2}, e_{R,3}) &= q_{R,9}, & f_R(q_{R,2}, e_{R,7}) &= q_{R,3}, \\ f_R(q_{R,3}, e_{R,1}) &= q_{R,4}, & f_R(q_{R,3}, e_{R,3}) &= q_{R,12}, \\ f_R(q_{R,4}, e_{R,2}) &= q_{R,3}, & f_R(q_{R,4}, e_{R,3}) &= q_{R,5}, \\ f_R(q_{R,5}, e_{R,2}) &= q_{R,12}, & f_R(q_{R,5}, e_{R,4}) &= q_{R,4}, \\ f_R(q_{R,6}, e_{R,1}) &= q_{R,13}, & f_R(q_{R,6}, e_{R,3}) &= q_{R,14}, & f_R(q_{R,6}, e_{R,8}) &= q_{R,7}, \\ f_R(q_{R,7}, e_{R,1}) &= q_{R,10}, & f_R(q_{R,7}, e_{R,4}) &= q_{R,11}, & f_R(q_{R,7}, e_{R,5}) &= q_{R,8}, \\ f_R(q_{R,8}, e_{R,1}) &= q_{R,9}, & f_R(q_{R,8}, e_{R,4}) &= q_{R,1}, & f_R(q_{R,8}, e_{R,6}) &= q_{R,7}, \\ f_R(q_{R,9}, e_{R,2}) &= q_{R,8}, & f_R(q_{R,9}, e_{R,4}) &= q_{R,2}, & f_R(q_{R,9}, e_{R,6}) &= q_{R,10}, \\ f_R(q_{R,11}, e_{R,1}) &= q_{R,10}, & f_R(q_{R,11}, e_{R,3}) &= q_{R,7}, \\ f_R(q_{R,12}, e_{R,1}) &= q_{R,5}, & f_R(q_{R,12}, e_{R,4}) &= q_{R,3}, & f_R(q_{R,12}, e_{R,6}) &= q_{R,13}, \\ f_R(q_{R,13}, e_{R,2}) &= q_{R,6}, \\ f_R(q_{R,14}, e_{R,1}) &= q_{R,15}, & f_R(q_{R,14}, e_{R,4}) &= q_{R,6}, \\ \text{και } f_R(q_{R,15}, e_{R,2}) &= q_{R,14} \end{aligned}$$

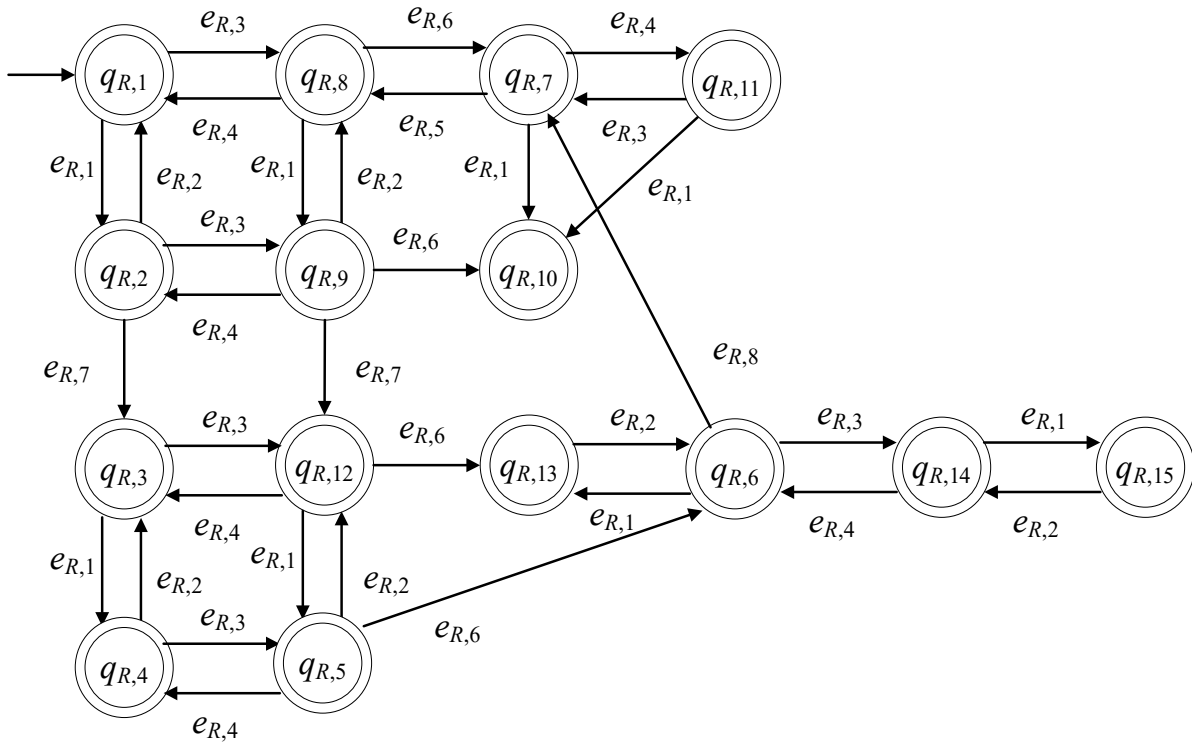
Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\begin{aligned} \mathbb{H}_R(q_{R,1}) &= \{e_{R,1}, e_{R,3}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,2}) = \{e_{R,2}, e_{R,3}, e_{R,7}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,3}) = \{e_{R,1}, e_{R,3}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,4}) = \{e_{R,2}, e_{R,3}\}, \\ \mathbb{H}_R(q_{R,5}) &= \{e_{R,2}, e_{R,4}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,6}) = \{e_{R,1}, e_{R,3}, e_{R,8}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,7}) = \{e_{R,1}, e_{R,4}, e_{R,5}\}, \\ \mathbb{H}_R(q_{R,8}) &= \{e_{R,1}, e_{R,4}, e_{R,6}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,9}) = \{e_{R,2}, e_{R,4}, e_{R,6}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,10}) = \emptyset, \mathbb{H}_R(q_{R,11}) = \{e_{R,1}, e_{R,3}\}, \\ \mathbb{H}_R(q_{R,12}) &= \{e_{R,1}, e_{R,4}, e_{R,6}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,13}) = \{e_{R,2}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,14}) = \{e_{R,1}, e_{R,4}\} \text{ και } \mathbb{H}_R(q_{R,15}) = \{e_{R,2}\} \end{aligned}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι $\mathbb{E}_{R,c} = \{e_{R,1}, e_{R,2}, e_{R,3}, e_{R,4}\}$ και $\mathbb{E}_{R,uc} = \{e_{R,5}, e_{R,6}, e_{R,7}, e_{R,8}\}$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}}_m(\mathbf{G}_R) = \mathbb{L}(\mathbf{G}_R)$.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος του τροφοδότη της οροφής.



Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης του τροφοδότη της οροφής

3.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΠΡΕΣΑΣ

Το μαθηματικό μοντέλο της πρέσας είναι της μορφής $\mathbf{G}_P = (\mathbb{Q}_P, \mathbb{E}_P, f_P, \mathbb{H}_P, x_{P,0}, \mathbb{Q}_{P,m})$. Στην ([1]) παρουσιάζεται αναλυτικά το μαθηματικό μοντέλο με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[4]). Η μαθηματική περιγραφή αποτελείται από 23 καταστάσεις και 5 συμβάντα. Στην παρούσα εργασία δεν θα παρουσιαστεί αναλυτικά το μοντέλο καθώς δεν αποτελεί αντικείμενο της έρευνας τόσο για τη μοντελοποίηση όσο και για τον έλεγχο του συστήματος.

3.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΕΚΦΟΡΤΩΤΗ

Στην παρούσα υποενότητα θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο του εκφορτωτή ([1]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[4] και [5]-[9]).

$$\mathbf{G}_L = (\mathbb{Q}_L, \mathbb{E}_L, f_L, \mathbb{H}_L, x_{L,0}, \mathbb{Q}_{L,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$$\mathbb{Q}_L = \{q_{L,1}, q_{L,2}, q_{L,3}, q_{L,4}\}$$

Η κατάσταση $q_{L,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο εκφορτωτής είναι απενεργοποιημένος. Η κατάσταση $q_{L,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο κινητήρας του μίαντα και ο προωθητής του εκφορτωτή είναι ενεργοποιημένοι. Η κατάσταση $q_{L,3}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο κινητήρας του μίαντα και ο προωθητής του εκφορτωτή είναι ενεργοποιημένοι και ο προωθητής είναι αποσυνδεδεμένος. Η κατάσταση $q_{L,4}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο κινητήρας του μίαντα και ο προωθητής του εκφορτωτή είναι απενεργοποιημένοι και ο προωθητής είναι αποσυνδεδεμένος.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$$\mathbb{E}_L = \{e_{L,1}, e_{L,2}, e_{L,3}, e_{L,4}\}$$

Το συμβάν $e_{L,1}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα του μίαντα και τον προωθητή να ενεργοποιηθούν. Το συμβάν $e_{L,2}$ αντιστοιχεί στην εντολή στον κινητήρα του μίαντα και τον προωθητή να απενεργοποιηθούν. Το συμβάν $e_{L,3}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο προωθητής έχει δεν έχει ανακληθεί. Το συμβάν $e_{L,4}$ αντιστοιχεί στο σήμα ότι ο προωθητής έχει ανακληθεί.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{L,0} = q_{L,1}$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι $\mathbb{Q}_{L,m} = \mathbb{Q}_L$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_L(q_{L,1}, e_{L,1}) = q_{L,2},$$

$$\begin{aligned}
f_L(q_{L,2}, e_{L,2}) &= q_{L,1}, & f_L(q_{L,2}, e_{L,3}) &= q_{L,3}, \\
f_L(q_{L,3}, e_{L,4}) &= q_{L,2}, & f_L(q_{L,3}, e_{L,2}) &= q_{L,4}, \\
&& \text{και } f_L(q_{L,4}, e_{L,1}) &= q_{L,3}
\end{aligned}$$

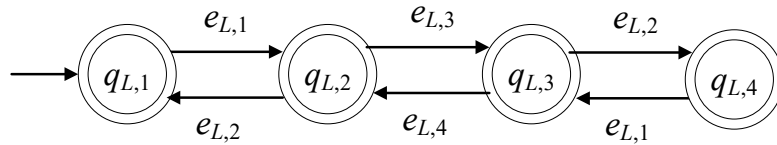
Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_L(q_{L,1}) = \{e_{L,1}\}, \mathbb{H}_L(q_{L,2}) = \{e_{L,2}, e_{L,3}\}, \mathbb{H}_L(q_{L,3}) = \{e_{L,2}, e_{L,4}\} \text{ και } \mathbb{H}_L(q_{L,4}) = \{e_{L,1}\}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι $\mathbb{E}_{L,c} = \{e_{L,1}, e_{L,2}\}$ και $\mathbb{E}_{L,nc} = \{e_{L,3}, e_{L,4}\}$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_L)} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_L)$.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος του εκφορτωτή.



Σχήμα 4: Διάγραμμα κατάστασης του εκφορτωτή

3.6 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Για το συνολικό μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί η πολυμελής πράξη της παράλληλης σύνδεσης ([3]). Το συνολικό σύστημα είναι

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_M \parallel \mathbf{G}_C \parallel \mathbf{G}_R \parallel \mathbf{G}_P \parallel \mathbf{G}_L$$

Το σύνολο των καταστάσεων του αυτόματου \mathbf{G} είναι

$$\mathbb{Q} = \mathbb{Q}_M \times \mathbb{Q}_C \times \mathbb{Q}_R \times \mathbb{Q}_P \times \mathbb{Q}_L$$

δηλαδή $\mathbb{Q} = \bigcup_{i=1}^{21} \left(\bigcup_{j=1}^{15} \left(\bigcup_{k=1}^{15} \left(\bigcup_{m=1}^{23} \left(\bigcup_{n=1}^4 \{ (q_{M,i}, q_{C,j}, q_{R,k}, q_{P,m}, q_{L,n}) \} \right) \right) \right) \right) \right)$. Ο συνολικός αριθμός των

καταστάσεων είναι 434,700 καταστάσεις (προσβάσιμες και μη προσβάσιμες).

