



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

IDENTIFICATION AND FAILURE DETECTION IN A DIDACTIC MANUFACTURE SYSTEM

Rafael Accácio Nogueira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Marcos Vicente de Brito Moreira

Rio de Janeiro
Abril de 2019

IDENTIFICATION AND FAILURE DETECTION IN A
DIDACTIC MANUFACTURE SYSTEM

Rafael Accácio Nogueira

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO.

Examinado por:

Prof. Marcos Vicente de Brito Moreira, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
ABRIL DE 2019

Nogueira, Rafael Accácio

Identificação e Detecção de Falhas em um Sistema de Manufatura Didático/Rafael Accácio Nogueira.

– Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2019.

XII, 31 p.: il.; 29,7cm.

Orientador: Marcos Vicente de Brito Moreira

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/
Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2019.

Bibliography: p. ?? – ??.

1. Failure Detection. 2. Discrete Event Systems.

I. Moreira, Marcos Vicente de Brito. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia de Controle e Automação. III. Identification and Failure Detection in a Didactic Manufacture System.

*“It’s a dangerous business going
out your door. You step onto the
road, and if you don’t keep your
feet, there’s no knowing where
you might be swept off to.”
(J.R.R Tolkien)*

Agradecimentos

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pois sem Ele nada é possível e por **todas** as pessoas qu’Ele colocou em meu caminho, que me fizeram crescer e ser o indivíduo que hoje sou.

Agradeço aos meus pais, Rosemeri e Rogério. Por todo amor e carinho, pela atenção dada e a primeira educação, pontapé inicial essencial para toda minha trajetória, educação não só acadêmica, mas também moral. Agradeço também por terem sempre escolhido as melhores escolas que proporcionaram o conhecimento necessário para entrar no Colégio Pedro II.

Gostaria de agradecer a todos meus professores e professoras por terem mostrado o quão importante e bonita é a profissão e por terem sempre instigado a sede pelo aprendizado. Agradeço a todos que contribuíram para minha base acadêmica e profissional.

Agradeço a todas as amigas que fiz, principalmente as do Pedro II, com os quais convivi durante 7 anos, passando o fim da infância e por grande parte da adolescência e também as da UFRJ, mais especificamente da nossa turma T17, pois se chegamos até onde chegamos foi porque estivemos juntos, fortes, lado a lado, ombro no ombro, não deixando o outro cair, mas quando alguém caía sempre uma mão se estendia para ajudar a levantar e recomeçar. Dos amigos da T17 alguns não poderiam não ser mencionados:

Os melhores companheiros de grupo, Gabriel Pelielo e Rodrigo Moysés, um verdadeiro “Power Trio”, sinergia define bem todos trabalhos que fizemos. E também os amigos Philipe Moura e Felipe Matheus, que me incentivaram a sair da minha zona de conforto e me fizeram compreender de fato o sentido do quão “perigoso” é sair pela porta de casa, pois quando saímos da nossa zona de conforto, coisas mágicas podem acontecer e pessoas mágicas podem aparecer em nossas vidas.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Automation and Control Engineering.

IDENTIFICATION AND FAILURE DETECTION IN A DIDACTIC MANUFACTURE SYSTEM

Rafael Accácio Nogueira

April/2019

Advisor: Marcos Vicente de Brito Moreira

Course: Automation and Control Engineering

This work has as primary objective to propose tools and a methodology for identification and failure detection on discrete events systems using the Deterministic Automaton with Outputs and Conditional Transitions (DAOCT) model. In order to accomplish this, the control of a didactic manufacture system will be designed, using petri nets in a first phase converting it into Ladder. Once the control is implemented, it will be showed how to make the input and output data acquisition necessary to feed the DAOCT model identification algorithm. The DAOCT model identified by the offline program, using data acquired when the system was operational in normal conditions, will be used online to detect failures in tests where the failures will be created by fiddling around with the sensors and actuators, this way the model will be tested using relatively larger systems.

1. Failure Detection.
2. Discrete Event Systems.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

IDENTIFICAÇÃO E DETECÇÃO DE FALHAS EM UM SISTEMA DE MANUFATURA DIDÁTICO

Rafael Accácio Nogueira

Abril/2019

Orientador: Marcos Vicente de Brito Moreira

Curso: Engenharia de Controle e Automação

Este trabalho tem como objetivo propor ferramentas e uma metodologia para a identificação e detecção de falhas em sistemas a eventos discretos, utilizando o modelo DAOCT. Para tanto, será realizado o projeto de controle de um sistema de manufatura didático, utilizando em uma primeira fase redes de petri, depois convertendo na linguagem Ladder. Uma vez implementado o controle será mostrado como fazer a aquisição dos dados de entrada e saída da planta, necessários para o algoritmo de identificação do modelo DAOCT. O modelo DAOCT identificado pelo programa offline, usando dados colhidos em diversos testes no qual a planta se comporta normalmente, será usado para detectar falhas online em testes onde situações de falhas serão causadas ao alterar o comportamento de sensores e atuadores, assim testando o modelo para sistemas de relativamente maiores dimensões

