



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

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

«Δομοστοιχειωτός έλεγχος μιας παραγωγικής διεργασίας με
πολλούς ασύγχρονους σταθμούς κατεργασίας»

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

Παντελεήμων Γεωργακόπουλος

Οκτώβριος 2021



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

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

«Δομοστοιχειωτός έλεγχος μιας παραγωγικής διεργασίας με
πολλούς ασύγχρονους σταθμούς κατεργασίας»

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

Παντελεήμων Γεωργακόπουλος

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».

Οκτώβριος 2021

«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. Μαρία Π. Τζαμτζή, Καθηγήτρια (Μέλος)
3. Νικόλαος Δ. Κούβακας, Αναπληρωτής 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 μαθηματικό μοντέλο μίας διεργασίας η οποία αποτελείται από πολλούς σταθμούς κατεργασία με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Ο αριθμός των σταθμών κατεργασίας είναι n με $n/2$ προσωρινές θέσεις αποθήκευσης των προϊόντων και $n/2$ ρομποτικούς βραχίονες μεταφοράς. Δύο ταινίες μεταφοράς μεταφέρουν τα προϊόντα προς και από την διεργασία. Αρχικά θα παρουσιαστούν προδιαγραφές επιθυμητής συμπεριφοράς του συστήματος στη μορφή απλών κανόνων και στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η επιθυμητή συμπεριφορά στη μορφή κανονικών γλωσσών. Θα μελετηθούν οι ιδιότητες των γλωσσών αυτών σε σχέση με το αυτόματο του συστήματος. Θα σχεδιαστεί ένα σύνολο εποπτών οι οποίοι θα ικανοποιούν τις επιθυμητές γλώσσες στη μορφή αυτόματων. Τέλος θα σχεδιαστεί μία δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου που αποφεύγει τον εγκλωβισμό για το συνολικό σύστημα με βάση τα αυτόματα των εποπτών των κανονικών γλωσσών.

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

Abstract

In this diploma thesis, we will present the mathematical model of a process which consists of a number of machining stations using finite deterministic automata. The number of manufacturing stations is n , with $n/2$ temporary storage places (buffers) of the products and $n/2$ robotic transport arms. Two conveyor belts carry the products to and from the process. Initially the desired behavior of the system will be presented in the form of simple rules and then the desired behavior will be presented in the form of regular languages. The properties of these languages regarding the automaton of the system will be studied. A set of supervisors will be designed who will satisfy the desired languages in the form of automata. Finally, a modular non-conflicting supervisory control architecture will be designed for the overall system based on the regular language supervisors.

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	3
2.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	4
2.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	8
3.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΙΜΑΝΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	8
3.1.1 Μαθηματικό μοντέλο του ιμάντα εισόδου.....	8
3.1.2 Μαθηματικό μοντέλο του ιμάντα εξόδου	9
3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ	10
3.2.1 Μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα R_1	10
3.2.2 Μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα R_i	12
3.2.3 Μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα $R_{(n-1)/2}$	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	16
4.1 ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	16
4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ 9 ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ	17
4.2.1 Το συνολικό Μαθηματικό μοντέλο του συστήματος	17
4.2.2 Προσομοίωση του συστήματος	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	19
5.1 ΕΠΙΘΥΜΗΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	19
5.2 ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ	22
6.1 ΤΟΠΙΚΟΙ ΕΠΟΠΤΕΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΟΥ	22
6.1.1 Τοπικοί επόπτες σταθμών κατεργασίας.....	22
6.1.2 Τοπικοί επόπτες προσωρινών θέσεων αποθήκευσης.....	23
6.2 ΕΠΟΠΤΕΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ.....	24
6.3 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΟΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ Κ.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	26

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	27
-------------------	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης C_{ij} σταθμού κατεργασίας	5
Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης B_v σταθμού κατεργασίας.....	7
Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης L_{in} ιμάντα μεταφοράς	9
Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης L_{out} ιμάντα μεταφοράς.....	10
Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_1	12
Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_i	13
Σχήμα 7: Διάγραμμα κατάστασης ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς $R_{(n-1)/2}$	15
Σχήμα 8: Το αυτόματο του επόπτη iS	23
Σχήμα 9: Το αυτόματο του επόπτη jS	24
Σχήμα 10: Το αυτόματο του επόπτη jS_1	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο μίας διεργασίας η οποία αποτελείται από πολλούς σταθμούς κατεργασία με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Ο αριθμός των σταθμών κατεργασίας είναι n με $n/2$ προσωρινές θέσεις αποθήκευσης των προϊόντων και $n/2$ ρομποτικούς βραχίονες μεταφοράς. Δύο ταινίες μεταφοράς μεταφέρουν τα προϊόντα προς και από την διεργασία. Αρχικά θα παρουσιαστούν προδιαγραφές επιθυμητής συμπεριφοράς του συστήματος στη μορφή απλών κανόνων και στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η επιθυμητή συμπεριφορά στη μορφή κανονικών γλωσσών. Θα μελετηθούν οι ιδιότητες των γλωσσών αυτών σε σχέση με το αυτόματο του συστήματος. Θα σχεδιαστεί ένα σύνολο εποπτών οι οποίοι θα ικανοποιούν τις επιθυμητές γλώσσες στη μορφή αυτόματων. Τέλος θα σχεδιαστεί μία δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου που αποφεύγει τον εγκλωβισμό για το συνολικό σύστημα με βάση τα αυτόματα των εποπτών των κανονικών γλωσσών.

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

Στο Κεφάλαιο 2 θα παρουσιαστεί η περιγραφή της διεργασίας και τα μαθηματικά μοντέλα των σταθμών κατεργασίας και των προσωρινών θέσεων αποθήκευσης με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων.

Στο Κεφάλαιο 3 θα παρουσιαστούν τα μαθηματικά μοντέλα των ιμάντων μεταφοράς εισόδου και εξόδου και των ρομποτικών βραχιόνων μεταφοράς με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων

Στο Κεφάλαιο 4 θα παρουσιαστεί το συνολικό μοντέλο του συστήματος και η προσομοίωση για μία ειδική περίπτωση της βιβλιογραφίας

Στο Κεφάλαιο 5 θα παρουσιαστεί η επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος και οι κανονικές γλώσσες που περιγράφουν την επιθυμητή συμπεριφορά.

Στο Κεφάλαιο 6 θα σχεδιαστεί μία δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική ελέγχου με βάση τις επιθυμητές γλώσσες.

Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής.

-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο των σταθμών κατεργασίας και των προσωρινών θέσεων αποθήκευσης της βιβλιογραφίας [1] με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων ([2]-[5]).

2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η διεργασία αποτελείται από σταθμούς κατεργασίας, προσωρινές θέσεις αποθήκευσης, δύο μάντες μεταφοράς για την είσοδο και των έξοδο των προϊόντων στη διεργασία και από ρομποτικούς βραχίονες ειδικά σχεδιασμένους για τη μεταφορά των προϊόντων μεταξύ των σταθμών αλλά και των δύο μάντων. Ο αριθμός των σταθμών κατεργασίας είναι $2n + m$. Ο αριθμός των ρομποτικών βραχιόνων μεταφοράς είναι $n + 1$. Ο αριθμός των προσωρινών θέσεων αποθήκευσης είναι n . Η χωρητικότητα των προσωρινών θέσεων αποθήκευσης είναι μία μονάδα προϊόντος. Οι σταθμοί κατεργασίας συμβολίζονται C_{ij} , όπου $i = \{1, \dots, n + 1\}$ και

$$j = \begin{cases} \{1, 2\} & \text{if } i \in \{1, \dots, n\} \\ \{1, 2, \dots, m\} & \text{if } i = n + 1 \end{cases}$$

Οι ρομποτικοί βραχίονες μεταφοράς συμβολίζονται R_i όπου $i = \{1, \dots, n + 1\}$. Οι προσωρινές θέσεις αποθήκευσης των προϊόντων συμβολίζονται B_k όπου $k = \{1, \dots, n\}$. Οι μάντες μεταφοράς συμβολίζονται L_{in} ο μάντας εισόδου και L_{out} ο μάντας εξόδου.

