



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

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

«Έλεγχος μίας μονάδας κατεργασίας με κυκλικά
περιστρεφόμενη τράπεζα»

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 τον

Αριστοτέλης Σουλιώτης

Ιούνιος 2022



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

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

«Έλεγχος μίας μονάδας κατεργασίας με κυκλικά
περιστρεφόμενη τράπεζα»

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

Αριστοτέλης Σουλιώτης

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. 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 μία βιομηχανική κυκλικά περιστρεφόμενη τράπεζα της βιβλιογραφίας παρουσία σφαλμάτων. Θα παρουσιαστεί μία δομοστοιχειωτή μοντελοποίηση των υποσυστημάτων με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων και πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Ramadge Wonham. Αρχικά θα παρουσιαστούν οι επιθυμητές προδιαγραφές λειτουργίας και ασφάλειας σε μορφή απλών κανόνων. Στη συνέχεια, οι επιθυμητές προδιαγραφές θα παρουσιαστούν στη μορφή κανονικών γλωσσών. Θα υλοποιηθούν οι επιθυμητές γλώσσες ως πεπερασμένα ντετερμινιστικά αυτόματα, επόπτες, και θα σχεδιαστή με δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου.

Λέξεις κλειδιά: Πεπερασμένα ντετερμινιστικά αυτόματα, Επόπτης ελεγκτής, Δομοστοιχειωτός εποπτικός έλεγχος, Συστήματα Παραγωγής

Abstract

In this diploma thesis, an industrial circular table of the literature will be presented in the presence of fault. A modular modeling of subsystems using finite deterministic automata and more specifically using the Ramadge Wonham framework will be presented. Initially, the desired operation and safety specifications will be presented in the form of simple rules. Next, the desired specifications will be presented in the form of regular languages. The desired languages will be implemented as finite deterministic automata, supervisors, and will be designed with a modular control architecture.

Keywords: Deterministic Finite Automaton, Supervisory control, Modular supervisory control, Manufacturing Cell

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	3
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
2.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ.....	3
2.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	5
2.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ	6
2.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ..	8
2.6 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	9
2.7 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ	13
3.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	13
3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	14
3.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	16
3.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	18
3.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	19
3.6 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	23
4.1 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	23
4.2 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ.....	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΕΠΟΠΤΕΣ	25
5.1 ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΕΠΟΠΤΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	25
5.2 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΟΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	32
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	33

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της τράπεζας.....	5
Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς χωρίς παρουσία σφαλμάτων.....	6
Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της μηχανής διάτρησης	7
Σχήμα 4: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής δοκιμής.....	9
Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής δοκιμής χωρίς παρουσία σφαλμάτων	10
Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του ρομποτικού βραχίονα χωρίς παρουσία σφαλμάτων	12
Σχήμα 7: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της τράπεζας με παρουσία σφαλμάτων....	14
Σχήμα 8: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς με παρουσία σφαλμάτων.....	16
Σχήμα 9: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής δοκιμής με παρουσία σφαλμάτων	18
Σχήμα 10: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής δοκιμής με παρουσία σφαλμάτων	19
Σχήμα 11: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του ρομποτικού βραχίονα με παρουσία σφαλμάτων	21
Σχήμα 12: Το αυτόματο του επόπτη $S_{1,1}$	26
Σχήμα 13: Το αυτόματο του επόπτη $S_{1,2}$	27
Σχήμα 14: Το αυτόματο του επόπτη S_2	28
Σχήμα 15: Το αυτόματο του επόπτη S_3	29

Σχήμα 16: Το αυτόματο του επόπτη S_4	31
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί μία βιομηχανική κυκλικά περιστρεφόμενη τράπεζα της βιβλιογραφίας παρουσία σφαλμάτων. Θα παρουσιαστεί μία δομοστοιχειωτή μοντελοποίηση των υποσυστημάτων με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων και πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Ramadge Wonham. Αρχικά θα παρουσιαστούν οι επιθυμητές προδιαγραφές λειτουργίας και ασφάλειας σε μορφή απλών κανόνων. Στη συνέχεια, οι επιθυμητές προδιαγραφές θα παρουσιαστούν στη μορφή κανονικών γλωσσών. Θα υλοποιηθούν οι επιθυμητές γλώσσες ως πεπερασμένα ντετερμινιστικά αυτόματα, επόπτες, και θα σχεδιαστή με δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου.

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

Στο Κεφάλαιο 2 θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο της μονάδας κατεργασίας και των υποσυστημάτων αυτής με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων.

Στο Κεφάλαιο 3 θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο της μονάδας κατεργασίας και των υποσυστημάτων αυτής με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων με παρουσία σφαλμάτων.

Στο Κεφάλαιο 4 θα παρουσιαστούν οι επιθυμητές συμπεριφορές του συστήματος σε μορφή κανόνων και κανονικών γλωσσών. Οι επόπτες ελεγκτές που υλοποιούν την επιθυμητή γλώσσα θα παρουσιαστούν στο τέλος του κεφαλαίου.

Στο Κεφάλαιο 5 θα παρουσιαστούν οι επόπτες ελεγκτές που υλοποιούν την επιθυμητή συμπεριφορά και η δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου.

Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής.

-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Τα κύρια στοιχεία της μονάδας κατεργασίας είναι η κυκλική περιστρεφόμενη τράπεζα με τέσσερις διακριτές θέσεις, μία συσκευή ταξινόμησης και μεταφοράς, μία μηχανή διάτρησης, μια συσκευή δοκιμής, ένας ρομποτικός βραχίονας και μια συσκευή τροφοδοσίας (ιμάντας). Η συσκευή τροφοδοσίας λαμβάνει ακατέργαστα προϊόντα και τα παραδίδει στη συσκευή ταξινόμησης και μεταφοράς. Υπάρχουν τρεις τύποι προϊόντων που μπορούν να μεταφερθούν στο σύστημα με μεταβλητές διαστάσεις. Η συσκευή ταξινόμησης και μεταφοράς ταξινομούν τα ακατέργαστα προϊόντα και είτε τα μεταφέρουν στην περιστρεφόμενη τράπεζα είτε τα απορρίπτουν. Ένα προϊόν απορρίπτεται εάν οι διαστάσεις του είναι εκτός εύρους. Τα ακατέργαστα προϊόντα τρυπιούνται και ελέγχονται από τη μηχανή διάτρησης και τη συσκευή δοκιμής, αντίστοιχα. Η συσκευή δοκιμής έχει δύο διαφορετικούς τύπους επεξεργασίας. Η διαδικασία δοκιμής τύπου A πρέπει να εκτελείται κάθε φορά που ένα προϊόν έχει τρυπηθεί με επιτυχία και η διαδικασία δοκιμής B πρέπει να εκτελείται κάθε φορά που υπάρχει βλάβη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διάτρησης. Τα προϊόντα ανακτώνται από την τράπεζα από τον ρομποτικό βραχίονα και αποθηκεύονται σε ξεχωριστές θέσεις αποθήκευσης για κάθε τύπο προϊόντος διάτρησης αλλά και για εκείνα τα προϊόντα που δεν έχουν περάσει επιτυχώς από τη συσκευή δοκιμής.

2.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Το μαθηματικό μοντέλο της κυκλικής περιστρεφόμενης τράπεζας σύμφωνα με την ([3]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9])

$$\mathbf{G}_T = (\mathbb{Q}_T, \mathbb{E}_T, f_T, \mathbb{H}_T, x_{T,0}, \mathbb{Q}_{T,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$$\mathbb{Q}_T = \{q_{T,1}, q_{T,2}\}$$

Η κατάσταση $q_{T,1}$ είναι η περίπτωση όπου η τράπεζα είναι αδρανής. Η κατάσταση $q_{T,2}$ είναι η περίπτωση όπου η τράπεζα κινείται.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_T = \{e_{T,1}, e_{T,2}\}.$$

Το συμβάν $e_{T,1}$ δίνει εντολή στην τράπεζα να αρχίσει να περιστρέφεται για 90° . Το συμβάν $e_{T,2}$ είναι το σήμα προς την τράπεζα να σταματήσει να κινείται, που παράγεται όταν ολοκληρωθεί η περιστροφή.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{T,c} = \{e_{T,1}\}$ και το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{T,uc} = \{e_{T,2}\}$.