1. Failure Detection.
2. Discrete Event Systems.

Contents

List of Figures	ix
List of Tables	x
1 Introduction	27
2 Results	28
3 Conclusion	29
A Complete Petri Net	30

List of Figures

1	example	2
2	example	3
3	Petri net of Initialization module.	4
4	Petri net of metal cube half sorting module.	7
5	Petri net of plastic cube half sorting module.	10
6	Petri net of manipulator taking a cube half from conveyor belt to assembly unit module.	13
7	Petri net of assembly unit module.	15
8	Petri net of manipulator taking cube from assembly unit to storage module.	17
9	Petri net of storage unit positioning module (y axis).	19
10	Petri net of storage unit positioning module (x axis).	22
11	Petri net of cube storage module.	25

List of Tables

1	table	1
2	Lugares do Módulo de Inicialização	5
3	Transições do Módulo de Inicialização	6
4	Lugares do Módulo 2 pt 1	8
5	Transições do Módulo 2 pt 1	9
6	Lugares do Módulo 2 pt 2	11
7	Transições do Módulo 2 pt 2	12
8	Lugares do Módulo Braço Esteira Prensa	14
9	Transições do Módulo Braço Esteira Prensa	14
10	Lugares do Módulo prensa cubo	16
11	Lugares do Módulo braço prensa armazenador	18
12	Transições do Módulo braço prensa armazenador	18
13	Lugares do Módulo armazenador y	20
14	Transições do Módulo armazenador y	20
15	Lugares do Módulo armazenador (x)	23
16	Transições Módulo armazenador (x)	24
17	Places from the cube storage module.	26
18	Transitions from the cube storage module.	26


```

Input: scalar  $\epsilon$ , matrix  $\mathbf{A} = (a_{ij})$ , vector  $\vec{b}$  and initial vector  $\vec{x}^{(0)}$ 
for  $k \leftarrow 1$  to maximum iterations do
  for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
     $x_i^{(k)} = \frac{b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^{(k)} - \sum_{j=i+1}^n a_{ij}x_j^{(k-1)}}{a_{ii}};$ 
  end
  if  $|\vec{x}^{(k)} - \vec{x}^{(k-1)}| < \epsilon$  then
    Stop
  end
end

```

Algorithm 1: Gauss-Seidel Algorithm

Table 1: table

Transição	Significado
t_1	Test
p_1	balbalbal
p_0	balbalbal

Figure 1: example

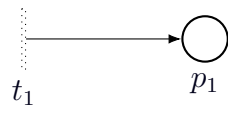


Figure 2: example

Ω

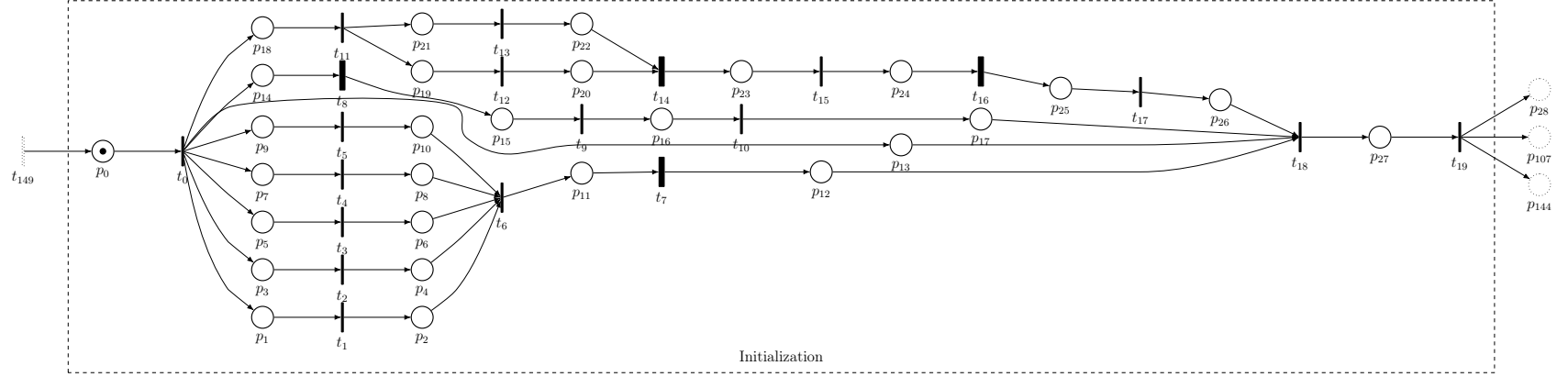


Figure 3: Petri net of Initialization module.