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$$\mathbb{E} = \mathbb{E}_M \cup \mathbb{E}_C \cup \mathbb{E}_R \cup \mathbb{E}_P \cup \mathbb{E}_L$$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_0 = (q_{M,1}, q_{C,1}, q_{R,1}, q_{P,1}, q_{L,1})$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$$\mathbb{Q}_m = \mathbb{Q}.$$

Τα υποσυστήματα έχουν ξένα αλφάβητα επομένως όλες οι μεταβάσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν άρα

$$f((q_{M,i}, q_{C,j}, q_{R,k}, q_{P,m}, q_{L,n}), e) = \begin{cases} (f_M((q_{M,i}), e), q_{C,j}, q_{R,k}, q_{P,m}, q_{L,n}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_M \\ (q_{M,i}, f_C((q_{C,j}), e), q_{R,k}, q_{P,m}, q_{L,n}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_C \\ (q_{M,i}, q_{C,j}, f_R((q_{R,k}), e), q_{P,m}, q_{L,n}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_R \\ (q_{M,i}, q_{R,k}, q_{C,j}, f_P((q_{P,m}), e), q_{L,n}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_P \\ (q_{M,i}, q_{R,k}, q_{C,j}, q_{P,m}, f_L((q_{L,n}), e)) & \text{if } e \in \mathbb{E}_L \end{cases}$$

και

$$\mathbb{H}((q_{M,i}, q_{C,j}, q_{R,k}, q_{P,m}, q_{L,n})) = \mathbb{H}_M(q_{M,i}) \cup \mathbb{H}_C(q_{C,j}) \cup \mathbb{H}_R(q_{R,k}) \cup \mathbb{H}_P(q_{P,m}) \cup \mathbb{H}_L(q_{L,n})$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}) = P_M^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_M)) \cap P_C^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_C)) \cap P_R^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_R)) \cap P_P^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_P)) \cap P_L^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_L))$$

όπου P_M είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_M , P_C είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_C , P_R είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_R , P_P είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_P και P_L είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_L .

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο εφόσον όλες οι καταστάσεις όλων των υποσυστημάτων είναι σημαδεμένες είναι

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν εκ νέου όλα τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται η γραμμή συναρμολόγησης με παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών και αισθητήρων με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Πιο συγκεκριμένα θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών και αισθητήρων του μεταφορέα, του τροφοδότη του πλαισίου και του εκφορτωτή.

4.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΕΑ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Στην παρούσα υποενότητα θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο του μεταφορέα με παρουσία σφαλμάτων με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[4] και [5]-[9]). Το μοντέλο του συστήματος θα παρουσιαστεί σαν παράλληλη σύνδεση δύο υποσυστημάτων. Το πρώτο υποσυστήματα είναι το $\mathbf{G}_M = (\mathbb{Q}_M, \mathbb{E}_M, f_M, \mathbb{H}_M, x_{M,0}, \mathbb{Q}_{M,m})$ το οποίο παρουσιάστηκε στην Ενότητα 3.1. Το δεύτερο υποσύστημα είναι το αυτόματο

$$\mathbf{G}_{MF} = (\mathbb{Q}_{MF}, \mathbb{E}_{MF}, f_{MF}, \mathbb{H}_{MF}, x_{MF,0}, \mathbb{Q}_{MF,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

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

Η κατάσταση $q_{MF,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας δεν βρίσκεται σε σφάλμα.

Η κατάσταση $q_{MF,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο μεταφορέας βρίσκεται σε σφάλμα

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$$\mathbb{E}_M = \mathbb{E}_M \cup \{e_{MF,1}, e_{MF,2}\}$$

Το συμβάν $e_{MF,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ένα σφάλμα λαμβάνει χώρα. Το συμβάν $e_{MF,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που το σφάλμα επιδιορθώθηκε.

Επισημαίνεται ότι στο συμβάν $e_{MF,1}$ έχουν συγκεντρωθεί όλα τα σφάλματα που μπορούν να λάβουν χώρα στο σύστημα είτε αυτά είναι σφάλματα ενεργοποιητών είτε αυτά είναι σφάλματα αισθητήρων.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{MF,0} = q_{MF,1}$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι $Q_{MF,m} = Q_{MF}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{MF}(q_{MF,1}, e_{MF,1}) = q_{MF,2}, f_{MF}(q_{MF,1}, e) = q_{MF,1}; \forall e \in \mathbb{E}_M$$

$$\text{και } f_{MF}(q_{MF,2}, e_{MF,2}) = q_{MF,1}$$

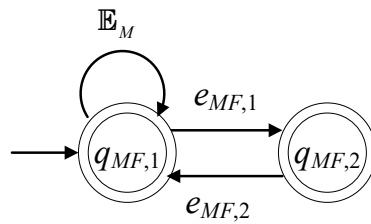
Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_{MF}(q_{MF,1}) = \mathbb{E}_M \cup \{e_{MF,1}\} \text{ και } \mathbb{H}_{MF}(q_{MF,2}) = \{e_{MF,2}\}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι $\mathbb{E}_{MF,c} = \mathbb{E}_M$ και $\mathbb{E}_{MF,uc} = \{e_{MF,1}, e_{MF,2}\}$.

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{MF})} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_{MF})$.

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος των σφαλμάτων του μεταφορέα.



Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος σφαλμάτων του μεταφορέα

Το συνολικό αυτόματο είναι

$$\mathbf{G}_{MT} = \mathbf{G}_M \parallel \mathbf{G}_{MF}$$

Το σύνολο των καταστάσεων του αυτόματου \mathbf{G}_{MT} είναι

$$\mathbb{Q}_{MT} = \mathbb{Q}_M \times \mathbb{Q}_{MF}$$

δηλαδή $\mathbb{Q}_{MT} = \bigcup_{i=1}^{21} \left(\bigcup_{j=1}^2 \{(q_{M,i}, q_{MF,j})\} \right)$. Ο συνολικός αριθμός των καταστάσεων είναι 42 καταστάσεις (προσβάσιμες και μη προσβάσιμες).

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι $\mathbb{E}_{MT} = \mathbb{E}_{MF}$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{MT,0} = (q_{M,1}, q_{MF,1})$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$$\mathbb{Q}_{MT,m} = \mathbb{Q}_{MT}.$$

Οι μεταβάσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν άρα

$$f_{MT}((q_{M,i}, q_{MF,1}), e) = \begin{cases} (f_M((q_{M,i}), e), q_{MF,1}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_M \\ (q_{M,i}, q_{MF,2}) & \text{if } e = e_{MF,1} \end{cases},$$

$$f_{MT}((q_{M,i}, q_{MF,2}), e) = \begin{cases} (q_{M,i}, q_{MF,2}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_M \\ (q_{M,i}, q_{MF,1}) & \text{if } e = e_{MF,2} \end{cases}$$

και

$$\mathbb{H}_{MT}((q_{M,i}, q_{MF,1})) = \mathbb{E}_M \cup \{e_{MF,1}\} \text{ και } \mathbb{H}_{MT}((q_{M,i}, q_{MF,2})) = \{e_{MF,2}\}$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_{MT}) = P_M^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_M)) \cap \mathbb{L}(\mathbf{G}_{MF})$$

όπου P_M είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E}_{MT} στο αλφάβητο \mathbb{E}_M .