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι:

$$\mathbb{H}_T(q_{T,1}) = \{e_{T,1}\}, \mathbb{H}_T(q_{T,2}) = \{e_{T,2}\}.$$

Οι μεταβάσεις είναι

$$f_T(q_{T,1}, e_{T,1}) = q_{T,2}, f_T(q_{T,2}, e_{T,2}) = q_{T,1}$$

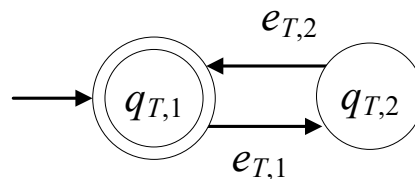
Η κλειστή συμπεριφορά του αυτόματου της τράπεζας είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_T) = \overline{(e_{T,1}e_{T,2})}^*$$

Η σημαδεμένη συμπεριφορά του αυτόματου της τράπεζας είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_T) = (e_{T,1}e_{T,2})^*$$

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της περιστρεφόμενης κυκλικής τράπεζας.



Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της τράπεζας

2.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Το μαθηματικό μοντέλο της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς σύμφωνα με την ([1]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[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 είναι

$$\mathbb{Q}_C = \{q_{C,1}, q_{C,2}, q_{C,3}, q_{C,4}\}.$$

Η κατάσταση $q_{C,1}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή ταξινόμηση και μεταφορά είναι αδρανής. Η κατάσταση $q_{C,2}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή ταξινόμηση και μεταφορά ταξινομεί. Η κατάσταση $q_{C,3}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή ταξινόμηση και μεταφορά τίθεται σε παύση. Η κατάσταση $q_{C,4}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή ταξινόμηση και μεταφορά μεταφέρει ένα προϊόν.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_C = \{e_{C,1}, e_{C,2}, e_{C,3}, e_{C,4}, e_{C,5}\}.$$

Το συμβάν $e_{C,1}$ δίνει εντολή στο σύστημα να ξεκινήσει την ταξινόμηση. Το συμβάν $e_{C,2}$ υποδεικνύει ότι το προϊόν έχει ταξινομηθεί και γίνεται αποδεκτό. Το συμβάν $e_{C,3}$ υποδεικνύει ότι το προϊόν έχει ταξινομηθεί και απορριφθεί. Το συμβάν $e_{C,4}$ δίνει εντολή στο σύστημα να ξεκινήσει τη μεταφορά. Το συμβάν $e_{C,5}$ υποδεικνύει ότι το προϊόν έχει μεταφερθεί.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{C,c} = \{e_{C,1}, e_{C,4}\}$. Το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{C,uc} = \{e_{C,2}, e_{C,3}, e_{C,5}\}$.

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_C(q_{C,1}) = \{e_{C,1}\}, \mathbb{H}_C(q_{C,2}) = \{e_{C,2}, e_{C,3}\}, \mathbb{H}_C(q_{C,3}) = \{e_{C,4}\}, \mathbb{H}_C(q_{C,4}) = \{e_{C,5}\}.$$

Η συνάρτηση μετάβασης είναι

$$f_C(q_{C,1}, e_{C,1}) = q_{C,2}, f_C(q_{C,2}, e_{C,2}) = q_{C,3}, f_C(q_{C,2}, e_{C,3}) = q_{C,1}, f_C(q_{C,3}, e_{C,4}) = q_{C,4},$$

$$f_C(q_{C,4}, e_{C,5}) = q_{C,1}.$$

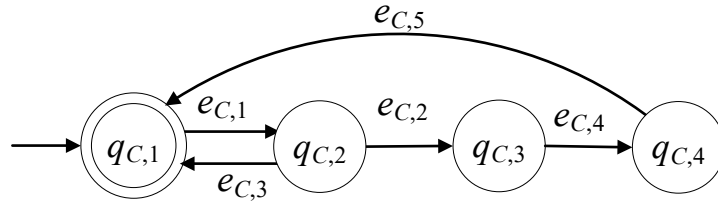
Η κλειστή συμπεριφορά του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_C) = \overline{(e_{C,1} (e_{C,3} + e_{C,2}(e_{C,4}e_{C,5})))^*}$$

Η χαρακτηρισμένη συμπεριφορά του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_C) = (e_{C,1} (e_{C,3} + e_{C,2}(e_{C,4}e_{C,5})))^*$$

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς.



Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς χωρίς παρουσία σφαλμάτων

2.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Το μαθηματικό μοντέλο της μηχανής διάτρησης παρουσιάζεται με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9])

$$\mathbf{G}_D = (\mathbb{Q}_D, \mathbb{E}_D, f_D, \mathbb{H}_D, x_{D,0}, \mathbb{Q}_{D,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_D = \{q_{D,1}, q_{D,2}, q_{D,3}\}.$$

Η κατάσταση $q_{D,1}$ είναι η περίπτωση που η μηχανή διάτρησης είναι σε αδράνεια. Η κατάσταση $q_{D,2}$ είναι η περίπτωση που η μηχανή διάτρησης λειτουργεί. Η κατάσταση $q_{D,3}$ είναι η περίπτωση όπου το τρυπάνι έχει χαλάσει.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

$$Q_{D,m} = \{q_{D,1}\}.$$

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_D = \{e_{D,1}, e_{D,2}, e_{D,3}, e_{D,4}\}.$$

Το συμβάν $e_{D,1}$ δίνει εντολή στη μηχανή διάτρησης να αρχίσει να λειτουργεί. Το συμβάν $e_{D,2}$ δίνει το σήμα ότι η διάτρηση ολοκληρώθηκε με επιτυχία. Το συμβάν $e_{D,3}$ δείχνει ότι το τρυπάνι χάλασε. Το συμβάν $e_{D,4}$ δείχνει ότι το τρυπάνι έχει επισκευαστεί.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{D,c} = \{e_{D,1}\}$ και το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{D,uc} = \{e_{D,2}, e_{D,3}, e_{D,4}\}$.

Τα ενεργά σύνολα συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_D(q_{D,1}) = \{e_{D,1}\}, \mathbb{H}_D(q_{D,2}) = \{e_{D,2}, e_{D,3}\}, \mathbb{H}_D(q_{D,3}) = \{e_{D,4}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_D(q_{D,1}, e_{D,1}) = q_{D,2}, f_D(q_{D,2}, e_{D,2}) = q_{D,1}, f_D(q_{D,2}, e_{D,3}) = q_{D,3}, f_D(q_{D,3}, e_{D,4}) = q_{D,1}$$

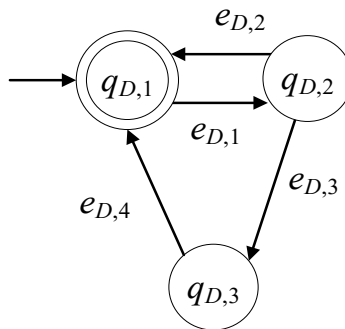
Η κλειστή συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_D) = \overline{(e_{D,1}(e_{D,2} + e_{D,3}e_{D,4}))^*}.$$

Η σημαδεμένη συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_D) = (e_{D,1}(e_{D,2} + e_{D,3}e_{D,4}))^*$$

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της μηχανής διάτρησης.



Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της μηχανής διάτρησης

2.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Το μαθηματικό μοντέλο της συσκευής δοκιμής παρουσιάζεται με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9])

$$\mathbf{G}_B = (\mathbb{Q}_B, \mathbb{E}_B, f_B, \mathbb{H}_B, x_{B,0}, \mathbb{Q}_{B,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_B = \{q_{B,1}, q_{B,2}\}.$$

Η κατάσταση $q_{B,1}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή δοκιμής είναι σε αδράνεια. Η κατάσταση $q_{B,2}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή δοκιμής λειτουργεί.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_B = \{e_{B,1}, e_{B,2}, e_{B,3}\}.$$

Το συμβάν $e_{B,1}$ δίνει εντολή στη συσκευή δοκιμής να αρχίσει τη διαδικασία δοκιμής τύπου A .

Το συμβάν $e_{B,2}$ δίνει εντολή στη συσκευή δοκιμής να αρχίσει τη διαδικασία δοκιμής τύπου B .

Το συμβάν $e_{B,3}$ δείχνει ότι το προϊόν έχει ελεγχθεί.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{B,c} = \{e_{B,1}, e_{B,2}\}$ και το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{B,uc} = \{e_{B,3}\}$.