Table 2: Lugares do Módulo de Inicialização

Places	Meaning
P0	System Stopped
P1	Retract MAG 1 Cylinder *
P2	MAG1's Cylinder Retracted
P3	Retract MAG 2 Cylinder *
P4	MAG2's Cylinder Retracted
P5	Retract Right Discharge Cylinder *
P6	Right Discharge Cylinder Retracted
P7	Retract Center Discharge Cylinder
P8	Center Discharge Cylinder Retracted
P9	Retract Left Discharge Cylinder *
P10	Left Discharge Cylinder Retracted
P11	Turn Conveyor Belt On (Reverse)
P12	No Pieces On Conveyor Belt
P13	Reset Variables ¹
P14	Retract Joining Cylinder
P15	Open Safety Door
P16	Extend Assembly Unit Holder
P17	Assembly Unit Ready
P18	Arm Retracted and Storage Device Retracted On The Z Axis
P19	Move armazenador para direita
P20	Armazenador pronto na horizontal
P21	Mover armazenador para baixo
P22	Armazenador pronto na vertical
P23	Girar braço sentido antihorário ²
P24	Braço parado
P25	Girar braço sentido horário ² e Habilita HSC
P26	Braço parado frente a esteira
P27	Sistema Pronto

¹Variáveis IEC_{COUNTER}, IEC_{COUNTER1}, IEC_{COUNTER2}, IEC_{COUNTER3}, IEC_{COUNTER4}, IEC_{COUNTER5}.

²Verificar sentido de rotação do braço.

Table 3: Transições do Módulo de Inicialização

Transitions	Meaning
t ₀	Botão de inicialização
t ₁	Sensor MAG 1 Retraído
t ₂	Sensor MAG 2 Retraído
t ₃	Sensor pistão de descarte D Retraído
t ₄	Sensor pistão de descarte C Retraído
t ₅	Sensor pistão de descarte E Retraído
t ₆	
t ₇	T=15s
t ₈	T=2.5s
t ₉	Sensor porta prensa aberta
t ₁₀	Sensor atuador horizontal da prensa estendido
t ₁₁	Sensor Hz armazenador de cubos e braço retraídos
t ₁₂	Fim de curso direito do armazenador de cubos
t ₁₃	Fim de curso inferior do armazenador de cubos
t ₁₄	T=2s
t ₁₅	Sensor Indutivo do braço
t ₁₆	T=1s
t ₁₇	Count_300C.DB.Countval = -1690
t ₁₈	
t ₁₉	Botão Começar

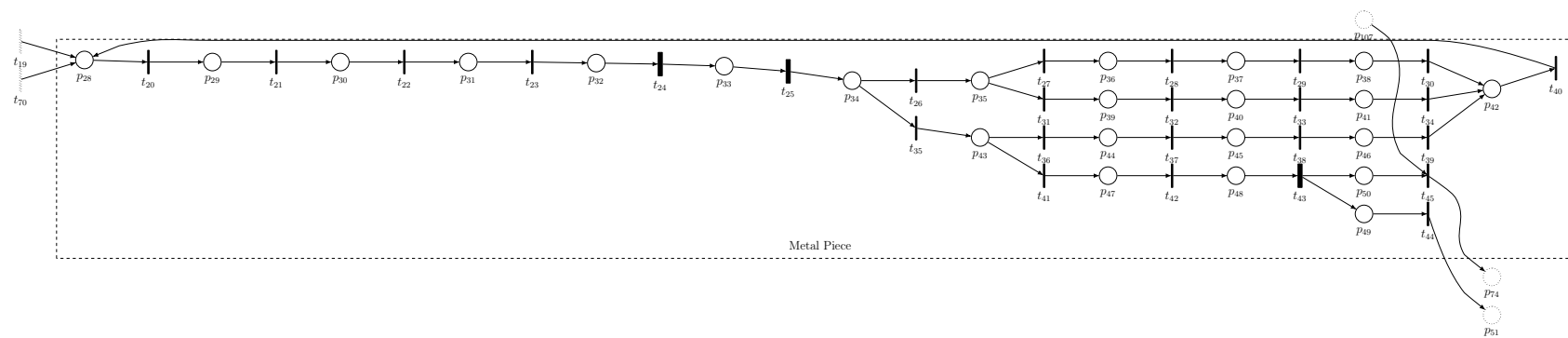


Figure 4: Petri net of metal cube half sorting module.

Table 4: Lugares do Módulo 2 pt 1

p ₂₈	Mag1 vazio
p ₂₉	Mag1 com peça
p ₃₀	Estender Mag1 Horizontal*
p ₃₁	Retrair Mag1 Horizontal*
p ₃₂	Mag1 Horizontal retraído
p ₃₃	Ligar esteira sentido normal
P ₃₄	
p ₃₅	Peça de Plástico
p ₃₆	Ligar esteira sentido normal
p ₃₇	Estender Pistão de descarte D*
p ₃₈	Retrair Pistão de descarte D*
p ₃₉	Ligar esteira sentido normal
p ₄₀	Estender Pistão de descarte C*
p ₄₁	Retrair Pistão de descarte C*
P ₄₂	
p ₄₃	Peça de Metal
p ₄₄	Ligar esteira sentido normal
p ₄₅	Estender Pistão de descarte E*
p ₄₆	Retrair Pistão de descarte E*
p ₄₇	Ligar esteira sentido normal
p ₄₈	Ligar esteira sentido normal
p ₄₉	Peça Metal Pronta
p ₅₀	Esteira Parada