Η αρχιτεκτονική των σταθμών κατεργασίας είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει στον ρομποτικό βραχίονα R_i όπου $i \in \{1, \dots, n + 1\}$, να μεταφέρει τα προϊόντα από και προς τους σταθμούς κατεργασίας C_{ij} όπου $i \in \{1, \dots, n + 1\}$ και εάν $i \neq n + 1$ τότε $j \in \{1, 2\}$ αλλιώς $j \in \{1, 2, \dots, m\}$. Πιο αναλυτικά ο ρομποτικός βραχίονας R_1 μεταφέρει τα προϊόντα από τον μάντα εισόδου L_{in} στον σταθμό κατεργασίας C_{11} , από τους σταθμούς κατεργασίας C_{11} και C_{12} στην προσωρινή θέση μνήμης B_1 και αντίστροφα και από τον σταθμό κατεργασίας C_{12} στον μάντα εξόδου L_{out} . Ο ρομποτικός βραχίονας R_ν , όπου $\nu = \{2, \dots, n\}$ μεταφέρει τα

προϊόντα από τους σταθμούς κατεργασίας $C_{\nu 1}$ και $C_{\nu 2}$ στις προσωρινές θέσεις μνήμης B_ν και $B_{\nu-1}$. Τέλος ο ρομποτικός βραχίονας R_{n+1} μεταφέρει τα προϊόντα από τους σταθμούς κατεργασίας $C_{(n+1)1}$, $C_{(n+1)2}$ μέχρι και $C_{(n+1)m}$ στην προσωρινή θέση μνήμης B_n .

2.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο των σταθμών κατεργασίας με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Το μαθηματικό μοντέλο του σταθμού κατεργασίας C_{ij} περιγράφεται από την εξάδα ([6]-[12])

$${}^i\mathbf{G} = ({}^i\mathbf{Q}, {}^i\mathbf{E}, {}^i f, {}^i\mathbf{H}, {}^i x_0, {}^i\mathbf{Q}_m)$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$${}^i\mathbf{Q} = \{{}^i q_1, {}^i q_2, {}^i q_3, {}^i q_4\}$$

Η κατάσταση ${}^i q_1$ συμβολίζει την περίπτωση όπου στο σταθμό κατεργασίας δεν υπάρχει προϊόν προς κατεργασία και ο σταθμός είναι σε κατάσταση αναμονής (stand by). Η κατάσταση ${}^i q_2$ συμβολίζει την περίπτωση όπου ο ρομποτικός βραχίονας μετέφερε ένα προϊόν προς κατεργασία στον σταθμό C_{ij} . Η κατάσταση ${}^i q_3$ συμβολίζει την περίπτωση όπου η κατεργασία του προϊόντος που είναι στον σταθμό C_{ij} έχει ολοκληρωθεί. Η κατάσταση ${}^i q_4$ συμβολίζει την περίπτωση όπου ο ρομποτικός βραχίονας προσπάθησε να πάρει ένα προϊόν ενώ είτε στον σταθμό δεν υπήρχε προϊόν είτε δεν είχε ολοκληρωθεί η κατεργασία του προϊόντος ή προσπάθησε να αφήσει ένα προϊόν ενώ στον σταθμό υπήρχε ήδη προϊόν.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^i\mathbf{E} = \{{}^i e_1, {}^i e_2, {}^i e_3\}$$

Το συμβάν ${}^i e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i αφήσει στον σταθμό C_{ij} ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^i e_2$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i πάρει από τον σταθμό C_{ij} ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^i e_3$ λαμβάνει χώρα όταν το προϊόν που βρίσκεται στον σταθμό C_{ij} έχει κατεργαστεί.

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι ${}^i x_0 = {}^i q_1$. Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι ${}^i\mathbf{Q}_m = \{{}^i q_1, {}^i q_2, {}^i q_3\}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^i f({}^i q_1, {}^i e_1) = {}^i q_2, {}^i f({}^i q_1, {}^i e_2) = {}^i q_4, {}^i f({}^i q_2, {}^i e_1) = {}^i q_4,$$

$${}^i f({}^i q_2, {}^i e_2) = {}^i q_4, {}^i f({}^i q_2, {}^i e_3) = {}^i q_3, {}^i f({}^i q_3, {}^i e_1) = {}^i q_4$$

$$\text{και } {}^{ij}f({}^{ij}q_3, {}^{ij}e_2) = {}^{ij}q_1$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$${}^{ij}\mathbb{H}({}^{ij}q_1) = \{{}^{ij}e_1, {}^{ij}e_2\}, {}^{ij}\mathbb{H}({}^{ij}q_2) = \{{}^{ij}e_1, {}^{ij}e_2, {}^{ij}e_3\}, {}^{ij}\mathbb{H}({}^{ij}q_3) = \{{}^{ij}e_1, {}^{ij}e_2\} \text{ και } {}^{ij}\mathbb{H}({}^{ij}q_4) = \emptyset$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι ${}^{ij}\mathbb{E}_c = \{{}^{ij}e_1, {}^{ij}e_2\}$ και ${}^{ij}\mathbb{E}_{uc} = \{{}^{ij}e_3\}$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

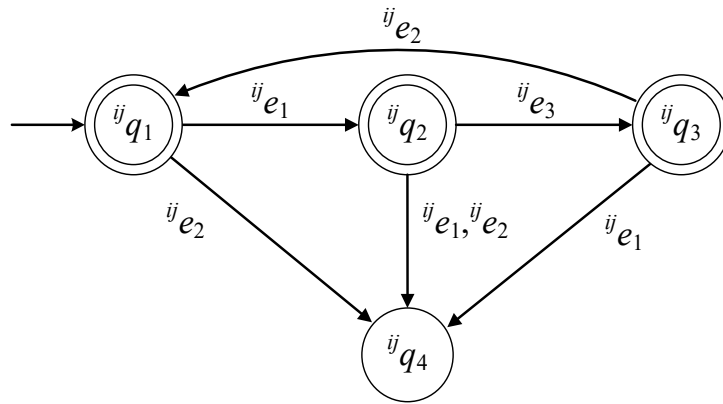
$$\mathbb{L}({}^{ij}\mathbf{G}) = \overline{({}^{ij}e_1 {}^{ij}e_3 {}^{ij}e_2)^* ({}^{ij}e_2 + {}^{ij}e_1({}^{ij}e_1 + {}^{ij}e_2) + {}^{ij}e_1 {}^{ij}e_3 {}^{ij}e_1)}$$

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m({}^{ij}\mathbf{G}) = \overline{({}^{ij}e_1 {}^{ij}e_3 {}^{ij}e_2)^*}$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που εγκλωβίζεται καθότι $\overline{\mathbb{L}_m({}^{ij}\mathbf{G})} \subset \mathbb{L}({}^{ij}\mathbf{G})$ και $\mathbb{L}({}^{ij}\mathbf{G}) \neq \overline{\mathbb{L}_m({}^{ij}\mathbf{G})}$

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του συστήματος.



Σχήμα 1: Διάγραμμα κατάστασης C_{ij} σταθμού κατεργασίας

2.3 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΩΝ ΘΕΣΕΩΝ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο των προσωρινών θέσεων αποθήκευσης με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Το μαθηματικό μοντέλο των προσωρινών θέσεων αποθήκευσης B_v περιγράφεται από την εξάδα

$${}^v\mathbf{G} = ({}^v\mathbf{Q}, {}^v\mathbf{E}, {}^v f, {}^v\mathbf{H}, {}^v x_0, {}^v\mathbf{Q}_m)$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$${}^v\mathbf{Q} = \{{}^v q_1, {}^v q_2, {}^v q_3, {}^v q_4\}$$

Η κατάσταση ${}^v q_1$ συμβολίζει την περίπτωση όπου στην θέση αποθήκευσης δεν υπάρχει προϊόν. Η κατάσταση ${}^v q_2$ συμβολίζει την περίπτωση όπου ο ρομποτικός βραχίονας $R_{\nu+1}$ μετέφερε ένα προϊόν. Η κατάσταση ${}^v q_3$ συμβολίζει την περίπτωση όπου ο ρομποτικός βραχίονας R_ν μετέφερε ένα προϊόν. Η κατάσταση ${}^v q_4$ συμβολίζει την περίπτωση όπου οι ρομποτικοί βραχίονες προσπάθησαν να πάρουν ένα προϊόν ενώ στην θέση δεν υπήρχε προϊόν ή προσπάθησαν να αφήσουν ένα προϊόν ενώ στον σταθμό υπήρχε ήδη προϊόν.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^v\mathbf{E} = \{{}^v e_1, {}^v e_2, {}^v e_3, {}^v e_4\}$$

Το συμβάν ${}^v e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς $R_{\nu+1}$ αφήσει στη θέση B_ν ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^v e_2$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_ν πάρει ένα προϊόν από τη θέση B_ν . Το συμβάν ${}^v e_3$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_ν αφήσει στη θέση B_ν ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^v e_4$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς $R_{\nu+1}$ πάρει ένα προϊόν από τη θέση B_ν .