Τα ενεργά σύνολα συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_B(q_{B,1}) = \{e_{B,1}, e_{B,2}\}, \mathbb{H}_B(q_{B,2}) = \{e_{B,3}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_B(q_{B,1}, e_{B,1}) = q_{B,2}, f_B(q_{B,1}, e_{B,2}) = q_{B,2}, f_B(q_{B,2}, e_{B,3}) = q_{B,1}$$

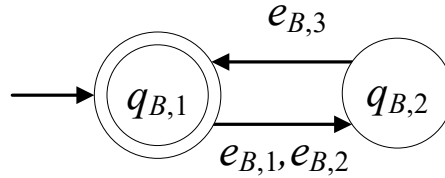
Η κλειστή συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_B) = \overline{((e_{B,1} + e_{B,2})e_{B,3})^*}.$$

Η σημαδεμένη συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_B) = ((e_{B,1} + e_{B,2})e_{B,3})^*$$

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής δοκιμής.



Σχήμα 4: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής δοκιμής

2.6 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Το μαθηματικό μοντέλο της συσκευής τροφοδοσίας παρουσιάζεται με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9])

$$\mathbf{G}_F = (\mathbb{Q}_F, \mathbb{E}_F, f_F, \mathbb{H}_F, x_{F,0}, \mathbb{Q}_{F,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_F = \{q_{F,1}, q_{F,2}, q_{F,3}\}.$$

Η κατάσταση $q_{F,1}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή τροφοδοσίας είναι σε αδράνεια. Η κατάσταση $q_{F,2}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή τροφοδοσίας λειτουργεί. Η κατάσταση $q_{F,3}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή τροφοδοσίας δεν έχει άλλα κομμάτια για τροφοδοσία.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_F = \{e_{F,1}, e_{F,2}, e_{F,3}, e_{F,4}\}.$$

Το συμβάν $e_{F,1}$ δίνει εντολή στη συσκευή τροφοδοσίας να αρχίσει να λειτουργεί. Το συμβάν $e_{F,2}$ δείχνει ότι η συσκευή τροφοδοσίας τροφοδότησε με ένα προϊόν. Το συμβάν $e_{F,3}$ δείχνει ότι η συσκευή τροφοδοσίας δεν έχει άλλα προϊόντα. Το συμβάν $e_{F,4}$ δείχνει ότι η συσκευή τροφοδοσίας εφοδιάστηκε με καινούργια προϊόντα.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{F,c} = \{e_{F,1}\}$ και το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{F,uc} = \{e_{F,2}, e_{F,3}, e_{F,4}\}$.

Τα ενεργά σύνολα συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_F(q_{F,1}) = \{e_{F,1}\}, \mathbb{H}_F(q_{F,2}) = \{e_{F,2}, e_{F,3}\}, \mathbb{H}_F(q_{F,3}) = \{e_{F,4}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_F(q_{F,1}, e_{F,1}) = q_{F,2}, f_F(q_{F,2}, e_{F,2}) = q_{F,1}, f_F(q_{F,2}, e_{F,3}) = q_{F,3}, f_F(q_{F,3}, e_{F,4}) = q_{F,1}$$

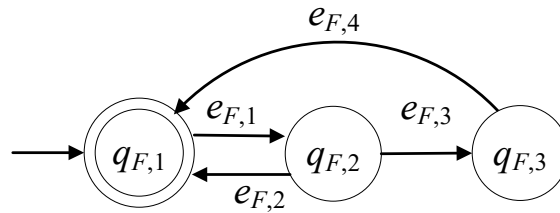
Η κλειστή συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_F) = \overline{(e_{F,1}(e_{F,2} + e_{F,3}e_{F,4}))^*}.$$

Η σημαδεμένη συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_F) = (e_{F,1}(e_{F,2} + e_{F,3}e_{F,4}))^*$$

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής τροφοδοσίας.



Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής δοκιμής χωρίς παρουσία σφαλμάτων

2.7 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Το μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα παρουσιάζεται με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[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 είναι

$$\mathbb{Q}_R = \{q_{R,1}, q_{R,2}, q_{R,3}\}.$$

Η κατάσταση $q_{R,1}$ είναι η περίπτωση που ο ρομποτικός βραχίονας είναι σε αδράνεια. Η κατάσταση $q_{R,2}$ είναι η περίπτωση όπου ο ρομποτικός βραχίονας ανακτά ένα προϊόν από την

τράπεζα. Η κατάσταση $q_{R,3}$ είναι η περίπτωση που ο ρομποτικός βραχίονας αποθηκεύει ένα προϊόν.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_R = \{e_{R,1}, e_{R,2}, e_{R,3}\}.$$

Το συμβάν $e_{R,1}$ δίνει εντολή στον ρομποτικό βραχίονα να αρχίσει την ανάκτηση και την αποθήκευση των προϊόντων. Το συμβάν $e_{R,2}$ δείχνει ότι ο ρομποτικός βραχίονας ανέκτησε ένα προϊόν από την τράπεζα. Το συμβάν $e_{R,3}$ δείχνει ότι ο ρομποτικός βραχίονας αποθήκευσε ένα προϊόν.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{R,c} = \{e_{R,1}\}$ και το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{R,uc} = \{e_{R,2}, e_{R,3}\}$.

Τα ενεργά σύνολα συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_R(q_{R,1}) = \{e_{R,1}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,2}) = \{e_{R,2}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,3}) = \{e_{R,3}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_R(q_{R,1}, e_{R,1}) = q_{R,2}, f_R(q_{R,2}, e_{R,2}) = q_{R,3}, f_R(q_{R,3}, e_{R,3}) = q_{R,1}.$$

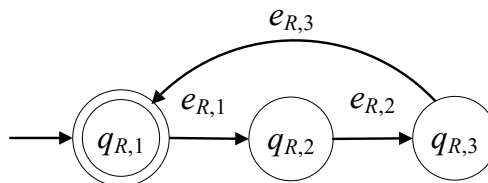
Η κλειστή συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_R) = \overline{(e_{R,1}e_{R,2}e_{R,3})^*}.$$

Η σημαδεμένη συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_R) = (e_{R,1}e_{R,2}e_{R,3})^*$$

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του ρομποτικού βραχίονα



Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του ρομποτικού βραχίονα χωρίς παρουσία σφαλμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

3.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Το μαθηματικό μοντέλο της κυκλικής περιστρεφόμενης τράπεζας σύμφωνα με την ([1]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9])

$$\mathbf{G}_T = (\mathbb{Q}_T, \mathbb{E}_T, f_T, \mathbb{H}_T, x_{T,0}, \mathbb{Q}_{T,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$$\mathbb{Q}_T = \{q_{T,1}, q_{T,2}, q_{T,3}\}$$

Η κατάσταση $q_{T,1}$ είναι η περίπτωση όπου η τράπεζα είναι αδρανής. Η κατάσταση $q_{T,2}$ είναι η περίπτωση όπου η τράπεζα κινείται. Η κατάσταση $q_{T,3}$ είναι η περίπτωση όπου η τράπεζα βρίσκεται σε λειτουργία σφάλματος.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_T = \{e_{T,1}, e_{T,2}, e_{T,3}, e_{T,4}\}.$$

Το συμβάν $e_{T,1}$ δίνει εντολή στην τράπεζα να αρχίσει να περιστρέφεται για 90° . Το συμβάν $e_{T,2}$ είναι το σήμα προς την τράπεζα να σταματήσει να κινείται, που παράγεται όταν ολοκληρωθεί η περιστροφή. Το συμβάν $e_{T,3}$ δείχνει ότι ένα σφάλμα έλαβε χώρα στην τράπεζα. Το συμβάν $e_{T,4}$ υποδεικνύει ότι η βλάβη έχει επιδιορθωθεί.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{T,c} = \{e_{T,1}\}$ και το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{T,uc} = \{e_{T,2}, e_{T,3}, e_{T,4}\}$.