Table 5: Transições do Módulo 2 pt 1

t ₂₀	Sensor Chave de Presença de Peça Mag1
t ₂₁	
t ₂₂	Mag1 Horizontal estendido ↑
t ₂₃	Mag1 Horizontal retraído ↑
t ₂₄	T=0.5s
t ₂₅	Presença ↑ T=0.5s
t ₂₆	Sensor Metal
t ₂₇	Sensor Preto
t ₂₈	Presença Pistão de D ↑
t ₂₉	Sensor pistão de descarte D estendido
t ₃₀	Sensor pistão de descarte D retraído
t ₃₁	Sensor Branco
t ₃₂	Presença Pistão de C ↑
t ₃₃	Sensor pistão de descarte C estendido
t ₃₄	Sensor pistão de descarte C retraído
t ₃₅	Sensor Metal
t ₃₆	Sensor peça concavidade para baixo
t ₃₇	Presença Pistão de E ↑
t ₃₈	Sensor pistão de descarte E estendido
t ₃₉	Sensor pistão de descarte E retraído
t ₄₀	
t ₄₁	Sensor peça concavidade para cima
t ₄₂	Sensor final da esteira ↑
t ₄₃	T=0.5s
t ₄₄	Sensor final da esteira ↓
t ₄₅	

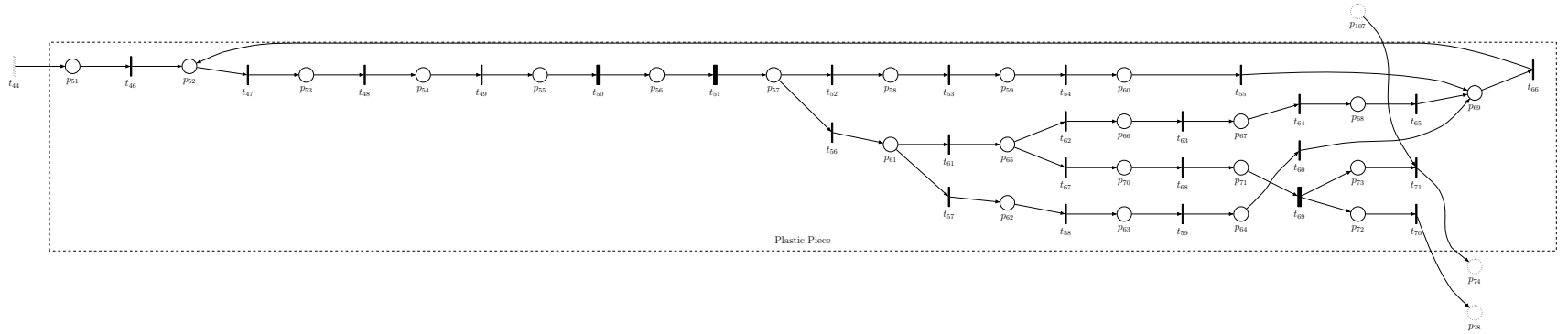


Figure 5: Petri net of plastic cube half sorting module.

Table 6: Lugares do Módulo 2 pt 2

p ₅₁	Mag2 vazio
p ₅₂	Mag2 com peça
p ₅₃	Estender Mag2 Horizontal*
p ₅₄	Retrair Mag2 Horizontal*
p ₅₅	Mag2 Horizontal Retraído
p ₅₆	Ligar esteira sentido normal
P ₅₇	
p ₅₈	Ligar esteira sentido normal
p ₅₉	Estender Pistão de descarte E*
p ₆₀	Retrair Pistão de descarte E*
p ₆₁	Peça de Metal
p ₆₂	Ligar esteira sentido normal
p ₆₃	Estender Pistão de descarte D*
p ₆₄	Retrair Pistão de descarte D*
p ₆₅	Peça Branca
p ₆₆	Ligar esteira sentido normal
p ₆₇	Estender Pistão de descarte C*
p ₆₈	Retrair Pistão de descarte C*
P ₆₉	
p ₇₀	Ligar esteira sentido normal
p ₇₁	Ligar esteira sentido normal
p ₇₂	Peça branca pronta
p ₇₃	Esteira parada

Table 7: Transições do Módulo 2 pt 2

t ₄₆	Sensor Chave de Presença de Peça Mag2
t ₄₇	
t ₄₈	Mag2 Horizontal estendido ↑
t ₄₉	Mag2 Horizontal retraído ↑
t ₅₀	T=0.5s
t ₅₁	Presença ↑ T=0.5s
t ₅₂	Sensor Metal
t ₅₃	Presença Pistão de E ↑
t ₅₄	Sensor pistão de descarte E estendido
t ₅₅	Sensor pistão de descarte E retraído
t ₅₆	Sensor Metal
t ₅₇	Sensor Preto
t ₅₈	Presença Pistão de D ↑
t ₅₉	Sensor pistão de descarte D estendido
t ₆₀	Sensor pistão de descarte D retraído
t ₆₁	Sensor Branco
t ₆₂	Sensor peça concavidade para cima
t ₆₃	Presença Pistão de C ↑
t ₆₄	Sensor pistão de descarte C estendido
t ₆₅	Sensor pistão de descarte C retraído
t ₆₆	
t ₆₇	Sensor peça concavidade para baixo
t ₆₈	Sensor final da esteira ↑
t ₆₉	T=0.5s
t ₇₀	Sensor final da esteira ↓
t ₇₁	