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο εφόσον όλες οι καταστάσεις όλων των υποσυστημάτων είναι σημαδεμένες είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{MT}) = \mathbb{L}(\mathbf{G}_{MT})$$

4.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Στην παρούσα υποενότητα θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο του τροφοδότη του πλαισίου με παρουσία σφαλμάτων με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[4] και [5]-[9]). Το μοντέλο του συστήματος θα παρουσιαστεί σαν παράλληλη σύνδεση δύο υποσυστημάτων. Το πρώτο υποσύστημα είναι το $\mathbf{G}_C = (\mathbb{Q}_C, \mathbb{E}_C, f_C, \mathbb{H}_C, x_{C,0}, \mathbb{Q}_{C,m})$ το οποίο παρουσιάστηκε στην Ενότητα 3.2. Το δεύτερο υποσύστημα είναι το αυτόματο

$$\mathbf{G}_{CF} = (\mathbb{Q}_{CF}, \mathbb{E}_{CF}, f_{CF}, \mathbb{H}_{CF}, x_{CF,0}, \mathbb{Q}_{CF,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

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

Η κατάσταση $q_{CF,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο τροφοδότης του πλαισίου δεν βρίσκεται σε σφάλμα. Η κατάσταση $q_{CF,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο τροφοδότης του πλαισίου βρίσκεται σε σφάλμα

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$$\mathbb{E}_{CF} = \mathbb{E}_C \cup \{e_{CF,1}, e_{CF,2}\}$$

Το συμβάν $e_{CF,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ένα σφάλμα λαμβάνει χώρα. Το συμβάν $e_{CF,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που το σφάλμα επιδιορθώθηκε.

Επισημαίνεται ότι στο συμβάν $e_{CF,1}$ έχουν συγκεντρωθεί όλα τα σφάλματα που μπορούν να λάβουν χώρα στο σύστημα είτε αυτά είναι σφάλματα ενεργοποιητών είτε αυτά είναι σφάλματα αισθητήρων.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{CF,0} = q_{CF,1}$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι $\mathbb{Q}_{CF,m} = \mathbb{Q}_{CF}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{CF}(q_{CF,1}, e_{CF,1}) = q_{CF,2}, f_{CF}(q_{CF,1}, e) = q_{CF,1}; \forall e \in \mathbb{E}_C$$

$$\text{και } f_{CF}(q_{CF,2}, e_{CF,2}) = q_{CF,1}$$

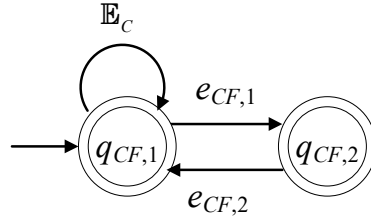
Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_{CF}(q_{CF,1}) = \mathbb{E}_C \cup \{e_{CF,1}\} \text{ και } \mathbb{H}_{CF}(q_{CF,2}) = \{e_{CF,2}\}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι $\mathbb{E}_{CF,c} = \mathbb{E}_C$ και $\mathbb{E}_{CF,uc} = \{e_{CF,1}, e_{CF,2}\}$.

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{CF})} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_{CF})$.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος των σφαλμάτων του μεταφορέα.



Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος σφαλμάτων του μεταφορέα του πλαισίου

Το συνολικό αυτόματο είναι

$$\mathbf{G}_{CT} = \mathbf{G}_C \parallel \mathbf{G}_{CF}$$

Το σύνολο των καταστάσεων του αυτόματου \mathbf{G}_{CT} είναι

$$\mathbb{Q}_{CT} = \mathbb{Q}_C \times \mathbb{Q}_{CF}$$

δηλαδή $\mathbb{Q}_{CT} = \bigcup_{i=1}^{15} \left(\bigcup_{j=1}^2 \{ (q_{C,i}, q_{CF,j}) \} \right)$. Ο συνολικός αριθμός των καταστάσεων είναι 30 καταστάσεις (προσβάσιμες και μη προσβάσιμες).

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι $\mathbb{E}_{CT} = \mathbb{E}_{CF}$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{CT,0} = (q_{C,1}, q_{CF,1})$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$$\mathbb{Q}_{CT,m} = \mathbb{Q}_{CT}$$

Οι μεταβάσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν άρα

$$f_{CT}((q_{C,i}, q_{CF,1}), e) = \begin{cases} (f_C((q_{C,i}), e), q_{CF,1}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_C \\ (q_{C,i}, q_{CF,2}) & \text{if } e = e_{CF,1} \end{cases},$$

$$f_{CT}((q_{C,i}, q_{CF,2}), e) = \begin{cases} (q_{C,i}, q_{CF,2}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_C \\ (q_{C,i}, q_{CF,1}) & \text{if } e = e_{CF,2} \end{cases}$$

και

$$\mathbb{H}_{CT}((q_{C,i}, q_{CF,1})) = \mathbb{E}_C \cup \{e_{CF,1}\} \text{ και } \mathbb{H}_{CT}((q_{C,i}, q_{CF,2})) = \{e_{CF,2}\}$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_{CT}) = P_C^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_C)) \cap \mathbb{L}(\mathbf{G}_{CF})$$

όπου P_C είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E}_{CT} στο αλφάβητο \mathbb{E}_C .

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο εφόσον όλες οι καταστάσεις όλων των υποσυστημάτων είναι σημαδεμένες είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{CT}) = \mathbb{L}(\mathbf{G}_{CT})$$

4.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΕΚΦΩΡΤΩΤΗ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Στην παρούσα υποενότητα θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο του εκφορτωτή με παρουσία σφαλμάτων με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([3]-[4] και [5]-[9]). Το μοντέλο του συστήματος θα παρουσιαστεί σαν παράλληλη σύνδεση δύο υποσυστημάτων. Το πρώτο υποσύστημα είναι το $\mathbf{G}_L = (\mathbb{Q}_L, \mathbb{E}_L, f_L, \mathbb{H}_L, x_{L,0}, \mathbb{Q}_{L,m})$ το οποίο παρουσιάστηκε στην Ενότητα 3.5. Το δεύτερο υποσύστημα είναι το αυτόματο

$$\mathbf{G}_{LF} = (\mathbb{Q}_{LF}, \mathbb{E}_{LF}, f_{LF}, \mathbb{H}_{LF}, x_{LF,0}, \mathbb{Q}_{LF,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

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

Η κατάσταση $q_{LF,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο εκφορτωτής δεν βρίσκεται σε σφάλμα.

Η κατάσταση $q_{CF,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ο εκφορτωτής βρίσκεται σε σφάλμα

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$$\mathbb{E}_{LF} = \mathbb{E}_L \cup \{e_{LF,1}, e_{LF,2}\}$$

Το συμβάν $e_{LF,1}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που ένα σφάλμα λαμβάνει χώρα. Το συμβάν $e_{LF,2}$ αντιστοιχεί στην περίπτωση που το σφάλμα επιδιορθώθηκε.