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι ${}^v x_0 = {}^v q_1$. Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι ${}^v\mathbf{Q}_m = \{{}^v q_1, {}^v q_2, {}^v q_3\}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^v f({}^v q_1, {}^v e_1) = {}^v q_2, {}^v f({}^v q_1, {}^v e_2) = {}^v q_4, {}^v f({}^v q_1, {}^v e_3) = {}^v q_3, {}^v f({}^v q_1, {}^v e_4) = {}^v q_4$$

$${}^v f({}^v q_2, {}^v e_1) = {}^v q_4, {}^v f({}^v q_2, {}^v e_2) = {}^v q_1, {}^v f({}^v q_2, {}^v e_3) = {}^v q_4, {}^v f({}^v q_2, {}^v e_4) = {}^v q_4$$

$${}^v f({}^v q_3, {}^v e_1) = {}^v q_4, {}^v f({}^v q_3, {}^v e_2) = {}^v q_4, {}^v f({}^v q_3, {}^v e_3) = {}^v q_4, {}^v f({}^v q_3, {}^v e_4) = {}^v q_1$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$${}^v\mathbb{H}({}^v q_1) = {}^v\mathbb{H}({}^v q_2) = {}^v\mathbb{H}({}^v q_3) = \{{}^v e_1, {}^v e_2, {}^v e_3, {}^v e_4\}, \text{ και } {}^v\mathbb{H}({}^v q_4) = \emptyset$$

Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι ${}^v\mathbf{E}_c = \{{}^v e_1, {}^v e_2, {}^v e_3, {}^v e_4\}$ και ${}^v\mathbf{E}_{uc} = \emptyset$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

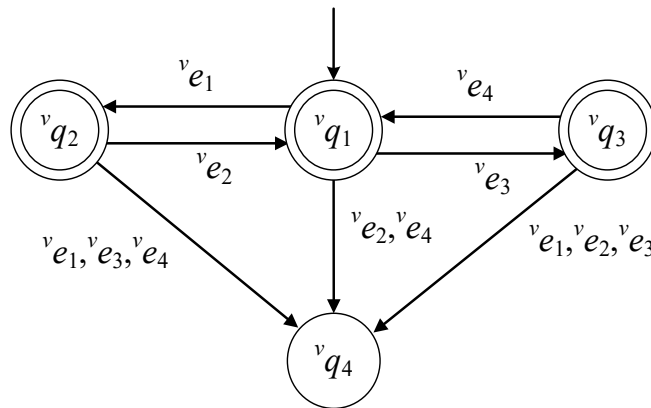
$$\mathbb{L}({}^v\mathbf{G}) = \overline{({}^v e_1 {}^v e_2 + {}^v e_3 {}^v e_4)^* ({}^v e_2 + {}^v e_4 + {}^v e_1 ({}^v e_1 + {}^v e_3 + {}^v e_4) + {}^v e_3 ({}^v e_1 + {}^v e_2 + {}^v e_3))}$$

Η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m({}^v\mathbf{G}) = \overline{({}^v e_1 {}^v e_2 + {}^v e_3 {}^v e_4)^*}$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που εγκλωβίζεται καθότι $\overline{\mathbb{L}_m({}^v\mathbf{G})} \subset \mathbb{L}({}^v\mathbf{G})$ και $\mathbb{L}({}^v\mathbf{G}) \neq \overline{\mathbb{L}_m({}^v\mathbf{G})}$

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του συστήματος.



Σχήμα 2: Διάγραμμα κατάστασης B_v σταθμού κατεργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο των ρομποτικών βραχιόνων μεταφοράς καθώς και των ιμάντων μεταφοράς της εισόδου και της εξόδου της βιβλιογραφίας με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων.

3.1 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΙΜΑΝΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί το μαθηματικό μοντέλο των ιμάντων μεταφοράς της εισόδου του ακατέργαστου προϊόντος και της εξόδου του πλήρως κατεργασμένου προϊόντος με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων.

3.1.1 Μαθηματικό μοντέλο του ιμάντα εισόδου

Το μαθηματικό μοντέλο του ιμάντα μεταφοράς της εισόδου L_{in} περιγράφεται από την εξάδα

$${}^{in}\mathbf{G} = ({}^{in}\mathbf{Q}, {}^{in}\mathbf{E}, {}^{in}f, {}^{in}\mathbf{H}, {}^{in}x_0, {}^{in}\mathbf{Q}_m)$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$${}^{in}\mathbf{Q} = \{{}^{in}q_1\}$$

Η κατάσταση ${}^{in}q_1$ είναι η μοναδική κατάσταση του αυτόματου.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^{in}\mathbf{E} = \{{}^{in}e_1\}$$

Το συμβάν ${}^{in}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_1 πάρει από τον ιμάντα μεταφοράς L_{in} ένα προϊόν.

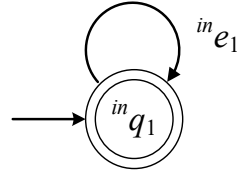
Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι ${}^{in}x_0 = {}^{in}q_1$. Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι ${}^{in}Q_m = \{{}^{in}q_1\}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι ${}^{in}f({}^{in}q_1, {}^{in}e_1) = {}^{in}q_1$ και το σύνολο των ενεργών συμβάντων είναι ${}^{in}\mathbb{H}({}^{in}q_1) = \{{}^{in}e_1\}$. Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι ${}^{in}\mathbb{E}_c = \{{}^{in}e_1\}$ και ${}^{in}\mathbb{E}_{uc} = \emptyset$.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι $\mathbb{L}({}^{in}\mathbf{G}) = {}^{in}e_1^*$ και η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι $\mathbb{L}_m({}^{in}\mathbf{G}) = {}^{in}e_1^*$.

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθότι $\mathbb{L}({}^{in}\mathbf{G}) = \mathbb{L}_m({}^{in}\mathbf{G})$.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του συστήματος.



Σχήμα 3: Διάγραμμα κατάστασης L_{in} ιμάντα μεταφοράς

3.1.2 Μαθηματικό μοντέλο του ιμάντα εξόδου

Το μαθηματικό μοντέλο του ιμάντα μεταφοράς της εξόδου L_{out} περιγράφεται από την εξάδα

$${}^{out}\mathbf{G} = ({}^{out}\mathbb{Q}, {}^{out}\mathbb{E}, {}^{out}f, {}^{out}\mathbb{H}, {}^{out}x_0, {}^{out}\mathbb{Q}_m)$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$${}^{out}\mathbb{Q} = \{{}^{out}q_1\}$$

Η κατάσταση ${}^{out}q_1$ είναι η μοναδική κατάσταση του αυτόματου.

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^{out}\mathbb{E} = \{{}^{out}e_1\}$$

Το συμβάν ${}^{out}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_1 τοποθετήσει αντικείμενο στον ιμάντα μεταφοράς L_{out} ένα προϊόν.