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι:

$$\mathbb{H}_T(q_{T,1}) = \{e_{T,1}\}, \mathbb{H}_T(q_{T,2}) = \{e_{T,2}, e_{T,3}\}, \mathbb{H}_T(q_{T,3}) = \{e_{T,4}\}.$$

Οι μεταβάσεις είναι

$$f_T(q_{T,1}, e_{T,1}) = q_{T,2}, f_T(q_{T,2}, e_{T,2}) = q_{T,1}, f_T(q_{T,2}, e_{T,3}) = q_{T,3}, f_T(q_{T,3}, e_{T,4}) = q_{T,1}$$

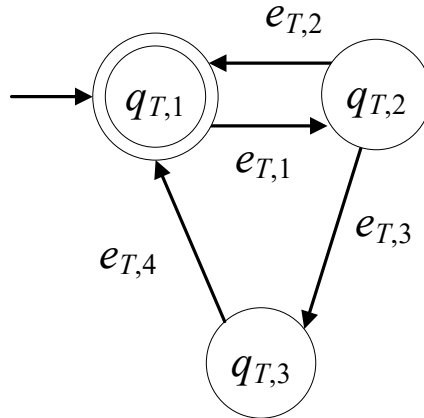
Η κλειστή συμπεριφορά του αυτόματου της τράπεζας είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_T) = \overline{(e_{T,1}(e_{T,2} + e_{T,3}e_{T,4}))^*}$$

Η σημαδεμένη συμπεριφορά του αυτόματου της τράπεζας είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_T) = (e_{T,1}(e_{T,2} + e_{T,3}e_{T,4}))^*$$

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της περιστρεφόμενης κυκλικής τράπεζας.



Σχήμα 7: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της τράπεζας με παρουσία σφαλμάτων

3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Το μαθηματικό μοντέλο της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς σύμφωνα με την ([1]) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[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 είναι

$$\mathbb{Q}_C = \{q_{C,1}, q_{C,2}, q_{C,3}, q_{C,4}, q_{C,5}\}.$$

Η κατάσταση $q_{C,1}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή ταξινόμηση και μεταφορά είναι αδρανής. Η κατάσταση $q_{C,2}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή ταξινόμηση και μεταφορά ταξινομεί. Η κατάσταση $q_{C,3}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή ταξινόμηση και μεταφορά τίθεται σε παύση. Η κατάσταση $q_{C,4}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή ταξινόμηση και μεταφορά μεταφέρει ένα προϊόν. Η κατάσταση $q_{C,5}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή ταξινόμηση και μεταφορά βρίσκεται σε λειτουργία σφάλματος.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_C = \{e_{C,1}, e_{C,2}, e_{C,3}, e_{C,4}, e_{C,5}, e_{C,6}, e_{C,7}\}.$$

Το συμβάν $e_{C,1}$ δίνει εντολή στο σύστημα να ξεκινήσει την ταξινόμηση. Το συμβάν $e_{C,2}$ υποδεικνύει ότι το προϊόν έχει ταξινομηθεί και γίνεται αποδεκτό. Το συμβάν $e_{C,3}$ υποδεικνύει ότι το προϊόν έχει ταξινομηθεί και απορριφθεί. Το συμβάν $e_{C,4}$ δίνει εντολή στο σύστημα να ξεκινήσει τη μεταφορά. Το συμβάν $e_{C,5}$ υποδεικνύει ότι το προϊόν έχει μεταφερθεί. Το συμβάν $e_{C,6}$ δείχνει ότι έγινε σφάλμα. Το συμβάν $e_{C,7}$ υποδεικνύει ότι η βλάβη έχει επιδιορθωθεί.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{C,c} = \{e_{C,1}, e_{C,4}\}$. Το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{C,nc} = \{e_{C,2}, e_{C,3}, e_{C,5}, e_{C,6}, e_{C,7}\}$.

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$$\begin{aligned} \mathbb{H}_C(q_{C,1}) &= \{e_{C,1}\}, \quad \mathbb{H}_C(q_{C,2}) = \{e_{C,2}, e_{C,3}, e_{C,6}\}, \quad \mathbb{H}_C(q_{C,3}) = \{e_{C,4}, e_{C,6}\}, \quad \mathbb{H}_C(q_{C,4}) = \{e_{C,5}, e_{C,6}\}, \\ \mathbb{H}_C(q_{C,5}) &= \{e_{C,7}\}. \end{aligned}$$

Η συνάρτηση μετάβασης είναι

$$\begin{aligned} f_C(q_{C,1}, e_{C,1}) &= q_{C,2}, \quad f_C(q_{C,2}, e_{C,2}) = q_{C,3}, \quad f_C(q_{C,2}, e_{C,6}) = q_{C,5}, \quad f_C(q_{C,2}, e_{C,3}) = q_{C,1}, \\ f_C(q_{C,3}, e_{C,4}) &= q_{C,4}, \quad f_C(q_{C,3}, e_{C,6}) = q_{C,5}, \quad f_C(q_{C,4}, e_{C,5}) = q_{C,1}, \quad f_C(q_{C,4}, e_{C,6}) = q_{C,5}, \\ f_C(q_{C,5}, e_{C,7}) &= q_{C,1}. \end{aligned}$$

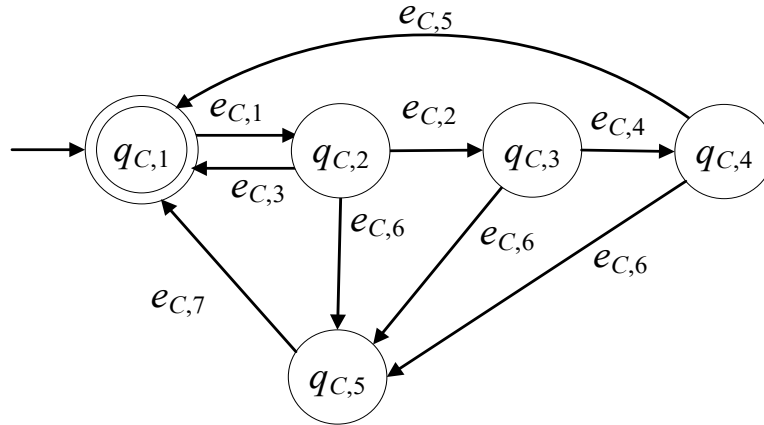
Η κλειστή συμπεριφορά του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_C) = \overline{\left(e_{C,1} \left(e_{C,3} + e_{C,6} e_{C,7} + e_{C,2} \left(e_{C,6} e_{C,7} + e_{C,4} (e_{C,5} + e_{C,6} e_{C,7}) \right) \right) \right)^*}$$

Η χαρακτηρισμένη συμπεριφορά του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_C) = \left(e_{C,1} \left(e_{C,3} + e_{C,6} e_{C,7} + e_{C,2} \left(e_{C,6} e_{C,7} + e_{C,4} (e_{C,5} + e_{C,6} e_{C,7}) \right) \right) \right)^*$$

Στο Σχήμα 8 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς.



Σχήμα 8: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής ταξινόμησης και μεταφοράς με παρουσία σφαλμάτων

3.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Το μαθηματικό μοντέλο της συσκευής δοκιμής παρουσιάζεται με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9])

$$\mathbf{G}_B = (\mathbb{Q}_B, \mathbb{E}_B, f_B, \mathbb{H}_B, x_{B,0}, \mathbb{Q}_{B,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_B = \{q_{B,1}, q_{B,2}, q_{B,3}\}.$$

Η κατάσταση $q_{B,1}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή δοκιμής είναι σε αδράνεια. Η κατάσταση $q_{B,2}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή δοκιμής λειτουργεί. Η κατάσταση $q_{B,3}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή δοκιμής είναι σε σφάλμα.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_B = \{e_{B,1}, e_{B,2}, e_{B,3}, e_{B,4}, e_{B,5}\}.$$

Το συμβάν $e_{B,1}$ δίνει εντολή στη συσκευή δοκιμής να αρχίσει τη διαδικασία δοκιμής τύπου A .

Το συμβάν $e_{B,2}$ δίνει εντολή στη συσκευή δοκιμής να αρχίσει τη διαδικασία δοκιμής τύπου B .

Το συμβάν $e_{B,3}$ δείχνει ότι το προϊόν έχει ελεγχθεί. Το συμβάν $e_{B,4}$ δείχνει ότι ένα σφάλμα έλαβε χώρα στο σύστημα. Το συμβάν $e_{B,5}$ δείχνει ότι το σφάλμα επιδιορθώθηκε.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{B,c} = \{e_{B,1}, e_{B,2}\}$ και το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{B,uc} = \{e_{B,3}, e_{B,4}, e_{B,5}\}$.