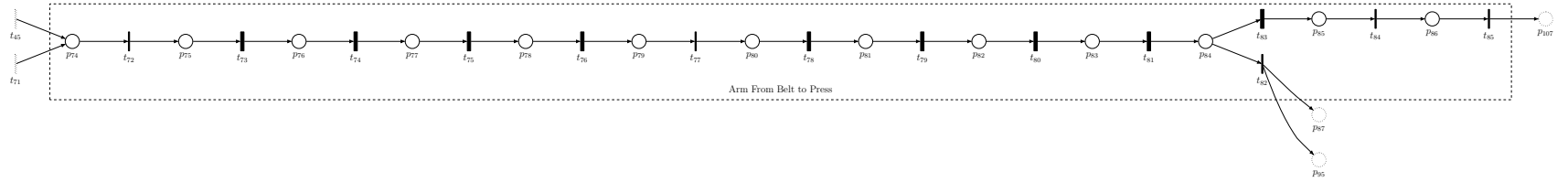


Figure 6: Petri net of manipulator taking a cube half from conveyor belt to assembly unit module.

Table 8: Lugares do Módulo Braço Esteira Prensa

Places	Meaning
p74	Estender verticalmente o braço
p75	Estender vertical e horizontalmente o braço e Ligar o vácuo
p76	Estender horizontalmente o braço e Ligar o vácuo
p77	Estender vertical e horizontalmente o braço e Ligar o vácuo
p78	Estender verticalmente o braço e Ligar o vácuo
p79	Habilita HSC e Estender verticalmente o braço, Ligar o vácuo e Girar Braço no sentido horário
p80	Estender vertical e horizontalmente o braço e Ligar o vácuo
p81	Estender horizontalmente o braço e Ligar o vácuo
p82	Estender horizontalmente o braço
p83	Estender vertical e horizontalmente o braço
p84	Estender verticalmente o braço
p85	Habilita HSC e Estender verticalmente o braço e Girar Braço no sentido antihorário
p86	Estender Verticalmente o braço e $IEC_{COUNTER} := IEC_{COUNTER} + 1$

Table 9: Transições do Módulo Braço Esteira Prensa

Transitions	Meaning
t72	Sensor vertical braço estendido
t73	T=1.5s
t74	T=1.5s e Sensor vertical braço retraído
t75	T=1.5s e Sensor vertical braço estendido
t76	T=1.5s e Sensor vertical braço estendido
t77	Count_300C.DB.CountVal = -3330
t78	T=1.5s e Sensor vertical braço estendido
t79	T=1.5s e Sensor vertical braço retraído
t80	T=1.5s
t81	T=1.5s e Sensor vertical braço estendido
t82	$IEC_{COUNTER0.DB} = 1$ e Sensor Hz prensa estendido e porta prensa aberta
t83	T=1.5s e $IEC_{COUNTER0.DB} = 0$ e Sensor vertical braço estendido
t84	Count_300C.DB.CountVal = -1690
t85	

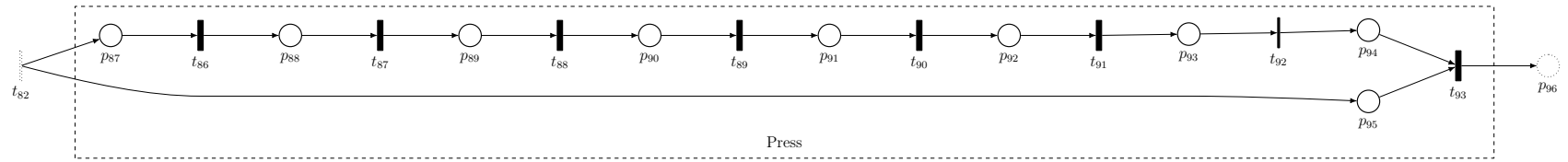


Figure 7: Petri net of assembly unit module.

Table 10: Lugares do Módulo prensa cubo

p ₈₇	Retrair atuador horizontal prensa*
p ₈₈	Fechar Porta prensa*
p ₈₉	Estender atuador vertical prensa*
p ₉₀	Retrair atuador vertical prensa*
p ₉₁	Abrir Porta prensa*
p ₉₂	Estender atuador horizontal prensa*
p ₉₃	Cubo pronto
p ₉₄	Estender horizontalmente o braço e Ligar Vácuo
p ₉₅	Estender verticalmente o braço

t ₈₆	T=1s e Sensor horizontal prensa retraído
t ₈₇	T=1s e Sensor porta fechada
t ₈₈	T=1s
t ₈₉	T=1s
t ₉₀	T=1s e sensor porta aberta
t ₉₁	T=1s e sensor horizontal prensa estendido
t ₉₂	
t ₉₃	T=1.5s e Sensor horizontal do braço estendido

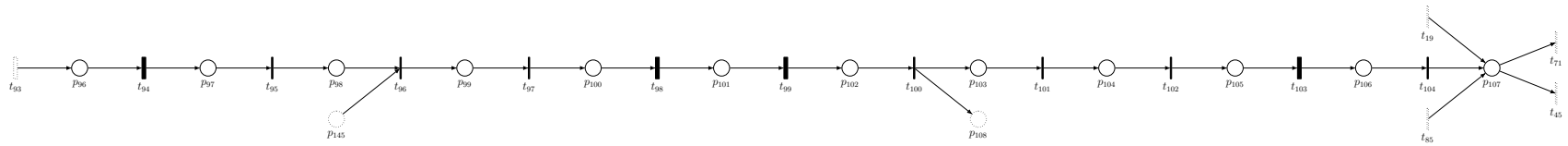


Figure 8: Petri net of manipulator taking cube from assembly unit to storage module.