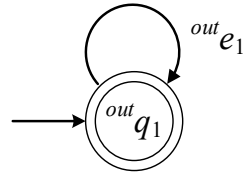
Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι ${}^{out}x_0 = {}^{out}q_1$. Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι ${}^{out}Q_m = \{{}^{out}q_1\}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι ${}^{out}f({}^{out}q_1, {}^{out}e_1) = {}^{out}q_1$ και το σύνολο των ενεργών συμβάντων είναι ${}^{out}H({}^{out}q_1) = \{{}^{out}e_1\}$. Τα ελέγξιμα συμβάντα του συστήματος είναι ${}^{out}E_c = \{{}^{out}e_1\}$ και ${}^{out}E_{uc} = \emptyset$.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι $L({}^{out}G) = {}^{out}e_1^*$ και η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι $L_m({}^{out}G) = {}^{out}e_1^*$.

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθότι $L({}^{out}G) = L_m({}^{out}G)$.

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του συστήματος.



Σχήμα 4: Διάγραμμα κατάστασης L_{out} μάντα μεταφοράς

3.2 ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ

3.2.1 Μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα R_1

Το μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_1 περιγράφεται από την εξάδα

$${}^{R1}G = ({}^{R1}Q, {}^{R1}E, {}^{R1}f, {}^{R1}H, {}^{R1}x_0, {}^{R1}Q_m)$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$${}^{R1}Q = \{{}^{R1}q_1, {}^{R1}q_2\}$$

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^{R1}E = \{{}^{in}e_1, {}^{out}e_1, {}^{11}e_1, {}^{11}e_2, {}^{12}e_1, {}^{12}e_2, {}^1e_3, {}^1e_2\}$$

Το συμβάν ${}^{in}e_1$
μάντα μεταφοράς L_{in}
βραχίονα μεταφοράς R_1

R_1 πάρει από τον
 ${}^{out}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός
 L_{out} ένα προϊόν. Το

${}^{11}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_1 αφήσει στον σταθμό C_{11} ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{11}e_2$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_1 πάρει από τον σταθμό C_{11} ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{12}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_1 αφήσει στον σταθμό C_{12} ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{12}e_2$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_1 πάρει από τον σταθμό C_{12} ένα προϊόν. Το συμβάν 1e_3 λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_1 αφήσει στη θέση B_1 ένα προϊόν. Το συμβάν 1e_2 λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_1 πάρει ένα προϊόν από τη θέση B_1 .

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι ${}^{R1}x_0 = {}^{R1}q_1$. Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι ${}^{R1}Q_m = {}^{R1}Q$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^{R1}f({}^{R1}q_1, e) = {}^{R1}q_2 \text{ όπου } \forall e \in \{{}^{in}e_1, {}^{11}e_2, {}^{12}e_2, {}^1e_2\}$$

$$\text{και } {}^{R1}f({}^{R1}q_2, e) = {}^{R1}q_1 \text{ όπου } \forall e \in \{{}^{out}e_1, {}^{11}e_1, {}^{12}e_1, {}^1e_3\}$$

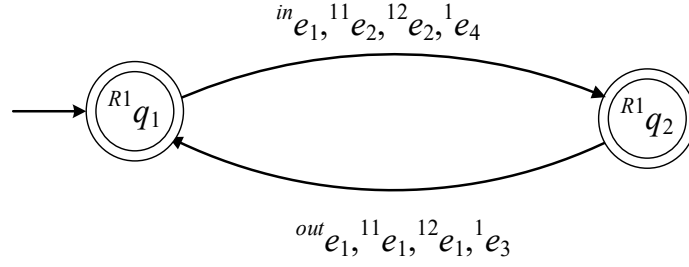
Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$${}^{R1}\mathbb{H}({}^{R1}q_1) = \{{}^{in}e_1, {}^{11}e_2, {}^{12}e_2, {}^1e_2\}$$

$$\text{και } {}^{R1}\mathbb{H}({}^{R1}q_2) = \{{}^{out}e_1, {}^{11}e_1, {}^{12}e_1, {}^1e_3\}.$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι $\mathbb{L}({}^{R1}\mathbf{G}) = \left(({}^{in}e_1 + {}^{11}e_2 + {}^{12}e_2 + {}^1e_2) ({}^{out}e_1 + {}^{11}e_1 + {}^{12}e_1 + {}^1e_3) \right)^*$ και η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι $\mathbb{L}_m({}^{in}\mathbf{G}) = \left(({}^{in}e_1 + {}^{11}e_2 + {}^{12}e_2 + {}^1e_2) ({}^{out}e_1 + {}^{11}e_1 + {}^{12}e_1 + {}^1e_3) \right)^*$. Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθότι $\mathbb{L}({}^{R1}\mathbf{G}) = \mathbb{L}_m({}^{R1}\mathbf{G})$.

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_1 .



Σχήμα 5: Διάγραμμα κατάστασης ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_1

3.2.2 Μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα R_i

Το μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_i όπου $i = \{2, \dots, n\}$ περιγράφεται από την εξάδα

$${}^{Ri}\mathbf{G} = ({}^{Ri}\mathbf{Q}, {}^{Ri}\mathbb{E}, {}^{Ri}f, {}^{Ri}\mathbb{H}, {}^{Ri}x_0, {}^{Ri}\mathbf{Q}_m)$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$${}^{Ri}\mathbf{Q} = \{{}^{Ri}q_1, {}^{Ri}q_2\}$$

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^{Ri}\mathbb{E} = \{{}^{i1}e_1, {}^{i1}e_2, {}^{i2}e_1, {}^{i2}e_2, {}^ie_1, {}^ie_2, {}^ie_3, {}^ie_4\}$$

Το συμβάν ${}^{i1}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i αφήσει στον σταθμό C_{i1} ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{i1}e_2$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i πάρει από τον σταθμό C_{i1} ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{i2}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i αφήσει στον σταθμό C_{i2} ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{i2}e_2$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i πάρει από τον σταθμό C_{i2} ένα προϊόν. Το συμβάν ie_1 λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i αφήσει στη θέση B_{i-1} ένα προϊόν. Το συμβάν ie_2 λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i πάρει ένα προϊόν από τη θέση B_{i-1} . Το συμβάν ie_3 λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i αφήσει στη θέση B_i ένα προϊόν. Το συμβάν ie_4 λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_i πάρει ένα προϊόν από τη θέση B_i .

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι ${}^{Ri}x_0 = {}^{Ri}q_1$. Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι ${}^{Ri}\mathbf{Q}_m = {}^{Ri}\mathbf{Q}$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^{Ri}f({}^{Ri}q_1, e) = {}^{Ri}q_2 \text{ όπου } \forall e \in \{{}^{i1}e_2, {}^{i2}e_2, {}^ie_2, {}^ie_4\}$$

$$\text{και } {}^{Ri}f({}^{Ri}q_2, e) = {}^{Ri}q_1 \text{ όπου } \forall e \in \{{}^{i1}e_1, {}^{i2}e_1, {}^ie_1, {}^ie_3\}$$

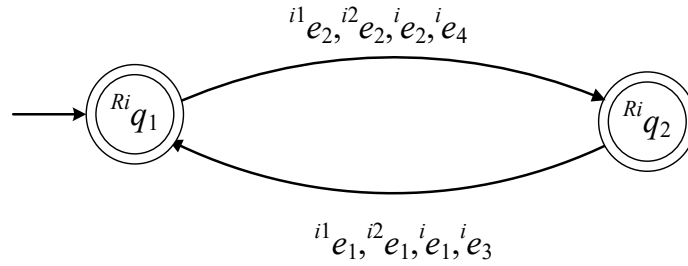
Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$${}^{Ri}\mathbb{H}({}^{Ri}q_1) = \{{}^{i1}e_2, {}^{i2}e_2, {}^ie_2, {}^ie_4\}$$

$$\text{και } {}^{Ri}\mathbb{H}({}^{Ri}q_2) = \{{}^{i1}e_1, {}^{i2}e_1, {}^ie_1, {}^ie_3\}.$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι $\mathbb{L}({}^{Ri}\mathbf{G}) = \left(({}^{i1}e_2 + {}^{i2}e_2 + {}^ie_2 + {}^ie_4)({}^{i1}e_1 + {}^{i1}e_1 + {}^ie_1 + {}^ie_3) \right)^*$ και η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι $\mathbb{L}_m({}^{Ri}\mathbf{G}) = \left(({}^{i1}e_2 + {}^{i2}e_2 + {}^ie_2 + {}^ie_4)({}^{i1}e_1 + {}^{i1}e_1 + {}^ie_1 + {}^ie_3) \right)^*$. Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθότι $\mathbb{L}({}^{Ri}\mathbf{G}) = \mathbb{L}_m({}^{Ri}\mathbf{G})$.