Τα ενεργά σύνολα συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_B(q_{B,1}) = \{e_{B,1}, e_{B,2}\}, \mathbb{H}_B(q_{B,2}) = \{e_{B,3}, e_{B,4}\}, \mathbb{H}_B(q_{B,3}) = \{e_{B,5}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_B(q_{B,1}, e_{B,1}) = q_{B,2}, f_B(q_{B,1}, e_{B,2}) = q_{B,2}, f_B(q_{B,2}, e_{B,3}) = q_{B,1}, f_B(q_{B,2}, e_{B,4}) = q_{B,3}, \\ f_B(q_{B,3}, e_{B,5}) = q_{B,1}$$

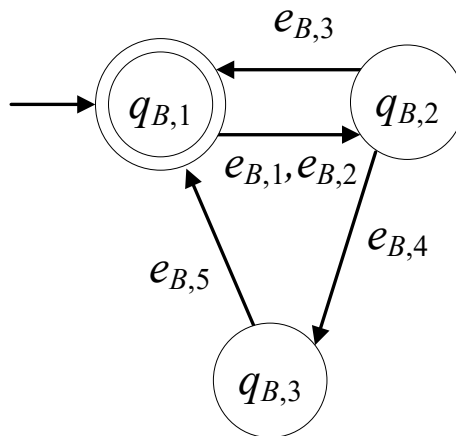
Η κλειστή συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_B) = \overline{((e_{B,1} + e_{B,2})(e_{B,3} + e_{B,4}e_{B,5}))^*}.$$

Η σημαδεμένη συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_B) = ((e_{B,1} + e_{B,2})(e_{B,3} + e_{B,4}e_{B,5}))^*$$

Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής δοκιμής.



Σχήμα 9: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευή δοκιμής με παρουσία σφαλμάτων

3.4 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Το μαθηματικό μοντέλο της συσκευής τροφοδοσίας παρουσιάζεται με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[9])

$$\mathbf{G}_F = (\mathbb{Q}_F, \mathbb{E}_F, f_F, \mathbb{H}_F, x_{F,0}, \mathbb{Q}_{F,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων είναι

$$\mathbb{Q}_F = \{q_{F,1}, q_{F,2}, q_{F,3}, q_{F,4}\}.$$

Η κατάσταση $q_{F,1}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή τροφοδοσίας είναι σε αδράνεια. Η κατάσταση $q_{F,2}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή τροφοδοσίας λειτουργεί. Η κατάσταση $q_{F,3}$ είναι η περίπτωση που η συσκευή τροφοδοσίας δεν έχει άλλα κομμάτια για τροφοδοσία. Η κατάσταση $q_{F,4}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή τροφοδοσίας είναι σε σφάλμα.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

$$\mathbb{E}_F = \{e_{F,1}, e_{F,2}, e_{F,3}, e_{F,4}, e_{F,5}, e_{F,6}\}.$$

Το συμβάν $e_{F,1}$ δίνει εντολή στη συσκευή τροφοδοσίας να αρχίσει να λειτουργεί. Το συμβάν $e_{F,2}$ δείχνει ότι η συσκευή τροφοδοσίας τροφοδότησε με ένα προϊόν. Το συμβάν $e_{F,3}$ δείχνει ότι η συσκευή τροφοδοσίας δεν έχει άλλα προϊόντα. Το συμβάν $e_{F,4}$ δείχνει ότι η συσκευή τροφοδοσίας εφοδιάστηκε με καινούργια προϊόντα. Το συμβάν $e_{F,5}$ δείχνει ότι ένα σφάλμα έλαβε χώρα στο σύστημα. Το συμβάν $e_{F,6}$ δείχνει ότι το σφάλμα επιδιορθώθηκε.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{F,c} = \{e_{F,1}\}$ και το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{F,nc} = \{e_{F,2}, e_{F,3}, e_{F,4}, e_{F,5}, e_{F,6}\}$.

Τα ενεργά σύνολα συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_F(q_{F,1}) = \{e_{F,1}\}, \mathbb{H}_F(q_{F,2}) = \{e_{F,2}, e_{F,3}, e_{F,5}\}, \mathbb{H}_F(q_{F,3}) = \{e_{F,4}, e_{F,5}\}, \mathbb{H}_F(q_{F,4}) = \{e_{F,6}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_F(q_{F,1}, e_{F,1}) = q_{F,2}, f_F(q_{F,2}, e_{F,2}) = q_{F,1}, f_F(q_{F,2}, e_{F,3}) = q_{F,3}, f_F(q_{F,2}, e_{F,5}) = q_{F,4},$$

$$f_F(q_{F,3}, e_{F,4}) = q_{F,1}, f_F(q_{F,3}, e_{F,5}) = q_{F,4}, f_F(q_{F,4}, e_{F,6}) = q_{F,1}$$

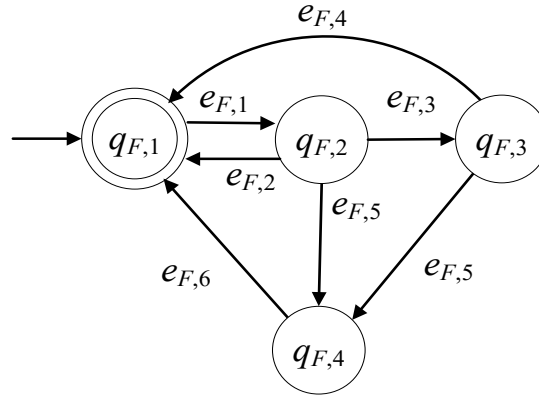
Η κλειστή συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_F) = \overline{(e_{F,1}(e_{F,2} + e_{F,3}e_{F,4}))^*}$$

Η σημαδεμένη συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_F) = (e_{F,1}(e_{F,2} + e_{F,3}e_{F,4}))^*$$

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευής τροφοδοσίας.



Σχήμα 10: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου της συσκευή δοκιμής με παρουσία σφαλμάτων

3.5 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Το μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα παρουσιάζεται με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([4]-[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 είναι

$$\mathbb{Q}_R = \{q_{R,1}, q_{R,2}, q_{R,3}, q_{R,4}\}.$$

Η κατάσταση $q_{R,1}$ είναι η περίπτωση που ο ρομποτικός βραχίονας είναι σε αδράνεια. Η κατάσταση $q_{R,2}$ είναι η περίπτωση όπου ο ρομποτικός βραχίονας ανακτά ένα προϊόν από την

τράπεζα. Η κατάσταση $q_{R,3}$ είναι η περίπτωση που ο ρομποτικός βραχίονας αποθηκεύει ένα προϊόν. Η κατάσταση $q_{R,4}$ είναι η περίπτωση όπου η συσκευή τροφοδοσίας είναι σε σφάλμα.

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

Το σύνολο των σημαδεμένων καταστάσεων είναι

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

Το αλφάβητο είναι

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

Το συμβάν $e_{R,1}$ δίνει εντολή στον ρομποτικό βραχίονα να αρχίσει την ανάκτηση και την αποθήκευση των προϊόντων. Το συμβάν $e_{R,2}$ δείχνει ότι ο ρομποτικός βραχίονας ανέκτησε ένα προϊόν από την τράπεζα. Το συμβάν $e_{R,3}$ δείχνει ότι ο ρομποτικός βραχίονας αποθήκευσε ένα προϊόν. Το συμβάν $e_{R,4}$ δείχνει ότι ένα σφάλμα έλαβε χώρα στο σύστημα. Το συμβάν $e_{R,5}$ δείχνει ότι το σφάλμα επιδιορθώθηκε.

Το σύνολο των ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{R,c} = \{e_{R,1}\}$ και το σύνολο των μη ελεγχόμενων συμβάντων είναι $\mathbb{E}_{R,uc} = \{e_{R,2}, e_{R,3}, e_{R,4}, e_{R,5}\}$.