Table 11: Lugares do Módulo braço prensa armazenador

p ₉₆	Estender horizontalmente o braço e Ligar Vácuo
p ₉₇	Estender vertical e horizontalmente o braço e Ligar Vácuo
p ₉₈	Resetar IEC _{COUNTER0} *, estender verticalmente o braço e Ligar Vácuo
p ₉₉	Habilita HSC e Estender verticalmente o braço, Ligar Vácuo e Girar o Braço no sentido horário
p ₁₀₀	Estender vertical e horizontalmente o braço e Ligar Vácuo
p ₁₀₁	Estender horizontalmente o braço e Ligar Vácuo
p ₁₀₂	Estender horizontalmente o braço
p ₁₀₃	Estender vertical e horizontalmente o braço
p ₁₀₄	Girar o braço no sentido antihorário
p ₁₀₅	Braço parado
p ₁₀₆	Habilita HSC e Girar o braço no sentido horário
p ₁₀₇	Braço na esteira

Table 12: Transições do Módulo braço prensa armazenador

t ₉₄	T=1.5s e Sensor vertical braço retraído
t ₉₅	Sensor vertical braço estendido, Fim de curso inferior e direito armazenador
t ₉₆	
t ₉₇	Count_300C.DB.CountVal = -4920
t ₉₈	T=2s
t ₉₉	T=2s
t ₁₀₀	Sensor vertical braço retraído
t ₁₀₁	Sensor vertical braço estendido, Fim de curso inferior e direito armazenador
t ₁₀₂	Sensor indutivo do braço
t ₁₀₃	T=1s
t ₁₀₄	Count_300C.DB.CountVal = -1690

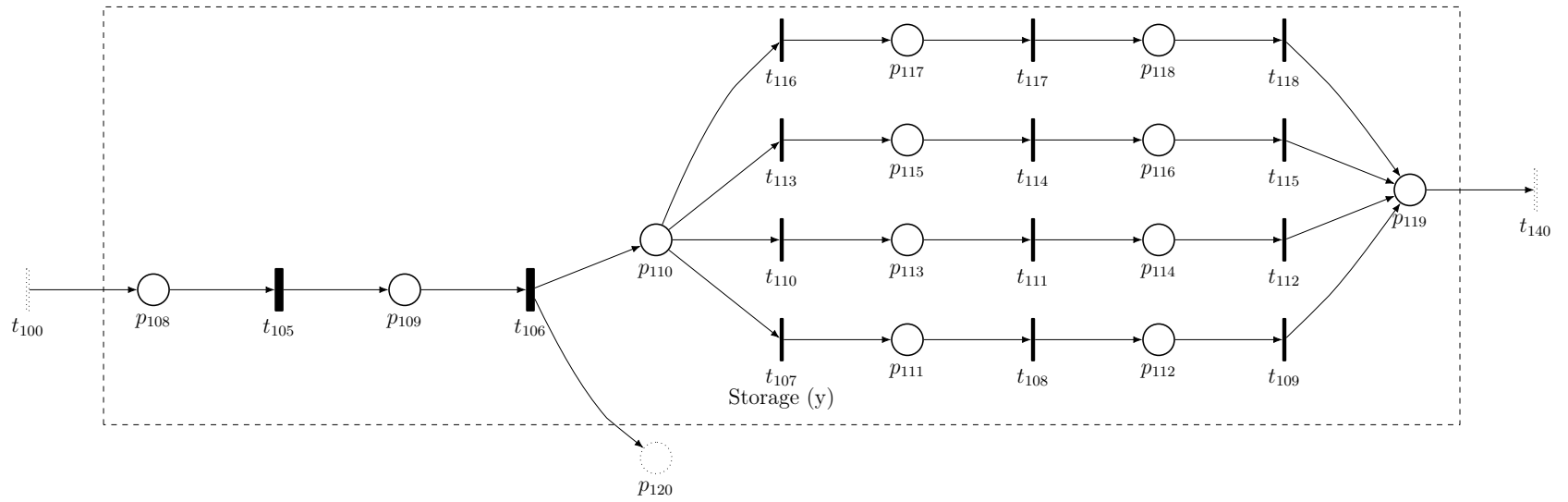


Figure 9: Petri net of storage unit positioning module (y axis).