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_i .



Σχήμα 6: Διάγραμμα κατάστασης ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_i

3.2.3 Μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα R_{n+1}

Το μαθηματικό μοντέλο του ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_{n+1} περιγράφεται από την εξάδα

$${}^{Rn+1}\mathbf{G} = ({}^{Rn+1}\mathbb{Q}, {}^{Rn+1}\mathbb{E}, {}^{Rn+1}f, {}^{Rn+1}\mathbb{H}, {}^{Rn+1}x_0, {}^{Rn+1}\mathbb{Q}_m)$$

Το σύνολο των καταστάσεων του συστήματος είναι

$${}^{Rn+1}\mathbb{Q} = \{{}^{Rn+1}q_1, {}^{Rn+1}q_2\}$$

Το αλφάβητο του αυτόματου είναι

$${}^{Rn+1}\mathbb{E} = \{({}^{(n+1)1}e_1, {}^{(n+1)1}e_2, {}^{(n+1)2}e_1, {}^{(n+1)2}e_2, \dots, {}^{(n+1)m}e_1, {}^{(n+1)m}e_2, {}^ne_1, {}^ne_2\}$$

Το συμβάν ${}^{(n+1)1}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_{n+1} αφήσει στον σταθμό $C_{(n+1)1}$ ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{(n+1)1}e_2$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_{n+1} πάρει από τον σταθμό $C_{(n+1)1}$ ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{(n+1)2}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_{n+1} αφήσει στον σταθμό $C_{(n+1)2}$ ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{(n+1)2}e_2$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_{n+1} πάρει από τον σταθμό $C_{(n+1)2}$ ένα προϊόν. Μέχρι και το συμβάν ${}^{(n+1)m}e_1$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_{n+1} αφήσει στον σταθμό $C_{(n+1)m}$ ένα προϊόν. Το συμβάν ${}^{(n+1)m}e_2$ λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_{n+1} πάρει από τον σταθμό $C_{(n+1)m}$ ένα προϊόν. Το συμβάν ne_1 λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_{n+1} αφήσει στη θέση B_n ένα προϊόν. Το συμβάν ne_2 λαμβάνει χώρα όταν ο ρομποτικός βραχίονας μεταφοράς R_{n+1} πάρει ένα προϊόν από τη θέση B_n .

Η αρχική κατάσταση του αυτόματου είναι ${}^{Rn+1}x_0 = {}^{Rn+1}q_1$. Οι σημαδεμένες καταστάσεις του αυτόματου είναι ${}^{Rn+1}Q_m = {}^{Rn+1}Q$.

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^{Rn+1}f({}^{Rn+1}q_1, e) = {}^{Rn+1}q_2 \text{ όπου } \forall e \in \{{}^{(n+1)1}e_2, {}^{(n+1)2}e_2, \dots, {}^{(n+1)m}e_2, {}^ne_2\}$$

$$\text{και } {}^{Rn+1}f({}^{Rn+1}q_2, e) = {}^{Rn+1}q_1 \text{ όπου } \forall e \in \{{}^{(n+1)1}e_1, {}^{(n+1)2}e_1, \dots, {}^{(n+1)m}e_1, {}^ne_1\}$$

Τα σύνολα των ενεργών συμβάντων είναι

$${}^{Rn+1}\mathbb{H}({}^{Rn+1}q_1) = \{{}^{(n+1)1}e_2, {}^{(n+1)2}e_2, \dots, {}^{(n+1)m}e_2, {}^ne_2\}$$

$$\text{και } {}^{Rn+1}\mathbb{H}({}^{Rn+1}q_2) = \{{}^{(n+1)1}e_1, {}^{(n+1)2}e_1, \dots, {}^{(n+1)m}e_1, {}^ne_1\}.$$

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

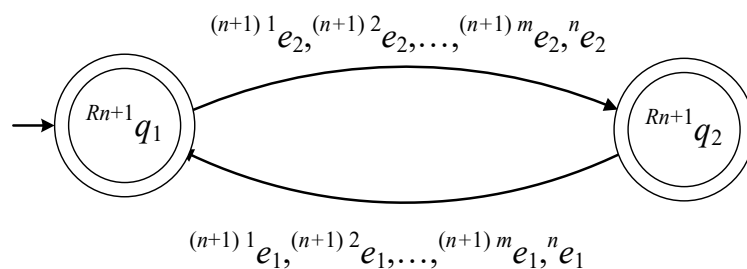
$$\mathbb{L}({}^{Rn+1}\mathbf{G}) = \overline{\left(({}^{(n+1)1}e_2 + {}^{(n+1)2}e_2 + \dots + {}^{(n+1)m}e_2 + {}^ne_2) ({}^{(n+1)1}e_1 + {}^{(n+1)2}e_1 + \dots + {}^{(n+1)m}e_1 + {}^ne_1) \right)^*}$$

και η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m({}^{Rn+1}\mathbf{G}) = \overline{\left(({}^{(n+1)1}e_2 + {}^{(n+1)2}e_2 + \dots + {}^{(n+1)m}e_2 + {}^ne_2) ({}^{(n+1)1}e_1 + {}^{(n+1)2}e_1 + \dots + {}^{(n+1)m}e_1 + {}^ne_1) \right)^*}$$

Το παραπάνω είναι ένα σύστημα που αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθότι $\mathbb{L}({}^{Rn+1}\mathbf{G}) = \mathbb{L}_m({}^{Rn+1}\mathbf{G})$

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατάστασης του ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_{n+1} .



Σχήμα 7: Διάγραμμα κατάστασης ρομποτικού βραχίονα μεταφοράς R_{n+1}

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Παραπάνω παρουσιάστηκαν τα μαθηματικά μοντέλα των σταθμών κατεργασίας, των προσωρινών θέσεων αποθήκευσης και των συστημάτων μεταφοράς (ρομποτικών βραχιόνων και ιμάντων μεταφοράς) με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Το συνολικό μοντέλο μπορεί να υπολογιστεί μέσω της παράλληλης σύνδεσης των παραπάνω υποσυστημάτων. Έτσι οι καταστάσεις θα είναι

$$\mathbb{Q} = \times_{\lambda=1}^n (\lambda^1 \mathbb{Q} \times \lambda^2 \mathbb{Q} \times \lambda \mathbb{Q}) \times_{\lambda=1}^m ((n+1)\lambda \mathbb{Q}) \times_{\lambda=1}^{n+1} (R\lambda \mathbb{Q}) \times^{in} \mathbb{Q} \times^{out} \mathbb{Q}$$

Το συνολικό αλφάβητο του συστήματος είναι

$$\mathbb{E} = \bigcup_{\lambda=1}^n (\lambda^1 \mathbb{E} \cup \lambda^2 \mathbb{E} \cup \lambda \mathbb{E}) \cup \bigcup_{\lambda=1}^m (n+1)\lambda \mathbb{E} \cup^{in} \mathbb{E} \cup^{out} \mathbb{E}$$

Το συνολικό σύστημα είναι η παράλληλη σύνδεση όλων των παραπάνω υποσυστημάτων, δηλαδή ισχύει ότι

$$\mathbf{G} = \parallel_{\lambda=1}^n (\lambda^1 \mathbf{G} \parallel \lambda^2 \mathbf{G} \parallel \lambda \mathbf{G}) \parallel_{\lambda=1}^m ((n+1)\lambda \mathbf{G}) \parallel_{\lambda=1}^{(n+1)} (R\lambda \mathbf{G}) \parallel^{in} \mathbf{G} \parallel^{out} \mathbf{G}$$

4.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ 9 ΣΤΑΘΜΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