Τα ενεργά σύνολα συμβάντων είναι

$$\mathbb{H}_R(q_{R,1}) = \{e_{R,1}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,2}) = \{e_{R,2}, e_{R,4}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,3}) = \{e_{R,3}, e_{R,4}\}, \mathbb{H}_R(q_{R,4}) = \{e_{R,5}\}.$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$\begin{aligned} f_R(q_{R,1}, e_{R,1}) &= q_{R,2}, & f_R(q_{R,2}, e_{R,2}) &= q_{R,3}, & f_R(q_{R,2}, e_{R,4}) &= q_{R,4}, & f_R(q_{R,3}, e_{R,3}) &= q_{R,1}, \\ f_R(q_{R,3}, e_{R,4}) &= q_{R,4}, & f_R(q_{R,4}, e_{R,5}) &= q_{R,1}. \end{aligned}$$

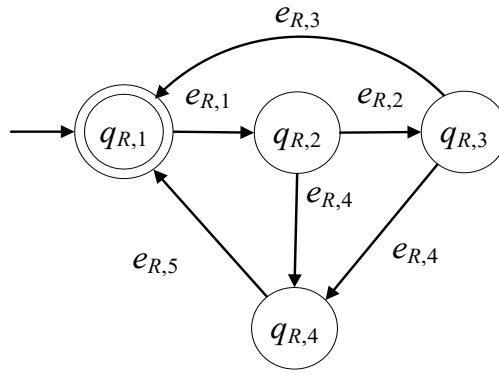
Η κλειστή συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{G}_R) = \overline{\left(e_{R,1} \left(e_{R,4} e_{R,5} + e_{R,2} (e_{R,3} + e_{R,4} e_{R,5}) \right) \right)^*}.$$

Η σημαδεμένη συμπεριφορά του είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_R) = \left(e_{R,1} \left(e_{R,4} e_{R,5} + e_{R,2} (e_{R,3} + e_{R,4} e_{R,5}) \right) \right)^*$$

Στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του ρομποτικού βραχίονα



Σχήμα 11: Διάγραμμα κατάστασης του αυτόματου του ρομποτικού βραχίονα με παρουσία σφαλιμάτων

3.6 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΟΝΑΔΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Εκτελώντας την παράλληλη σύνδεση όλων των υποσυστημάτων προκύπτει ότι

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_T \parallel \mathbf{G}_C \parallel \mathbf{G}_D \parallel \mathbf{G}_B \parallel \mathbf{G}_F \parallel \mathbf{G}_R$$

Οι καταστάσεις θα είναι

$$\mathbb{Q} = \mathbb{Q}_T \times \mathbb{Q}_C \times \mathbb{Q}_D \times \mathbb{Q}_B \times \mathbb{Q}_F \times \mathbb{Q}_R$$

όπου

$$\mathbb{Q} = \{(q_{T,1}, q_{C,1}, q_{D,1}, q_{B,1}, q_{F,1}, q_{R,1}), \dots, (q_{T,3}, q_{C,5}, q_{D,3}, q_{B,3}, q_{F,4}, q_{R,4})\}$$

Ο συνολικός αριθμός των καταστάσεων είναι 2160 καταστάσεις (προσβάσιμες και μη προσβάσιμες).

Το συνολικό αλφάβητο του συστήματος είναι

$$\mathbb{E} = \mathbb{E}_T \cup \mathbb{E}_C \cup \mathbb{E}_D \cup \mathbb{E}_B \cup \mathbb{E}_F \cup \mathbb{E}_R$$

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι $x_0 = (q_{T,1}, q_{C,1}, q_{D,1}, q_{B,1}, q_{F,1}, q_{R,1})$.

Η σημαδεμένη κατάσταση του αυτόματου είναι η $(q_{T,1}, q_{C,1}, q_{D,1}, q_{B,1}, q_{F,1}, q_{R,1})$ συνεπώς

$$\mathbb{Q}_m = \{(q_{T,1}, q_{C,1}, q_{D,1}, q_{B,1}, q_{F,1}, q_{R,1})\}.$$

Οι μεταβάσεις θα είναι της μορφής

$$f((q_{T,i}, q_{C,j}, q_{D,k}, q_{B,l}, q_{F,m}, q_{R,n}), e) = \begin{cases} (f_T(q_{T,i}, e), q_{C,j}, q_{D,k}, q_{B,l}, q_{F,m}, q_{R,n}) & \text{if } (e \in \mathbb{H}_T) \\ (q_{T,i}, f_C(q_{C,j}, e), q_{D,k}, q_{B,l}, q_{F,m}, q_{R,n}) & \text{if } (e \in \mathbb{H}_C) \\ (q_{T,i}, q_{C,j}, f_D(q_{D,k}, e), q_{B,l}, q_{F,m}, q_{R,n}) & \text{if } (e \in \mathbb{H}_D) \\ (q_{T,i}, q_{C,j}, q_{D,k}, f_B(q_{B,l}, e), q_{F,m}, q_{R,n}) & \text{if } (e \in \mathbb{H}_B) \\ (q_{T,i}, q_{C,j}, q_{D,k}, q_{B,l}, f_F(q_{F,m}, e), q_{R,n}) & \text{if } (e \in \mathbb{H}_F) \\ (q_{T,i}, q_{C,j}, q_{D,k}, q_{B,l}, q_{F,m}, f_R(q_{R,n}, e)) & \text{if } (e \in \mathbb{H}_R) \end{cases}$$

$$\forall i, k, l \in \{1, \dots, 3\}, \forall j \in \{1, 5\}, \forall m, n \in \{1, 4\}$$

και

$$\begin{aligned} & \mathbb{H}((q_{T,i}, q_{C,j}, q_{D,k}, q_{B,l}, q_{F,m}, q_{R,n})) = \\ & = \mathbb{H}_T(q_{T,i}) \cup \mathbb{H}_C(q_{C,j}) \cup \mathbb{H}_D(q_{D,k}) \cup \mathbb{H}_B(q_{B,l}) \cup \mathbb{H}_{F,m}(q_{F,m}) \cup \mathbb{H}_R(q_{R,n}) \end{aligned}$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\begin{aligned} \mathbb{L}(\mathbf{G}) &= \\ &= P_T^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_T)) \cap P_C^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_C)) \cap P_D^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_D)) \cap P_B^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_B)) \cap P_F^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_F)) \cap P_R^{-1}(\mathbb{L}(\mathbf{G}_R)) \end{aligned}$$

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\begin{aligned} \mathbb{L}_m(\mathbf{G}) &= \\ &= P_T^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_T)) \cap P_C^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_C)) \cap P_D^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_D)) \cap P_B^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_B)) \cap P_F^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_F)) \cap P_R^{-1}(\mathbb{L}_m(\mathbf{G}_R)) \end{aligned}$$

όπου P_T είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_T , P_C είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_C , P_D είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_D , P_B είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_B , P_F είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_F και P_R είναι η προβολή από το αλφάβητο \mathbb{E} στο αλφάβητο \mathbb{E}_R .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

4.1 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στην [1] έχει παρουσιαστεί ένα σύνολο προδιαγραφών ασφάλειας και λειτουργικότητας. Στην παρούσα εργασία, οι παραπάνω προδιαγραφές εμπλουτίζονται με απαιτήσεις λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα παρουσίας των βλαβών. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι εκτός από τη μηχανή διάτρησης όπου η περίπτωση του σπασμένου τρυπανιού (ελαττωματική περίπτωση) εξετάζεται από τη συσκευή δοκιμής, τα σφάλματα του υπόλοιπου συστήματος σημαίνει ότι μετά την επισκευή το σύστημα θα επανεκκινήσει από την αρχή για να ολοκληρώσει το εργασία με το ίδιο προϊόν.

Ειδικότερα, οι επιθυμητές προδιαγραφές, σε περίπτωση ύπαρξης βλαβών, διατυπώνονται ως εξής:

- Όταν σημειωθεί σφάλμα στην τράπεζα ή στον ρομποτικό βραχίονα, τότε η εντολή για έξοδο από την κατάσταση αδράνειας των υπόλοιπων συστημάτων απενεργοποιείται μέχρι την επιδιόρθωση της βλάβης.
- Η τράπεζα μπορεί να περιστραφεί εάν υπάρχει ακατέργαστο προϊόν στην αντίστοιχη θέση ή ένα τρυπημένο κομμάτι στη μηχανή διάτρησης ή ένα δοκιμασμένο προϊόν στη συσκευή δοκιμής.
- Η περιστροφή της τράπεζας και η μεταφορά του ακατέργαστου προϊόντος δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα.
- Η περιστροφή της τράπεζας και η διάτρηση δεν μπορούν να γίνουν ταυτόχρονα.