Επισημαίνεται ότι στο συμβάν $e_{LF,1}$ έχουν συγκεντρωθεί όλα τα σφάλματα που μπορούν να λάβουν χώρα στο σύστημα είτε αυτά είναι σφάλματα ενεργοποιητών είτε αυτά είναι σφάλματα αισθητήρων.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{LF,0} = q_{LF,1}$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι $\mathbb{Q}_{LF,m} = \mathbb{Q}_{LF}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{LF}(q_{LF,1}, e_{LF,1}) = q_{LF,2}, f_{LF}(q_{LF,1}, e) = q_{LF,1}; \forall e \in \mathbb{E}_L$$

$$\text{και } f_{LF}(q_{LF,2}, e_{LF,2}) = q_{LF,1}$$

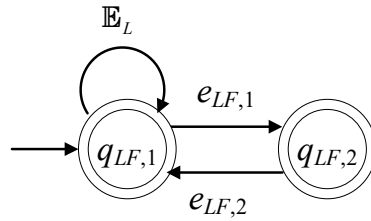
Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_{LF}(q_{LF,1}) = \mathbb{E}_L \cup \{e_{LF,1}\} \text{ και } \mathbb{H}_{LF}(q_{LF,2}) = \{e_{LF,2}\}$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι $\mathbb{E}_{LF,c} = \mathbb{E}_L$ και $\mathbb{E}_{LF,uc} = \{e_{LF,1}, e_{LF,2}\}$.

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς $\overline{\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{LF})} = \mathbb{L}(\mathbf{G}_{LF})$.

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος των σφαλμάτων του μεταφορέα.



Σχήμα 7: Διάγραμμα κατάστασης του υποσυστήματος σφαλμάτων του εκφορτωτή

Το συνολικό αυτόματο είναι

$$\mathbf{G}_{LT} = \mathbf{G}_L \parallel \mathbf{G}_{LF}$$

Το σύνολο των καταστάσεων του αυτόματου \mathbf{G}_{LT} είναι

$$\mathbb{Q}_{LT} = \mathbb{Q}_L \times \mathbb{Q}_{LF}$$

δηλαδή $\mathbb{Q}_{LT} = \bigcup_{i=1}^4 \left(\bigcup_{j=1}^2 \{(q_{L,i}, q_{LF,j})\} \right)$. Ο συνολικός αριθμός των καταστάσεων είναι 8 καταστάσεις (προσβάσιμες και μη προσβάσιμες).

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι $\mathbb{E}_{LT} = \mathbb{E}_{LF}$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{LT,0} = (q_{L,1}, q_{LF,1})$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$$\mathbb{Q}_{LT,m} = \mathbb{Q}_{LT}$$

Οι μεταβάσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν άρα

$$f_{LT}((q_{L,i}, q_{LF,1}), e) = \begin{cases} (f_L((q_{L,i}), e), q_{LF,1}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_L \\ (q_{L,i}, q_{LF,2}) & \text{if } e = e_{LF,1} \end{cases},$$

$$f_{LT}((q_{L,i}, q_{LF,2}), e) = \begin{cases} (q_{L,i}, q_{LF,2}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_L \\ (q_{L,i}, q_{LF,1}) & \text{if } e = e_{LF,2} \end{cases}$$

και

$$\mathbb{H}_{LT}((q_{L,i}, q_{LF,1})) = \mathbb{E}_L \cup \{e_{LF,1}\} \text{ και } \mathbb{H}_{LT}((q_{L,i}, q_{LF,2})) = \{e_{LF,2}\}$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_{LT}) = P_L^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_L)) \cap \mathbb{L}(\mathbf{G}_{LF})$$

όπου P_L είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E}_{LT} στο αλφάβητο \mathbb{E}_L .

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο εφόσον όλες οι καταστάσεις όλων των υποσυστημάτων είναι σημαδεμένες είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_{LT}) = \mathbb{L}(\mathbf{G}_{LT})$$

4.4 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΩΝ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Για το συνολικό μοντέλο θα χρησιμοποιηθεί η πολυμελής πράξη της παράλληλης σύνδεσης ([3]). Το συνολικό σύστημα είναι

$$\mathbf{G}_F = \mathbf{G}_{MF} \parallel \mathbf{G}_{CF} \parallel \mathbf{G}_{RF} \parallel \mathbf{G}_P \parallel \mathbf{G}_{LF}$$

Το σύνολο των καταστάσεων του αυτόματου \mathbf{G} είναι

$$\mathbb{Q}_F = \mathbb{Q}_{MF} \times \mathbb{Q}_{CF} \times \mathbb{Q}_{RF} \times \mathbb{Q}_P \times \mathbb{Q}_{LF}$$

δηλαδή $\mathbb{Q}_F = \bigcup_{i=1}^{42} \left(\bigcup_{j=1}^{30} \left(\bigcup_{k=1}^{30} \left(\bigcup_{m=1}^{23} \left(\bigcup_{n=1}^8 \{ (q_{MF,i}, q_{CF,j}, q_{RF,k}, q_{P,m}, q_{LF,n}) \} \right) \right) \right) \right) \right)$. Ο συνολικός αριθμός των καταστάσεων είναι 6,955,200 καταστάσεις (προσβάσιμες και μη προσβάσιμες).

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$$\mathbb{E}_F = \mathbb{E}_{MF} \cup \mathbb{E}_{CF} \cup \mathbb{E}_{RF} \cup \mathbb{E}_P \cup \mathbb{E}_{LF}$$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_{F,0} = (q_{MF,1}, q_{CF,1}, q_{RF,1}, q_{P,1}, q_{LF,1})$.

Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι

$$\mathbb{Q}_{F,m} = \mathbb{Q}_F.$$

Τα υποσυστήματα έχουν ξένα αλφάβητα επομένως όλες οι μεταβάσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν άρα

$$f_F((q_{MF,i}, q_{CF,j}, q_{RF,k}, q_{P,m}, q_{LF,n}), e) = \begin{cases} (f_{MF}((q_{MF,i}), e), q_{CF,j}, q_{RF,k}, q_{P,m}, q_{LF,n}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_{MF} \\ (q_{MF,i}, f_{CF}((q_{CF,j}), e), q_{RF,k}, q_{P,m}, q_{LF,n}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_{CF} \\ (q_{MF,i}, q_{CF,j}, f_{RF}((q_{RF,k}), e), q_{P,m}, q_{LF,n}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_{RF} \\ (q_{MF,i}, q_{RF,k}, q_{CF,j}, f_P((q_{P,m}), e), q_{LF,n}) & \text{if } e \in \mathbb{E}_P \\ (q_{MF,i}, q_{RF,k}, q_{CF,j}, q_{P,m}, f_{LF}((q_{LF,n}), e)) & \text{if } e \in \mathbb{E}_{LF} \end{cases}$$