4.2.1 Το συνολικό Μαθηματικό μοντέλο του συστήματος

Το συνολικό μοντέλο του συστήματος που προκύπτει από την παράλληλη σύνδεση όλων των παραπάνω αυτόματων είναι

$$\mathbf{G} = {}^{11}\mathbf{G} \parallel {}^{12}\mathbf{G} \parallel {}^{21}\mathbf{G} \parallel {}^{22}\mathbf{G} \parallel {}^{31}\mathbf{G} \parallel {}^{32}\mathbf{G} \parallel {}^{41}\mathbf{G} \parallel {}^{42}\mathbf{G} \parallel {}^{43}\mathbf{G} \\ \parallel {}^1\mathbf{G} \parallel {}^2\mathbf{G} \parallel {}^3\mathbf{G} \parallel {}^{R1}\mathbf{G} \parallel {}^{R2}\mathbf{G} \parallel {}^{R3}\mathbf{G} \parallel {}^{in}\mathbf{G} \parallel {}^{out}\mathbf{G}$$

Οι καταστάσεις του συστήματος είναι της μορφής

$$\mathbf{Q} = {}^{11}\mathbf{Q} \times {}^{12}\mathbf{Q} \times {}^{21}\mathbf{Q} \times {}^{22}\mathbf{Q} \times {}^{31}\mathbf{Q} \times {}^{32}\mathbf{Q} \times {}^{41}\mathbf{Q} \times {}^{42}\mathbf{Q} \\ \times {}^{43}\mathbf{Q} \times {}^1\mathbf{Q} \times {}^2\mathbf{Q} \times {}^3\mathbf{Q} \times {}^{R1}\mathbf{Q} \times {}^{R2}\mathbf{Q} \times {}^{R3}\mathbf{Q} \times {}^{in}\mathbf{Q} \times {}^{out}\mathbf{Q}$$

Το συνολικό αλφάβητο του συστήματος είναι

$$\mathbf{E} = {}^{11}\mathbf{E} \cup {}^{12}\mathbf{E} \cup {}^{21}\mathbf{E} \cup {}^{22}\mathbf{E} \cup {}^{31}\mathbf{E} \cup {}^{32}\mathbf{E} \cup {}^{41}\mathbf{E} \cup {}^{42}\mathbf{E} \\ \cup {}^{43}\mathbf{E} \cup {}^1\mathbf{E} \cup {}^2\mathbf{E} \cup {}^3\mathbf{E} \cup {}^{in}\mathbf{E} \cup {}^{out}\mathbf{E}$$

Η αρχική κατάσταση είναι

$$x_0 = ({}^{11}x_0, {}^{12}x_0, {}^{21}x_0, {}^{22}x_0, {}^{31}x_0, {}^{32}x_0, {}^{41}x_0, {}^{42}x_0, {}^{43}x_0, {}^1x_0, {}^2x_0, {}^3x_0, {}^{in}x_0, {}^{out}x_0)$$

4.2.2 Προσομοίωση του συστήματος

Έστω ότι στο σύστημα εφαρμόζεται η αλληλουχία συμβάντων ${}^{11}e_1 {}^{11}e_2 {}^1e_1 {}^{12}e_1 {}^{12}e_3 {}^{12}e_2 {}^1e_1 {}^1e_2 {}^{22}e_2 {}^{21}e_1 {}^{22}e_3$. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται η προσομοίωση του συστήματος.

Πίνακας 1: Προσομοίωση του συνολικού συστήματος

Συμβάντα αλληλουχίας	Καταστάσεις μονάδας κατεργασίας 8 σταθμών
	x_0
$^{11}e_1$	$(^{11}q_2, \dots)$
$^{11}e_2$	$(^{11}q_4, \dots)$
1e_1	$(\dots, ^1q_2, \dots)$
$^{12}e_1$	$(\dots, ^{12}q_2, \dots)$
$^{12}e_3$	$(\dots, ^{12}q_3, \dots)$
$^{12}e_2$	$(\dots, ^{12}q_1, \dots)$
1e_1	$(\dots, ^1q_4, \dots)$
1e_2	$(\dots, ^1q_4, \dots)$
$^{22}e_2$	$(\dots, ^{22}q_4, \dots)$
$^{21}e_1$	$(\dots, ^{21}q_2, \dots)$
$^{21}e_3$	$(\dots, ^{21}q_3, \dots)$

5.2 ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ

Για την αποφυγή του εγκλωβισμού σε κάθε σταθμό κατεργασίας πρέπει να σχεδιαστεί μία τοπική γλώσσα στον σταθμό της μορφής

$$\mathbb{K}_{D,ij} = \overline{({}^j e_1 {}^j e_3 {}^j e_2)}^*$$

Για την αποφυγή του εγκλωβισμού σε κάθε προσωρινή θέση αποθήκευσης πρέπει να σχεδιαστεί μία τοπική γλώσσα στον σταθμό της μορφής

$$\mathbb{K}_{D,i} = \overline{({}^i e_1 {}^i e_2 + {}^i e_3 {}^i e_4)}^*$$

Οι γλώσσες που εκφράζουν τις προδιαγραφές για τον συγχρονισμό είναι

Για τους μάντες, τους σταθμούς 11, 12, τον Buffer 1 και τον Ρομποτικό βραχίονα 1 (Module 1)

$${}^1\mathbb{K}_{D,1} = \overline{({}^{in} e_1 {}^{11} e_1)}^*$$

$${}^1\mathbb{K}_{D,2} = \overline{({}^{11} e_2 {}^1 e_3)}^*$$

$${}^1\mathbb{K}_{D,3} = \overline{({}^1 e_4 {}^{12} e_2)}^*$$

$${}^1\mathbb{K}_{D,4} = \overline{({}^{12} e_1 {}^{out} e_2)}^*$$

Για τους σταθμούς $i1$, $i2$, τους buffer $i-1$ και i και τον ρομποτικό βραχίονα i , όπου $i = \{2, \dots, n\}$, (Module i)

$${}^i\mathbb{K}_{D,1} = \overline{({}^{i-1} e_2 {}^{i1} e_1)}^*$$

$${}^i\mathbb{K}_{D,2} = \overline{({}^{i1} e_2 {}^i e_3)}^*$$

$${}^i\mathbb{K}_{D,3} = \overline{({}^i e_4 {}^{i2} e_1)}^*$$

$${}^i\mathbb{K}_{D,4} = \overline{({}^{i2} e_2 {}^{i-1} e_1)}^*$$

Για τους σταθμούς $n+11$ έως $n+1m$, τον buffer n και τον ρομποτικό βραχίονα $n+1$, (Module $n+1$)

$${}^{n+1}\mathbb{K}_{D,1} = \overline{({}^n e_2 {}^{(n+1)1} e_1)}^*$$

$${}^{n+1}\mathbb{K}_{D,2} = \overline{({}^{(n+1)1} e_2 {}^{(n+1)2} e_1)}^*$$

⋮

$${}^{n+1}\mathbb{K}_{D,m} = \overline{({}^{(n+1)m-1} e_2 {}^{(n+1)m} e_1)}^*$$

$${}^{n+1}\mathbb{K}_{D,m+1} = \overline{({}^{(n+1)m}e_2 {}^n e_1)^*}$$

Οι παραπάνω γλώσσες μπορούν να εκφραστούν σαν μία γλώσσα ανά ρομποτικό βραχίονα ή ανά ομάδα (Module)

Για το Module 1 η γλώσσα είναι

$${}^1\mathbb{K}_D = \overline{({}^{in}e_1 {}^{11}e_1 + {}^{11}e_2 {}^1e_3 + {}^1e_4 {}^{12}e_2 + {}^{12}e_1 {}^{out}e_2)^*}$$

Για το Module i η γλώσσα είναι

$${}^i\mathbb{K}_D = \overline{({}^{i-1}e_2 {}^{i1}e_1 + {}^{i1}e_2 {}^ie_3 + {}^ie_4 {}^{i2}e_1 + {}^{i2}e_2 {}^{i-1}e_1)^*}$$