Table 13: Lugares do Módulo armazenador y

p ₁₀₈	cubo no armazenador
p ₁₀₉	mover armazenador para direita
p ₁₁₀	
p ₁₁₁	COUNTER3:=COUNTER3+1 mover armazenador para cima
p ₁₁₂	Reset COUNTER3*
p ₁₁₃	COUNTER3:=COUNTER3+1 mover armazenador para cima
p ₁₁₄	Reset COUNTER3*
p ₁₁₅	COUNTER3:=COUNTER3+1 mover armazenador para cima
p ₁₁₆	Reset COUNTER3*
p ₁₁₇	COUNTER3:=COUNTER3+1 mover armazenador para cima
p ₁₁₈	Reset COUNTER3*
p ₁₁₉	

Table 14: Transições do Módulo armazenador y

t ₁₀₅	T=2s
t ₁₀₆	T=2s
t ₁₀₇	COUNTER2=0
t ₁₀₈	COUNTER3=4
t ₁₀₉	
t ₁₁₀	COUNTER2=1
t ₁₁₁	COUNTER3=3
t ₁₁₂	
t ₁₁₃	COUNTER2=2
t ₁₁₄	COUNTER3=2
t ₁₁₅	
t ₁₁₆	COUNTER2=3
t ₁₁₇	COUNTER3=1
t ₁₁₈	

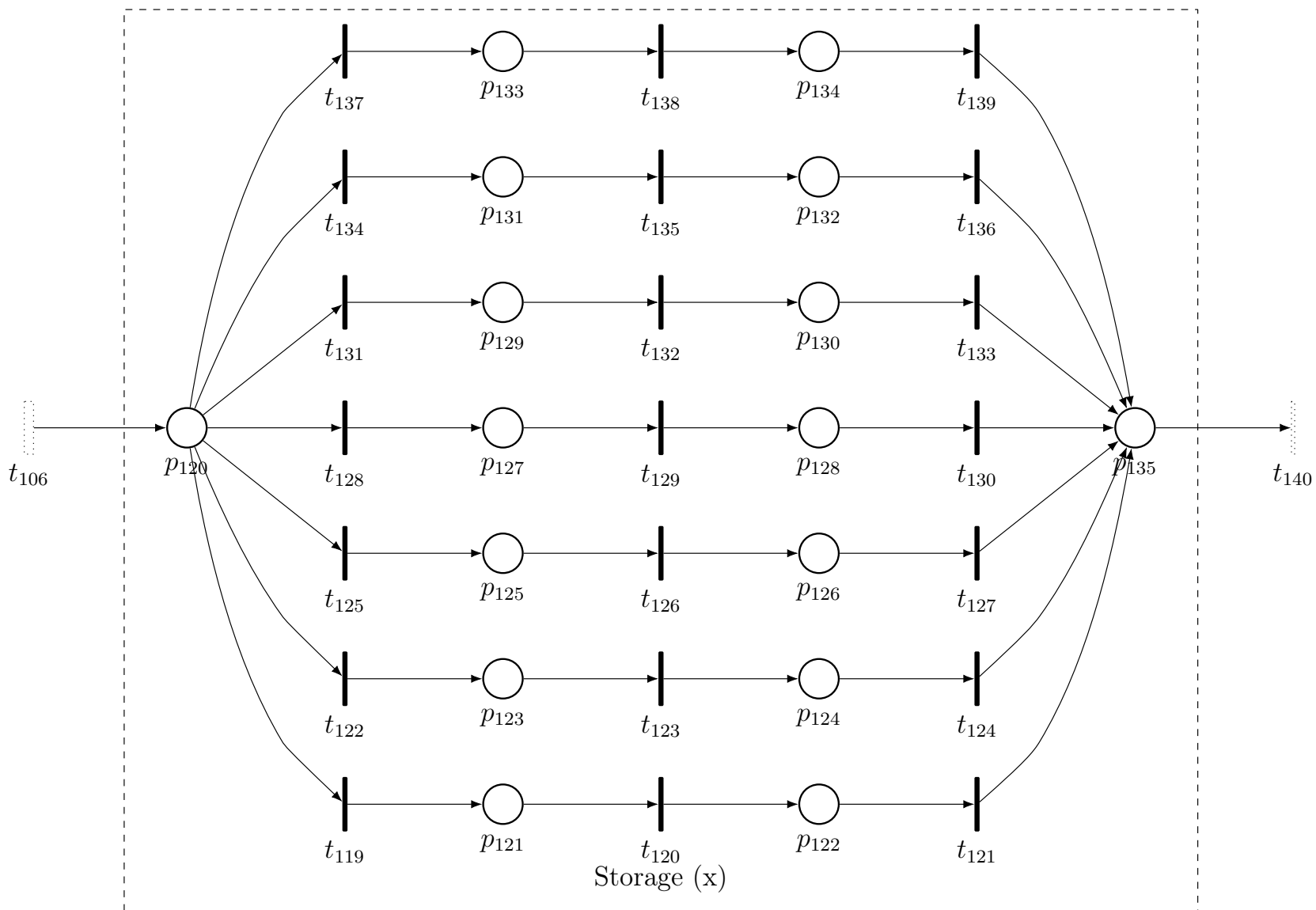


Figure 10: Petri net of storage unit positioning module (x axis).