και

$$\begin{aligned} \mathbb{H}((q_{MF,i}, q_{CF,j}, q_{RF,k}, q_{P,m}, q_{LF,n})) &= \\ &= \mathbb{H}_{MF}(q_{MF,i}) \cup \mathbb{H}_{CF}(q_{CF,j}) \cup \mathbb{H}_{RF}(q_{RF,k}) \cup \mathbb{H}_P(q_{P,m}) \cup \mathbb{H}_{LF}(q_{LF,n}) \end{aligned}$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_F) = P_{MF}^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_{MF})) \cap P_{CF}^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_{CF})) \cap P_{RF}^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_{RF})) \cap P_{PF}^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_P)) \cap P_{LF}^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_{LF}))$$

όπου P_{MF} είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E}_F στο αλφάβητο \mathbb{E}_{MF} , P_{CF} είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E}_F στο αλφάβητο \mathbb{E}_{CF} , P_{RF} είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E}_F στο αλφάβητο \mathbb{E}_{RF} , P_{PF} είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E}_F στο αλφάβητο \mathbb{E}_P και P_{LF} είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E}_F στο αλφάβητο \mathbb{E}_{LF} .

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο εφόσον όλες οι καταστάσεις όλων των υποσυστημάτων είναι σημαδεμένες είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_F) = \mathbb{L}(\mathbf{G}_F)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν σε μορφή κανόνων οι γενικές επιθυμητές συμπεριφορές του συστήματος σύμφωνα με την [1]. Έπειτα θα παρουσιαστούν οι κανονικές γλώσσες που αντιστοιχούν στις παραπάνω συμπεριφορές. Στο τέλος του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν οι ιδιότητες των επιθυμητών γλωσσών και πιο συγκεκριμένα η ελεγκσιμότητα τους και η ιδιότητα των μη αντικρουόμενων γλωσσών.

5.1 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΩΝ

Η επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος μπορεί να περιγραφεί ως ακολούθως:

1. Ο προωθητής του τροφοδότη του πλαισίου δεν πρέπει να προωθήσει εάν ο μεταφορέας δεν έχει μεταφέρει ένα προϊόν στο αντίστοιχο τμήμα του
2. Ο προωθητής του τροφοδότη της οροφής δεν πρέπει να προωθηθεί εάν ο μεταφορέας δεν έχει μεταφέρει ένα προϊόν στο αντίστοιχο τμήμα του
3. Ο προωθητής του εκφορτωτή δεν πρέπει να προωθηθεί εάν ο μεταφορέας δεν έχει μεταφέρει ένα προϊόν στο αντίστοιχο τμήμα του (αρχική θέση).
4. Ο μεταφορέας δεν πρέπει να μπορεί να κινηθεί εάν τα σήματα της ανάκλησης από τους προωθητές του τροφοδότη της οροφής, του τροφοδότη του πλαισίου και του εκφορτωτή δεν έχουν ληφθεί.

5.2 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΟΡΟΦΗΣ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΥ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ

Οι κανόνες που παρουσιάστηκαν παραπάνω μπορούν να περιγραφούν στη μορφή κανονικών γλωσσών.

Ο πρώτος κανόνας αντιστοιχεί στη γλώσσα $\mathbb{K}_{D,1}$ δηλαδή ισχύει ότι

$$\mathbb{K}_{D,1} = \overline{(e_{M,15}e_{C,3})}^*$$

Ο δεύτερος κανόνας αντιστοιχεί στη γλώσσα $\mathbb{K}_{D,2}$ δηλαδή ισχύει ότι

$$\mathbb{K}_{D,2} = \overline{(e_{M,11}e_{R,3})}^*$$

Ο τρίτος κανόνας αντιστοιχεί στη γλώσσα $\mathbb{K}_{D,3}$ δηλαδή ισχύει ότι

$$\mathbb{K}_{D,3} = \overline{(e_{M,6}e_{L,1})}^*$$

Ο τέταρτος κανόνας αντιστοιχεί στη γλώσσα $\mathbb{K}_{D,4}$ δηλαδή ισχύει ότι

$$\mathbb{K}_{D,4} = \mathbb{K}_{D,4,1} \cap \mathbb{K}_{D,4,2} \cap \mathbb{K}_{D,4,3}$$

όπου

$$\mathbb{K}_{D,4,1} = \overline{((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{C,5}e_{C,6})}^*$$

$$\mathbb{K}_{D,4,2} = \overline{((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{R,5}e_{R,6})}^*$$

και

$$\mathbb{K}_{D,4,3} = \overline{((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{L,1}e_{L,2})}^*$$

5.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ

Σύμφωνα με την [1] όλες οι καταστάσεις του συστήματος και όλων των υποσυστημάτων του είναι σημαδεμένες καταστάσεις. Συνεπώς το αυτόματο δεν δύναται να εγκλωβιστεί σε κάποια μη σημαδεμένη κατάσταση. Έτσι η ιδιότητα των μη αντικρουόμενων γλωσσών δεν είναι απαραίτητο να αποδειχτεί καθότι οποιοσδήποτε επόπτης και εάν εφαρμοστεί προερχόμενος από οποιαδήποτε γλώσσα το ελεγχόμενο αυτόματο δεν θα εγκλωβίζεται.

Στο θέμα της ελεγχιμότητας των γλωσσών και υπενθυμίζοντας ότι σύμφωνα με την [3] το κριτήριο της ελεγχιμότητας μίας γλώσσας \mathbb{K} ως προς μία άλλη γλώσσα είναι

$$\overline{\mathbb{K}\mathbb{E}_{uc}} \cap \mathbb{L} \subseteq \overline{\mathbb{K}}$$

και ως προς ένα αυτόματο \mathbf{G} είναι

$$\overline{\mathbb{K}\mathbb{E}_{uc}} \cap \mathbb{L}(\mathbf{G}) \subseteq \overline{\mathbb{K}}$$

θα πρέπει να αποδειχτεί η ελεγχιμότητα των γλωσσών αυτών.

Οι γλώσσες $\mathbb{K}_{D,1}$, $\mathbb{K}_{D,2}$ και $\mathbb{K}_{D,3}$ δεν περιέχουν μη ελέγξιμο συμβάν επομένως πάντα θα ικανοποιούν το κριτήριο της ελεγχιμότητας

Θα αποδειχτεί η ελεγχιμότητα της γλώσσας $\mathbb{K}_{D,4,1}$ και η ελεγχιμότητα των $\mathbb{K}_{D,4,2}$ και $\mathbb{K}_{D,4,3}$ αποδεικνύεται με τον ίδιο τρόπο.