4.2 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΙΚΩΝ ΓΛΩΣΣΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ

Η 1η προδιαγραφή μπορεί να αναλυθεί στις ακόλουθες δύο προθεματικά κλειστές κανονικές γλώσσες

$${}^1\mathbb{K}_1 = \overline{\left((e_{C,1} + e_{D,1} + e_{B,1} + e_{R,1} + e_{F,1} + e_{T,4})^* e_{T,3} (e_{T,3})^* e_{T,4} \right)^*},$$

$${}^1\mathbb{K}_2 = \overline{\left((e_{T,1} + e_{C,1} + e_{D,1} + e_{B,1} + e_{F,1} + e_{R,4})^* e_{R,4} (e_{R,4})^* e_{R,5} \right)^*}$$

Η 2η προδιαγραφή εκφράζεται με την ακόλουθη προθεματικά κλειστή κανονική γλώσσα:

$${}^2\mathbb{K} = \overline{\left((e_{C,5} + e_{D,2} + e_{D,3} + e_{B,3}) (e_{C,5} + e_{D,2} + e_{D,3} + e_{B,3})^* e_{T,1} \right)^*}$$

Η 3η προδιαγραφή εκφράζεται με την ακόλουθη προθεματικά κλειστή κανονική γλώσσα:

$${}^3\mathbb{K} = \overline{\left((e_{T,2} + e_{T,4} + e_{C,5} + e_{C,6})^* (e_{T,1} + e_{C,4}) (e_{T,2} + e_{T,4} + e_{C,5} + e_{C,6}) \right)^*}$$

Η 4η προδιαγραφή εκφράζεται με την ακόλουθη προθεματικά κλειστή κανονική γλώσσα:

$${}^4\mathbb{K} = \overline{\left((e_{T,2} + e_{T,4} + e_{D,2} + e_{D,3})^* (e_{T,1} + e_{D,1}) (e_{T,2} + e_{T,4} + e_{D,2} + e_{D,3}) \right)^*}$$

Το κριτήριο της ελεγχιμότητας για τη γλώσσα \mathbb{K} και το αυτόματο \mathbf{G} είναι

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

Οι γλώσσες μετά από διερεύνηση είναι ελέγξιμες καθότι δεν αποτρέπουν την επενέργεια κανενός μη ελέγξιμου συμβάντος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΕΠΟΠΤΕΣ

Η επιθυμητή συμπεριφορά των μάντων εισόδου έτσι ώστε να περιορίζεται η χρήση του ρομποτικού βραχίονα στην περίπτωση που ο μάντας εισόδου δεν έχει άλλο προϊόν. Η επιθυμητή συμπεριφορά περιγράφεται σε μορφή κανόνων και σε μορφή κανονικών γλωσσών. Οι δυναμικοί επόπτες που υλοποιούν την επιθυμητή συμπεριφορά ολοκληρώνουν το κεφάλαιο.

5.1 ΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΕΠΟΠΤΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Για την επιθυμητή γλώσσα ${}^1\mathbb{K}_1$ και ακολουθώντας τον αλγόριθμο σχεδιασμού εποπτών της [4] ο επόπτης είναι της μορφής

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

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,1,1} = \{e_{C,1}, e_{D,1}, e_{B,1}, e_{R,1}, e_{F,1}, e_{T,3}, e_{T,4}\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,1,1}(q_{S,1,1,1}, e) = q_{S,1,1,1} \quad \forall e \in \{e_{C,1}, e_{D,1}, e_{B,1}, e_{R,1}, e_{F,1}, e_{T,4}\},$$

$$f_{S,1,1}(q_{S,1,1,1}, e_{T,3}) = q_{S,1,1,2}, \quad f_{S,1,1}(q_{S,1,1,2}, e_{T,3}) = q_{S,1,1,2}$$

$$, \quad f_{S,1,1}(q_{S,1,1,2}, e_{T,4}) = q_{S,1,1,1}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,1,1}(q_{S,1,1,1}) = \{e_{C,1}, e_{D,1}, e_{B,1}, e_{R,1}, e_{F,1}, e_{T,4}, e_{T,3}\},$$

$$\mathbb{H}_{S,1,1}(q_{S,1,1,2}) = \{e_{T,3}, e_{T,4}\},$$

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

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

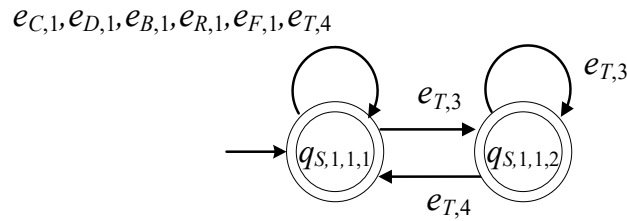
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{S}_{1,1}) = \overline{\left((e_{C,1} + e_{D,1} + e_{B,1} + e_{R,1} + e_{F,1} + e_{T,4})^* e_{T,3} (e_{T,3})^* e_{T,4} \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{S}_{1,1}) = \overline{\left((e_{C,1} + e_{D,1} + e_{B,1} + e_{R,1} + e_{F,1} + e_{T,4})^* e_{T,3} (e_{T,3})^* e_{T,4} \right)^*} = \mathbb{L}(\mathbf{S}_{1,1})$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12: Το αυτόματο του επόπτη $\mathbf{S}_{1,1}$

Για την επιθυμητή γλώσσα ${}^1\mathbb{K}_2$ και ακολουθώντας τον αλγόριθμο σχεδιασμού εποπτών της [4] ο επόπτης είναι της μορφής

$$\mathbf{S}_{1,2} = (\mathbb{Q}_{S,1,2}, \mathbb{E}_{S,1,2}, f_{S,1,2}, \mathbb{H}_{S,1,2}, x_{S,1,2,0}, \mathbb{Q}_{S,1,2,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$$\mathbb{E}_{S,1,2} = \{e_{T,1}, e_{C,1}, e_{D,1}, e_{B,1}, e_{F,1}, e_{R,4}, e_{R,5}\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,1,2}(q_{S,1,2,1}, e) = q_{S,1,2,1} \quad \forall e \in \{e_{T,1}, e_{C,1}, e_{D,1}, e_{B,1}, e_{F,1}, e_{R,5}\},$$

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

$$, \quad f_{S,1,2}(q_{S,1,2,2}, e_{R,5}) = q_{S,1,2,1}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,1,2}(q_{S,1,2,1}) = \{e_{T,1}, e_{C,1}, e_{D,1}, e_{B,1}, e_{F,1}, e_{R,4}, e_{R,5}\},$$

$$\mathbb{H}_{S,1,2}(q_{S,1,2,2}) = \{e_{R,4}, e_{R,5}\},$$

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

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι $\mathbb{Q}_{S,1,2,m} = \mathbb{Q}_{S,1,2}$.

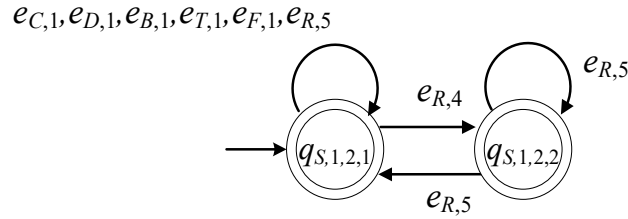
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(S_{1,2}) = \overline{\left((e_{T,1} + e_{C,1} + e_{D,1} + e_{B,1} + e_{F,1} + e_{R,4})^* e_{R,4} (e_{R,4})^* e_{R,5} \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(S_{1,2}) = \overline{\left((e_{T,1} + e_{C,1} + e_{D,1} + e_{B,1} + e_{F,1} + e_{R,4})^* e_{R,4} (e_{R,4})^* e_{R,5} \right)^*} = \mathbb{L}(S_{1,2})$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13: Το αυτόματο του επόπτη $S_{1,2}$

Για την επιθυμητή γλώσσα ${}^2\mathbb{K}$ και ακολουθώντας τον αλγόριθμο σχεδιασμού εποπτών της [4] 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

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$${}^2\mathbb{E}_S = \{e_{T,1}, e_{C,5}, e_{D,2}, e_{D,3}, e_{B,3}\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,2}(q_{S,2,1}, e) = q_{S,2,2} \quad \forall e \in \{e_{C,5}, e_{D,2}, e_{D,3}, e_{B,3}\},$$

$$f_{S,2}(q_{S,2,2}, e) = q_{S,2,2} \quad \forall e \in \{e_{C,5}, e_{D,2}, e_{D,3}, e_{B,3}\}$$

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

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,2}(q_{S,2,1}) = \{e_{C,5}, e_{D,2}, e_{D,3}, e_{B,3}\},$$

$$\mathbb{H}_{S,2}(q_{S,2,2}) = \{e_{C,5}, e_{D,2}, e_{D,3}, e_{B,3}, e_{T,1}\},$$

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

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

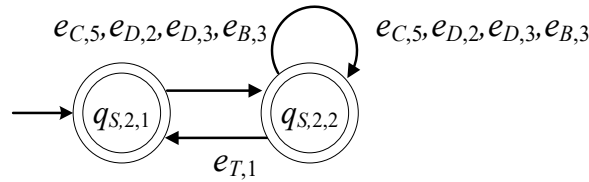
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{S}_2) = \overline{\left((e_{C,5} + e_{D,2} + e_{D,3} + e_{B,3})(e_{C,5} + e_{D,2} + e_{D,3} + e_{B,3})^* e_{T,1} \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{S}_2) = \overline{\left((e_{C,5} + e_{D,2} + e_{D,3} + e_{B,3})(e_{C,5} + e_{D,2} + e_{D,3} + e_{B,3})^* e_{T,1} \right)^*} = \mathbb{L}(\mathbf{S}_2)$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 14.