Για το Module $n+1$ η γλώσσα είναι

$${}^{n+1}\mathbb{K}_D = \overline{({}^n e_2 {}^{(n+1)1}e_1 + {}^{(n+1)1}e_2 {}^{(n+1)2}e_1 + \dots + {}^{(n+1)m-1}e_2 {}^{(n+1)m}e_1 + {}^{(n+1)m}e_2 {}^n e_1)^*}$$

Όλα τα συμβάντα των πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων που περιγράφουν την κατεργασία είναι ελέγξιμα εκτός από το συμβάν ${}^ij e_3$. Επειδή όμως $\mathbb{K}_{D,ij} = \mathbb{L}_m({}^ij \mathbf{G}) = \overline{\mathbb{L}_m({}^ij \mathbf{G})}$ και όλα τα συμβάντα τα οποία μεταβαίνουν το αυτόματο στην κατάσταση του εγκλωβισμού είναι ελέγξιμα ισχύει ότι $\overline{\mathbb{K}_{D,ij}} \cap \overline{\mathbb{E}_{uc}} \cap \overline{\mathbb{L}({}^ij \mathbf{G})} = \mathbb{L}_m({}^ij \mathbf{G}) \cap \overline{\mathbb{E}_{uc}} \cap \overline{\mathbb{L}({}^ij \mathbf{G})} \subseteq \mathbb{L}_m({}^ij \mathbf{G})$. Η γλώσσα $\mathbb{K}_{D,i}$ είναι και αυτή ελέγξιμη για τους ίδιους λόγους. Τα αλφάβητα των γλωσσών ${}^1\mathbb{K}_{D,j}$, ${}^i\mathbb{K}_{D,j}$ και ${}^{n+1}\mathbb{K}_{D,j}$ όπου $i = \{2, \dots, n\}$ και $j = \{1, 2, 3, 4\}$, περιέχουν μόνο ελέγξιμα συμβάντα άρα οι γλώσσες είναι ελέγξιμες γλώσσες. Συνεπώς, το γεγονός αυτό εξασφαλίζει την ελεγκσιμότητα όλων των επιθυμητών γλωσσών ([2] και [3]).

Η $\mathbb{L}_m(\mathbf{G})$ κλειστότητα των γλωσσών $\mathbb{K}_{D,ij}$ και $\mathbb{K}_{D,i}$ είναι προφανής μιας και $\mathbb{K}_{D,ij} = \mathbb{L}_m({}^ij \mathbf{G})$ και $\mathbb{K}_{D,i} = \mathbb{L}_m({}^i \mathbf{G})$. Για τις γλώσσες ${}^1\mathbb{K}_D$, ${}^i\mathbb{K}_D$ και ${}^{n+1}\mathbb{K}_D$ ισχύει ότι

$$\overline{{}^1\mathbb{K}_D} \cap \mathbb{L}({}^{R1} \mathbf{G}) = {}^1\mathbb{K}_D \cap \mathbb{L}({}^{R1} \mathbf{G}) = {}^1\mathbb{K}_D$$

αφού ${}^1\mathbb{K}_D = \overline{{}^1\mathbb{K}_D}$ και ${}^1\mathbb{K}_D \subset \mathbb{L}({}^{R1} \mathbf{G})$. Ομοίως για τις γλώσσες ${}^i\mathbb{K}_D$ και ${}^{n+1}\mathbb{K}_D$. Επομένως και οι γλώσσες ${}^1\mathbb{K}_D$, ${}^i\mathbb{K}_D$ και ${}^{n+1}\mathbb{K}_D$ είναι $\mathbb{L}_m(\mathbf{G})$ -κλειστές.

Τέλος τα αλφάβητα όλων των γλωσσών είναι ξένα μεταξύ τους επομένως οι γλώσσες είναι μη αντικρουόμενες ([2] και [3]).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΈΛΕΓΧΟΣ

Στο κεφαλαίο αυτό θα σχεδιαστούν οι επόπτες ελεγκτές για τις επιθυμητές γλώσσες των γλωσσών του προηγούμενου κεφαλαίου.

6.1 ΤΟΠΙΚΟΙ ΕΠΟΠΤΕΣ ΑΠΟΦΥΓΗΣ ΕΓΚΛΩΒΙΣΜΟΥ

6.1.1 Τοπικοί επόπτες σταθμών κατεργασίας

Για τον τοπικό ελεγκτή των σταθμών κατεργασίας ο επόπτης ([17]) είναι της μορφής

$${}^i\mathbf{S} = ({}^i\mathbf{Q}_S, {}^i\mathbf{E}, {}^i f_S, {}^i\mathbf{H}_S, {}^i x_{S,0}, {}^i\mathbf{Q}_{S,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$${}^i\mathbf{Q}_S = \{ {}^i q_{S,1}, {}^i q_{S,2}, {}^i q_{S,3} \}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$${}^i\mathbf{E} = \{ {}^i e_1, {}^i e_2, {}^i e_3 \}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^i f_S({}^i q_{S,1}, {}^i e_1) = {}^i q_{S,2}, {}^i f_S({}^i q_{S,2}, {}^i e_3) = {}^i q_{S,3} \text{ και } {}^i f_S({}^i q_{S,3}, {}^i e_2) = {}^i q_{S,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$${}^i\mathbf{H}_S({}^i q_{S,1}) = \{ {}^i e_1 \}, {}^i\mathbf{H}_S({}^i q_{S,2}) = \{ {}^i e_3 \} \text{ και } {}^i\mathbf{H}_S({}^i q_{S,3}) = \{ {}^i e_2 \}$$

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

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι ${}^i\mathbf{Q}_{S,m} = {}^i\mathbf{Q}_S$.

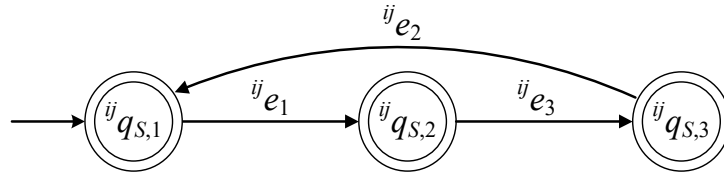
Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 8.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}({}^{ij}\mathbf{S}) = \overline{({}^{ij}e_1 {}^{ij}e_3 {}^{ij}e_2)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m({}^{ij}\mathbf{S}) = \overline{({}^{ij}e_1 {}^{ij}e_3 {}^{ij}e_2)^*} = \mathbb{L}({}^{ij}\mathbf{S})$$



Σχήμα 8: Το αυτόματο του επόπτη ${}^{ij}\mathbf{S}$

6.1.2 Τοπικοί επόπτες προσωρινών θέσεων αποθήκευσης

Για τον τοπικό ελεγκτή των σταθμών κατεργασίας ο επόπτης ([17]) είναι της μορφής

$${}^i\mathbf{S} = ({}^i\mathbb{Q}_S, {}^i\mathbb{E}, {}^i f_S, {}^i\mathbb{H}_S, {}^i x_{S,0}, {}^i\mathbb{Q}_{S,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$${}^i\mathbb{Q}_S = \{{}^i q_{S,1}, {}^i q_{S,2}, {}^i q_{S,3}\}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$${}^i\mathbb{E} = \{{}^i e_1, {}^i e_2, {}^i e_3, {}^i e_4\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^i f_S({}^i q_{S,1}, {}^i e_1) = {}^i q_{S,2}, {}^i f_S({}^i q_{S,1}, {}^i e_3) = {}^i q_{S,3}, {}^i f_S({}^i q_{S,2}, {}^i e_2) = {}^i q_{S,1} \text{ και } {}^i f_S({}^i q_{S,3}, {}^i e_4) = {}^i q_{S,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$${}^i\mathbb{H}_S({}^i q_{S,1}) = \{{}^i e_1, {}^i e_3\}, {}^i\mathbb{H}_S({}^i q_{S,2}) = \{{}^i e_2\} \text{ και } {}^i\mathbb{H}_S({}^i q_{S,3}) = \{{}^i e_4\}$$