Υπενθυμίζεται ότι $\mathbb{K}_{D,4,1} = \overline{\left((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{C,5} e_{C,6} \right)^*}$ όπου τα μη ελέγξιμα συμβάντα είναι τα $e_{C,5}$ και $e_{C,6}$. Παρατηρούμε ότι τα δύο συμβάντα εμφανίζονται ως αλληλουχία χωρίς να μπορεί κάποιο άλλο συμβάν, ελέγξιμο ή μη ελέγξιμο, να μπορεί να τις διακόψει. Άρα η γλώσσα είναι ελέγξιμη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΑΝΟΧΗ ΣΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Οι δυναμικοί επόπτες οι οποίοι υλοποιούν τις επιθυμητές γλώσσες που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο. Παρατηρούμε ότι οι γλώσσες που σχεδιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο λειτουργούν ανεξάρτητα από το γεγονός της παρουσίας κάποιου σφάλματος. Επομένως η παρακάτω αρχιτεκτονική ελέγχου είναι μία αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου με ανοχή στα σφάλματα.

6.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΕΠΟΠΤΩΝ

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,1}$ ο επόπτης είναι της μορφής ([3]-[4])

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

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,1} = \{e_{M,15}, e_{C,3}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι $x_{S,1,0} = q_{S,1,1}$.

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι $\mathbb{Q}_{S,1,m} = \mathbb{Q}_{S,1}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,1}(q_{S,1,1}, e_{M,15}) = q_{S,1,2} \text{ και } f_{S,1}(q_{S,1,2}, e_{C,3}) = q_{S,1,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,1}(q_{S,1,1}) = \{e_{M,15}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,1}(q_{S,1,2}) = \{e_{C,3}\}$$

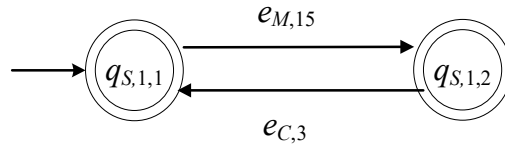
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(S_1) = \overline{(e_{M,15}e_{C,3})^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(S_1) = \overline{(e_{M,15}e_{C,3})^*} = \mathbb{L}(S_1)$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8: Το αυτόματο του επόπτη S_1

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,2}$ ο επόπτης είναι της μορφής ([3]-[4])

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

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,2} = \{e_{M,11}, e_{R,3}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι $x_{S,2,0} = q_{S,2,1}$.

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι $\mathbb{Q}_{S,2,m} = \mathbb{Q}_{S,2}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,2}(q_{S,2,1}, e_{M,11}) = q_{S,2,2} \text{ και } f_{S,2}(q_{S,2,2}, e_{R,3}) = q_{S,2,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,2}(q_{S,2,1}) = \{e_{M,11}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,2}(q_{S,2,2}) = \{e_{R,3}\}$$

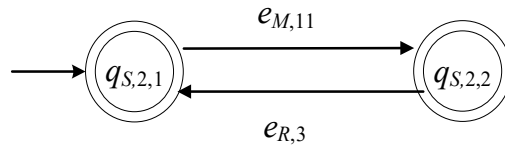
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{S}_2) = \overline{(e_{M,11}e_{R,3})}^*$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{S}_2) = \overline{(e_{M,11}e_{R,3})}^* = \mathbb{L}(\mathbf{S}_2)$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9: Το αυτόματο του επόπτη \mathbf{S}_2

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,3}$ ο επόπτης είναι της μορφής ([3]-[4])

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

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,3} = \{e_{M,6}, e_{L,1}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι $x_{S,3,0} = q_{S,3,1}$.

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι $\mathbb{Q}_{S,3,m} = \mathbb{Q}_{S,3}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,3}(q_{S,3,1}, e_{M,6}) = q_{S,3,2} \text{ και } f_{S,3}(q_{S,3,2}, e_{L,1}) = q_{S,3,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,1}) = \{e_{M,6}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,3}(q_{S,3,2}) = \{e_{L,1}\}$$

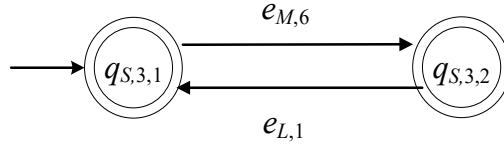
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{S}_3) = \overline{(e_{M,6}e_{L,1})^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{S}_3) = \overline{(e_{M,6}e_{L,1})^*} = \mathbb{L}(\mathbf{S}_3)$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 10.



Σχήμα 10: Το αυτόματο του επόπτη \mathbf{S}_3

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,4,1}$ ο επόπτης είναι της μορφής

$$\mathbf{S}_{4,1} = (\mathbb{Q}_{S,4,1}, \mathbb{E}_{S,4,1}, f_{S,4,1}, \mathbb{H}_{S,4,1}, x_{S,4,1,0}, \mathbb{Q}_{S,4,1,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,4,1} = \{e_{M,1}, e_{M,3}, e_{C,5}, e_{C,6}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι $x_{S,4,1,0} = q_{S,4,1,1}$.

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι $\mathbb{Q}_{S,4,1,m} = \mathbb{Q}_{S,4,1}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,4,1}(q_{S,4,1,1}, e_{M,1}) = q_{S,4,1,1}, f_{S,4,1}(q_{S,4,1,1}, e_{M,6}) = q_{S,4,1,1}, f_{S,4,1}(q_{S,4,1,1}, e_{C,5}) = q_{S,4,1,2} \text{ και} \\ f_{S,4,1}(q_{S,4,1,2}, e_{C,6}) = q_{S,4,1,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,4,1}(q_{S,4,1,1}) = \{e_{M,1}, e_{M,3}, e_{C,5}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,4,1}(q_{S,4,1,2}) = \{e_{C,6}\}$$

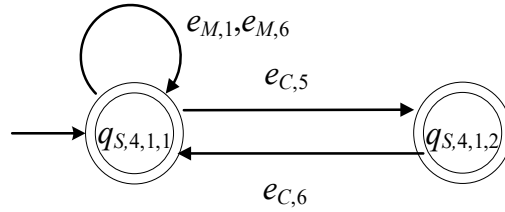
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{S}_{4,1}) = \overline{\left((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{C,5} e_{C,6} \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{S}_{4,1}) = \overline{\left((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{C,5} e_{C,6} \right)^*} = \mathbb{L}(\mathbf{S}_{4,1})$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 11.