Σχήμα 14: Το αυτόματο του επόπτη \mathbf{S}_2

Για την επιθυμητή γλώσσα ${}^3\mathbb{K}$ και ακολουθώντας τον αλγόριθμο σχεδιασμού εποπτών της [4] 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

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$${}^3\mathbb{E}_S = \{e_{T,1}, e_{T,2}, e_{T,4}, e_{C,4}, e_{C,5}, e_{C,6}\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,3}(q_{S,3,1}, e) = q_{S,3,1} \quad \forall e \in \{e_{T,2}, e_{T,4}, e_{C,5}, e_{C,6}\},$$

$$f_{S,3}(q_{S,3,1}, e) = q_{S,3,2} \quad \forall e \in \{e_{T,1}, e_{C,4}\}$$

$$f_{S,3}(q_{S,3,2}, e) = q_{S,3,1} \quad \forall e \in \{e_{T,2}, e_{T,4}, e_{C,5}, e_{C,6}\}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

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

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

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

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

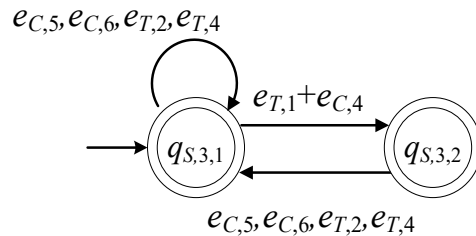
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(S_3) = \overline{\left((e_{T,2} + e_{T,4} + e_{C,5} + e_{C,6})^* (e_{T,1} + e_{C,4}) (e_{T,2} + e_{T,4} + e_{C,5} + e_{C,6}) \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(S_3) = \overline{\left((e_{T,2} + e_{T,4} + e_{C,5} + e_{C,6})^* (e_{T,1} + e_{C,4}) (e_{T,2} + e_{T,4} + e_{C,5} + e_{C,6}) \right)^*} = \mathbb{L}(S_3)$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 15.



Σχήμα 15: Το αυτόματο του επόπτη S_3

Για την επιθυμητή γλώσσα ${}^4\mathbb{K}$ και ακολουθώντας τον αλγόριθμο σχεδιασμού εποπτών της [4] ο επόπτης είναι της μορφής

$$\mathbf{S}_4 = (\mathbb{Q}_{S,4}, \mathbb{E}_{S,4}, f_{S,4}, \mathbb{H}_{S,4}, x_{S,4,0}, \mathbb{Q}_{S,4,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

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

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$${}^4\mathbb{E}_S = \{e_{T,1}, e_{T,2}, e_{T,4}, e_{D,1}, e_{D,2}, e_{D,3}\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$$f_{S,4}(q_{S,4,1}, e) = q_{S,4,1} \quad \forall e \in \{e_{T,2}, e_{T,4}, e_{D,2}, e_{D,3}\},$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,1}, e) = q_{S,4,2} \quad \forall e \in \{e_{T,1}, e_{D,1}\}$$

$$f_{S,4}(q_{S,4,2}, e) = q_{S,4,1} \quad \forall e \in \{e_{T,2}, e_{T,4}, e_{D,2}, e_{D,3}\}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$$\mathbb{H}_{S,4}(q_{S,4,1}) = \{e_{T,1}, e_{T,2}, e_{T,4}, e_{D,1}, e_{D,2}, e_{D,3}\},$$

$$\mathbb{H}_{S,4}(q_{S,4,2}) = \{e_{T,2}, e_{T,4}, e_{D,2}, e_{D,3}\},$$

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

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

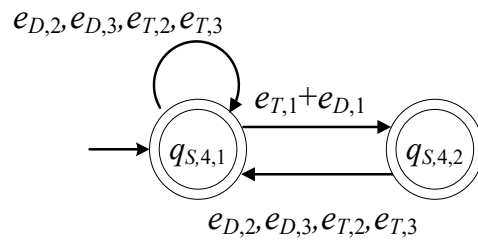
Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(\mathbf{S}_4) = \overline{\left((e_{T,2} + e_{T,4} + e_{D,2} + e_{D,3})^* (e_{T,1} + e_{D,1}) (e_{T,2} + e_{T,4} + e_{D,2} + e_{D,3}) \right)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(\mathbf{S}_4) = \overline{\left((e_{T,2} + e_{T,4} + e_{D,2} + e_{D,3})^* (e_{T,1} + e_{D,1}) (e_{T,2} + e_{T,4} + e_{D,2} + e_{D,3}) \right)^*} = \mathbb{L}(\mathbf{S}_4)$$

Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 16.



Σχήμα 16: Το αυτόματο του επόπτη S_4

5.2 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΟΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Στα προηγούμενα κεφάλαια σχεδιάστηκε ένας μεγάλος αριθμός εποπτών για τα υποσυστήματα της μονάδας κατεργασίας. Ισχύει ότι το ελεγχόμενο αυτόματο για την περίπτωση είναι

$$\mathbf{G} \parallel \mathbf{S}_{1,1} \parallel \mathbf{S}_{1,2} \parallel \mathbf{S}_2 \parallel \mathbf{S}_3 \parallel \mathbf{S}_4$$

Έτσι σύμφωνα με την παραπάνω παρατήρηση η δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου αυτή αποφεύγει τον εγκλωβισμό μιας και ο επόπτης $\mathbf{S} = \mathbf{S}_{1,1} \parallel \mathbf{S}_{1,2} \parallel \mathbf{S}_2 \parallel \mathbf{S}_3 \parallel \mathbf{S}_4$ δεν εγκλωβίζει το αυτόματο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε το μαθηματικό μοντέλο μίας μονάδας παραγωγής η οποία αποτελείται από μία μηχανή παραγωγής, δύο ιμάντες μεταφοράς πρώτης ύλης, δύο ιμάντες μεταφοράς κατεργασμένου προϊόντος και ένα ρομποτικό βραχίονα μεταφοράς των υπό κατεργασία προϊόντων. Παρουσιάστηκαν τα μαθηματικά μοντέλα των επιμέρους υποσυστημάτων του συστήματος σε μορφή πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Αναπτύχθηκε το συνολικό μοντέλο του συστήματος. Παρουσιάστηκαν όλες οι πιθανές διασυνδέσεις της μονάδας για την περίπτωση που η μηχανή παραγωγής μπορεί να κατεργαστεί ένα ή συνδυασμό δύο προϊόντων. Παρουσιάστηκαν οι επιθυμητές συνδέσεις σε μορφή επιθυμητών κανονικών γλωσσών. Διερευνήθηκαν οι ιδιότητες των επιθυμητών γλωσσών ως προς το συνολικό αυτόματο του συστήματος. Διερευνήθηκε η δυνατότητα σχεδιασμού μίας δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. W. Chao, Y. Gan, W. Wonham, and Z. Wang, “Nonblocking supervisory control of flexible manufacturing systems based on state tree structures,” in *Formal Methods in Manufacturing Systems: Recent Advances*. Hershey, PA, USA: IGI Global, 2013, pp. 119.
2. D. B. Silva, A. D. Vieira, E. F. R. Loures, M. A. Buseti, and E. A. P. Santos, “Dealing with routing in an automated manufacturing cell: A supervisory control theory application,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 49, no. 16, pp. 4979–4998, 2011.
3. A. D. Vieira, E. A. P. Santos, M. H. de Queiroz, A. B. Leal, A. D. de Paula Neto and J. E. R. Cury, "A Method for PLC Implementation of Supervisory Control of Discrete Event Systems," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 25, no. 1, pp. 175-191, Jan. 2017.
4. C. G. Casandras and S. Lafortune, *Introduction to Discrete Event Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1999.
5. W. M. Wonham and C. Kai, *Supervisory control of discrete-event systems*, Springer International Publishing, 2019.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.