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

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

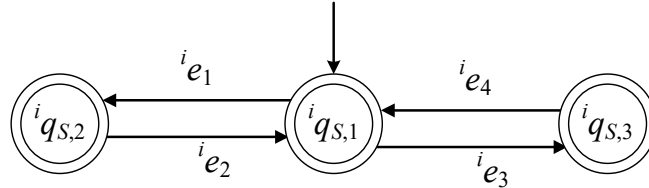
Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}({}^i\mathbf{S}) = \overline{({}^i e_1 {}^i e_2 + {}^i e_3 {}^i e_4)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m({}^i\mathbf{S}) = \overline{({}^i e_1 {}^i e_2 + {}^i e_3 {}^i e_4)^*} = \mathbb{L}({}^i\mathbf{S})$$



Σχήμα 9: Το αυτόματο του επόπτη ${}^i\mathbf{S}$

6.2 ΕΠΙΟΠΤΕΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ

Στη συνέχεια θα σχεδιαστεί ο επόπτης για τη γλώσσα ${}^i\mathbb{K}_{D,1} = \overline{({}^{i1} e_2 {}^i e_3)^*}$ και για τις υπόλοιπες γλώσσες θα παρουσιαστεί ο τρόπος σχεδιασμού των αντίστοιχων εποπτών τους. Ο επόπτης είναι της μορφής

$${}^i\mathbf{S}_1 = ({}^i\mathbb{Q}_{S_1}, {}^i\mathbb{E}_{S_1}, {}^i f_{S_1}, {}^i\mathbb{H}_{S_1}, {}^i x_{S_1,0}, {}^i\mathbb{Q}_{S_1,m})$$

Το σύνολο των καταστάσεων του επόπτη είναι

$${}^i\mathbb{Q}_{S_1} = \{{}^i q_{S_1,1}, {}^i q_{S_1,2}\}$$

Το αλφάβητο του επόπτη είναι

$${}^i\mathbb{E}_{S_1} = \{{}^{i1} e_2, {}^i e_3\}$$

Οι συναρτήσεις μετάβασης είναι

$${}^i f_{S_1}({}^i q_{S_1,1}, {}^{i1} e_2) = {}^i q_{S_1,2} \text{ και } {}^i f_{S_1}({}^i q_{S_1,2}, {}^i e_3) = {}^i q_{S_1,1}$$

Τα σύνολο των ενεργών συμβάντων ανά κατάσταση είναι

$${}^i\mathbb{H}_{S_1}({}^i q_{S_1,1}) = \{{}^{i1} e_2\} \text{ και } {}^i\mathbb{H}_{S_1}({}^i q_{S_1,2}) = \{{}^i e_3\}$$

Η αρχική κατάσταση είναι ${}^i x_{S_1,0} = {}^i q_{S_1,1}$.

Το σύνολο το σημαδεμένων καταστάσεων είναι ${}^i\mathbb{Q}_{S_1,m} = {}^i\mathbb{Q}_{S_1}$.

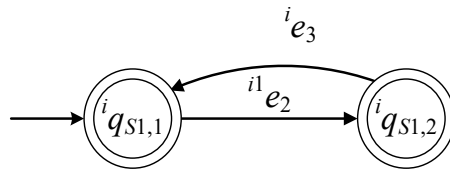
Το αυτόματο του επόπτη παρουσιάζεται στο Σχήμα 10.

Η γλώσσα που παράγει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}(^i\mathbf{S}_1) = \overline{(^i e_2 \ ^i e_3)^*}$$

Τέλος η γλώσσα που σημαδεύει το αυτόματο είναι

$$\mathbb{L}_m(^i\mathbf{S}_1) = \overline{(^i e_2 \ ^i e_3)^*} = \mathbb{L}(^i\mathbf{S}_1)$$



Σχήμα 10: Το αυτόματο του επόπτη $^j\mathbf{S}_1$

Τα υπόλοιπα αυτόματα είναι τις ίδιας μορφής με διαφορετικά συμβάντα που προκαλούν τις μεταβάσεις.

6.3 ΔΟΜΟΣΤΟΙΧΕΙΩΤΟΣ ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ Κ

Οι επόπτες που σχεδιάστηκαν θα εφαρμοστούν στο συνολικό σύστημα με παράλληλη σύνδεση. Η παραπάνω αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου είναι μία δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου που αποφεύγει τον εγκλωβισμό [χ]. Το συνολικό σύστημα που προκύπτει είναι

$$\mathbf{G} = \prod_{\lambda=1}^{((n-1)/2)-1} \left(\lambda^1 \mathbf{S} \parallel \lambda^2 \mathbf{S} \parallel \lambda^3 \mathbf{S} \parallel \lambda^4 \mathbf{S}_1 \parallel \lambda^5 \mathbf{S}_2 \right) \prod_{\lambda=1}^3 \left(((n-1)/2)^\lambda \mathbf{S} \parallel \lambda^1 \mathbf{S}_1 \parallel \lambda^2 \mathbf{S}_2 \parallel \lambda^3 \mathbf{S}_3 \right) \parallel {}^1 \mathbf{S}_1 \parallel {}^1 \mathbf{S}_2$$

Η παραπάνω αρχιτεκτονική εξασφαλίζει ότι το ελεγχόμενο αυτόματο αποφεύγει τον εγκλωβισμό καθώς οι γλώσσες είναι:

- i) Ελέγξιμες
- ii) $\mathbb{L}_m(\mathbf{G})$ - κλειστές
- iii) Μη αντικρουόμενες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάστηκε το μαθηματικό μοντέλο μίας διεργασίας η οποία αποτελείται από πολλούς σταθμούς κατεργασία με χρήση πεπερασμένων ντετερμινιστικών αυτόματων. Ο αριθμός των σταθμών κατεργασίας είναι n με $n/2$ προσωρινές θέσεις αποθήκευσης των προϊόντων και $n/2$ ρομποτικούς βραχίονες μεταφοράς. Δύο ταινίες μεταφοράς μεταφέρουν τα προϊόντα προς και από την διεργασία. Αρχικά παρουσιάστηκαν οι προδιαγραφές της επιθυμητής συμπεριφοράς του συστήματος στη μορφή απλών κανόνων και στη συνέχεια παρουσιάστηκαν η επιθυμητή συμπεριφορά στη μορφή κανονικών γλωσσών. Μελετήθηκαν οι ιδιότητες των γλωσσών αυτών σε σχέση με το αυτόματο του συστήματος. Σχεδιάστηκε ένα σύνολο εποπτών οι οποίοι ικανοποιούν τις επιθυμητές γλώσσες στη μορφή αυτόματων. Τέλος σχεδιάστηκε μία δομοστοιχειωτή αρχιτεκτονική εποπτικού ελέγχου που αποφεύγει τον εγκλωβισμό για το συνολικό σύστημα με βάση τα αυτόματα των εποπτών των κανονικών γλωσσών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. R.Sua, J. H. van Schuppen and J. E. Rooda, “Maximally permissive coordinated distributed supervisory control of nondeterministic discrete-event systems,” *Automatica*, vol. 48 (7), pp. 1237-1247, 2012.
2. C. G. Casandras, and S. Lafortune, *Introduction to Discrete Event Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1999.
3. W. M. Wonham and C. Kai, *Supervisory control of discrete-event systems*, Springer International Publishing, 2019.
4. R. Kumar and V.K. Garg, *Modeling and Control of Logical Discrete Event Systems*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1995.
5. P.J. Ramadge and W. M. Wonham, “The control of discrete event systems,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 77, pp. 81–98, 1989.
6. F. N Koumboulis, D. G. Fragkoulis and N. D. Kouvakas, “Automata-Based Programming for the Development of a Web based Application -A Case Study-,” *South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM 2016)*, Kastoria, Greece, 2016.
7. 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.
8. 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.
9. F. N Koumboulis, D. G. Fragkoulis and N. Ch. Kyriazis, “A two layer supervisor scheme for ring manufacturing production chains,” *South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM 2016)*, Kastoria, Greece, 2016.
10. 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.
11. 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.
12. F. N. Koumboulis, D. G. Fragkoulis and S. G. Stefanatou, “A flow supervisory control scheme,” *South-East Europe Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference (SEEDA-CECNSM 2018)*, Kastoria, September 22-24, Greece, 2018.