Σχήμα 11: Το αυτόματο του επόπτη $\mathbf{S}_{4,1}$

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,4,2}$ ο επόπτης είναι της μορφής

$$\mathbf{S}_{4,2} = (\mathbb{Q}_{S,4,2}, \mathbb{E}_{S,4,2}, f_{S,4,2}, \mathbb{H}_{S,4,2}, x_{S,4,2,0}, \mathbb{Q}_{S,4,2,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,4,2} = \{e_{M,1}, e_{M,3}, e_{R,5}, e_{R,6}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι $x_{S,4,2,0} = q_{S,4,2,1}$.

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι $\mathbb{Q}_{S,4,2,m} = \mathbb{Q}_{S,4,2}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,4,2}(q_{S,4,2,1}, e_{M,1}) = q_{S,4,2,1}, f_{S,4,2}(q_{S,4,2,1}, e_{M,6}) = q_{S,4,2,1}, f_{S,4,2}(q_{S,4,2,1}, e_{R,5}) = q_{S,4,2,2} \text{ και}$$

$$f_{S,4,2}(q_{S,4,2,2}, e_{R,6}) = q_{S,4,2,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,4,2}(q_{S,4,2,1}) = \{e_{M,1}, e_{M,3}, e_{R,5}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,4,2}(q_{S,4,2,2}) = \{e_{R,6}\}$$

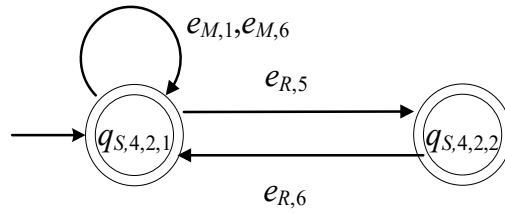
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{S}_{4,2}) = \overline{\left((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{R,5} e_{R,6} \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{S}_{4,2}) = \overline{\left((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{R,5} e_{R,6} \right)^*} = \mathbb{L}(\mathbf{S}_{4,2})$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12: Το αυτόματο του επόπτη $\mathbf{S}_{4,2}$

Για την επιθυμητή γλώσσα $\mathbb{K}_{D,4,3}$ ο επόπτης είναι της μορφής

$$\mathbf{S}_{4,3} = (\mathbb{Q}_{S,4,3}, \mathbb{E}_{S,4,3}, f_{S,4,3}, \mathbb{H}_{S,4,3}, x_{S,4,3,0}, \mathbb{Q}_{S,4,3,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,4,3} = \{e_{M,1}, e_{M,3}, e_{L,1}, e_{L,2}\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι $x_{S,4,3,0} = q_{S,4,3,1}$.

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι $\mathbb{Q}_{S,4,3,m} = \mathbb{Q}_{S,4,3}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,4,3}(q_{S,4,3,1}, e_{M,1}) = q_{S,4,3,1}, f_{S,4,3}(q_{S,4,3,1}, e_{M,6}) = q_{S,4,3,1}, f_{S,4,3}(q_{S,4,3,1}, e_{L,1}) = q_{S,4,3,2} \text{ και} \\ f_{S,4,3}(q_{S,4,3,2}, e_{L,2}) = q_{S,4,3,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,4,3}(q_{S,4,3,1}) = \{e_{M,1}, e_{M,3}, e_{L,1}\} \text{ και } \mathbb{H}_{S,4,3}(q_{S,4,3,2}) = \{e_{L,2}\}$$

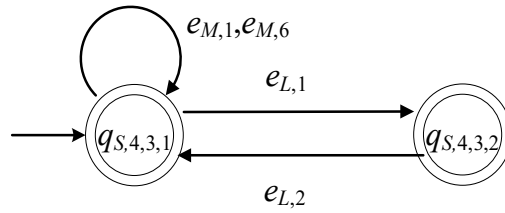
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{S}_{4,3}) = \overline{\left((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{L,1} e_{L,2} \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{S}_{4,3}) = \overline{\left((e_{M,1} + e_{M,3})^* e_{L,1} e_{L,2} \right)^*} = \mathbb{L}(\mathbf{S}_{4,3})$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13: Το αυτόματο του επόπτη $\mathbf{S}_{4,3}$

6.2 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΟΣ ΕΠΙΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Σε ότι αφορά την προδιαγραφή 4 ο επόπτης που αντιστοιχεί είναι ο

$$\mathbf{S}_4 = \mathbf{S}_{4,1} \parallel \mathbf{S}_{4,2} \parallel \mathbf{S}_{4,3}$$

Οι δυναμικοί επόπτες που αναπτύχθηκαν παραπάνω συνθέτουν το δομοστοιχειωτό επόπτη ο οποίος αποφεύγει τον εγκλωβισμό. Έτσι ο επόπτης θα είναι της μορφής

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}_1 \parallel \mathbf{S}_2 \parallel \mathbf{S}_3 \parallel \mathbf{S}_4$$

Η δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εξασφαλίζει ότι το ελεγχόμενο αυτόματο αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς όλες οι καταστάσεις είναι σημαδεμένες.

Το σύστημα κλειστού βρόχου είναι

$$(S_1 / S_2 / S_3 / S_{4,1} / S_{4,2} / S_{4,3}) / G = \mathbf{G} \parallel \mathbf{S}_1 \parallel \mathbf{S}_2 \parallel \mathbf{S}_3 \parallel \mathbf{S}_{4,1} \parallel \mathbf{S}_{4,2} \parallel \mathbf{S}_{4,3}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε το σύστημα της γραμμής συναρμολόγησης της οροφής του πλαισίου (σκελετού) ενός αυτοκινήτου. Παρουσιάστηκαν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος συναρμολόγησης, δηλαδή ο μεταφορέας, ο τροφοδότης του πλαισίου, ο τροφοδότης της οροφής, η πρέσα και ο εκφορτωτής. Αναπτύχθηκαν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος συναρμολόγησης με την παρουσία σφαλμάτων ενεργοποιητών/αισθητήρων. Αναπτύχθηκε το συνολικό μοντέλο του συστήματος με παρουσία σφαλμάτων. Παρουσιάστηκαν οι επιθυμητές συμπεριφορές σε μορφή κανόνων και σε μορφή επιθυμητών γλωσσών. Αποδείχτηκε η ελεγχιμότητα των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Σχεδιάστηκε ένα σύνολο δυναμικών εποπτιών με βάση τις επιθυμητές γλώσσες και σχεδιάστηκε μία δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου με ανοχή σε σφάλματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. V. Chandra, Z. Huang, and R. Kumar, “Automated control synthesis for an assembly line using discrete event system control theory,” *IEEE Transaction on systems, man, and cybernetics—part c: applications and reviews*, vol. 33 (2), pp. 284–289, 2003.
2. Sanchez, J. G. Douriet and Eduardo Ramirez, “Synthesis of a Class of Discrete-Event Controllers for Large Manufacturing Systems,” *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics—part c: applications and reviews*, vol. 37 (4), 2007.
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.