Table 15: Lugares do Módulo armazenador (x)

p ₁₂₀	COUNTER1:=COUNTER1+1 e COUNTER4:=COUNTER4+1
p ₁₂₁	COUNTER5:=COUNTER5+1 e mover armazenador para a esquerda
p ₁₂₂	Reset COUNTER5*
p ₁₂₃	COUNTER5:=COUNTER5+1 e mover armazenador para a esquerda
p ₁₂₄	Reset COUNTER5*
p ₁₂₅	COUNTER5:=COUNTER5+1 e mover armazenador para a esquerda
p ₁₂₆	Reset COUNTER5*
p ₁₂₇	COUNTER5:=COUNTER5+1 e mover armazenador para a esquerda
p ₁₂₈	Reset COUNTER5*
p ₁₂₉	COUNTER5:=COUNTER5+1 e mover armazenador para a esquerda
p ₁₃₀	Reset COUNTER5*
p ₁₃₁	COUNTER5:=COUNTER5+1 e mover armazenador para a esquerda
p ₁₃₂	Reset COUNTER5*
p ₁₃₃	COUNTER5:=COUNTER5+1 e mover armazenador para a esquerda
p ₁₃₄	Reset COUNTER5* Reset COUNTER4* , COUNTER2:=COUNTER2+1
p ₁₃₅	

Table 16: Transições Módulo armazenador (x)

t ₁₁₉	COUNTER4=0
t ₁₂₀	COUNTER5=1
t ₁₂₁	
t ₁₂₂	COUNTER4=1
t ₁₂₃	COUNTER5=2
t ₁₂₄	
t ₁₂₅	COUNTER4=2
t ₁₂₆	COUNTER5=3
t ₁₂₇	
t ₁₂₈	COUNTER4=3
t ₁₂₉	COUNTER5=4
t ₁₃₀	
t ₁₃₁	COUNTER4=4
t ₁₃₂	COUNTER5=5
t ₁₃₃	
t ₁₃₄	COUNTER4=5
t ₁₃₅	COUNTER5=8
t ₁₃₆	
t ₁₃₇	COUNTER4=6
t ₁₃₈	COUNTER5=9
t ₁₃₉	

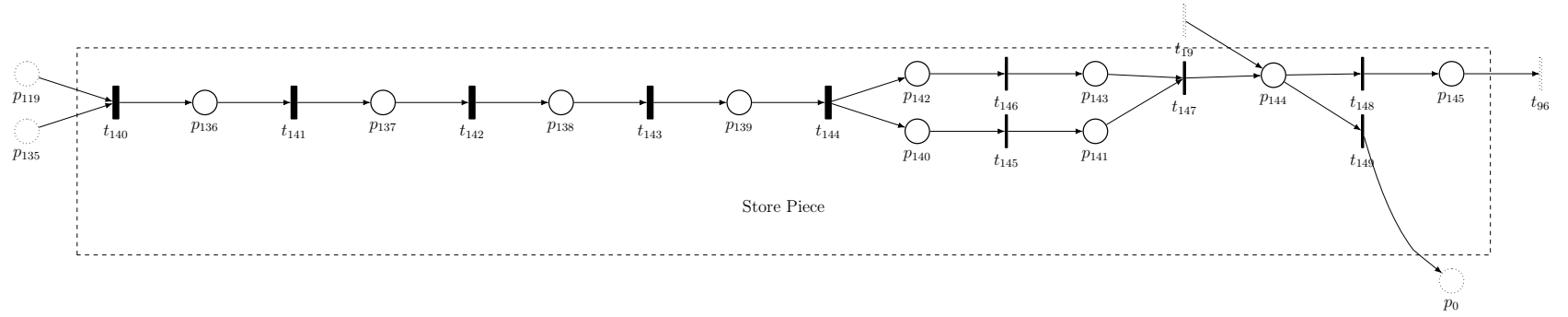


Figure 11: Petri net of cube storage module.

Table 17: Places from the cube storage module.

p ₁₃₆	Estender horizontalmente armazenador
p ₁₃₇	Estender horizontalmente armazenador e mover armazenador para baixo
p ₁₃₈	Estender horizontalmente armazenador
p ₁₃₉	Peça armazenada
p ₁₄₀	Mover armazenador para a direita
p ₁₄₁	Armazenador pronto na horizontal
p ₁₄₂	Mover armazenador para baixo
p ₁₄₃	Armazenador pronto na vertical
p ₁₄₄	
p ₁₄₅	Armazenador pronto

Table 18: Transitions from the cube storage module.

t ₁₄₀	T=2s
t ₁₄₁	T=3s
t ₁₄₂	T=0.25s
t ₁₄₃	T=3s
t ₁₄₄	T=7s
t ₁₄₅	Fim de curso direito do armazenador
t ₁₄₆	Fim de curso inferior do armazenador
t ₁₄₇	
t ₁₄₈	COUNTER1<28
t ₁₄₉	COUNTER1=28

Chapter 1

Introduction

Chapter 2

Results

Chapter 3

Conclusion

Appendix A

Complete Petri Net

