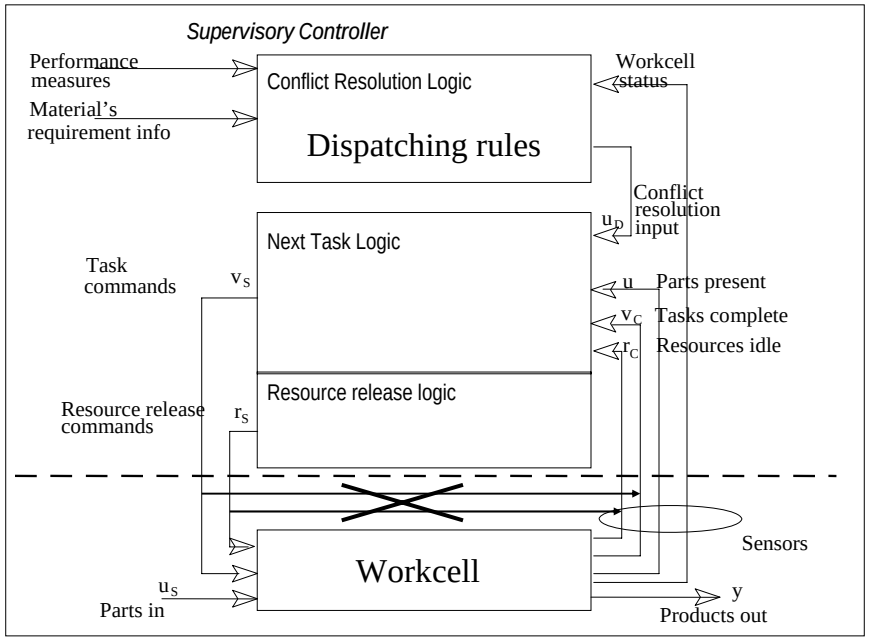
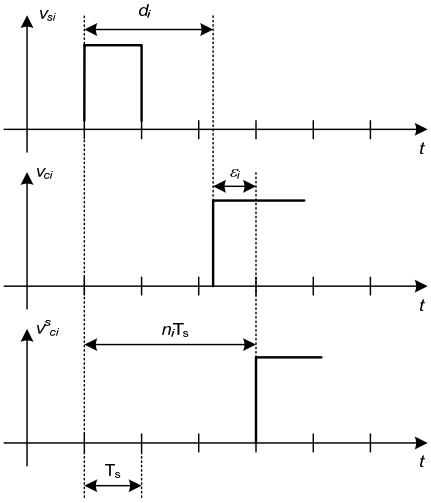
Dinamički model FPS-a

Pitanje: kako i zašto u matrični model uključiti vrijeme ?



Produženo vrijeme trajanja



$$v_{ci}(t) = v_{si}(t - d_{vi})$$

$$r_{ci}(t) = r_{si}(t - d_{ri})$$

$$n_i \mathrm{T_s} \geq d_i > (n_i - 1)\mathrm{T_s}$$

gdje je:

$$\mathrm{T_s} = \min_{i=1}^{N}(d_i)$$ minimalno vrijeme trajanja neke operacije u sustavu

$$n_i \in \mathsf{N}^+$$ **period diskretizacije**

$$v^s_{ci}(k\mathrm{T_s}) = v_{si}(k\mathrm{T_s} - d_{vi} - \varepsilon_{vi}) = v_{si}\big((k - n_{vi})\mathrm{T_s}\big)$$

$$r^s_{ci}(k\mathrm{T_s}) = r_{si}(k\mathrm{T_s} - d_{ri} - \varepsilon_{ri}) = r_{si}\big((k - n_{ri})\mathrm{T_s}\big)$$

produženo vrijeme trajanja

Dinamički model FPS-a i produženo vrijeme trajanja

$$v_{ci}^{s}(q) = q^{-n_{vi}} v_{si}(q)$$
$$r_{ci}^{s}(q) = q^{-n_{ri}} r_{si}(q)$$

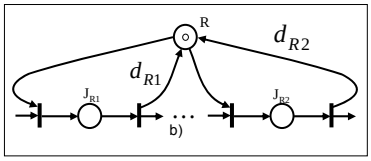
zbog jednostavnosti zapisa indeks *s* izostavljen je u daljnjem tekstu

$$\mathbf{v}_s = \mathbf{S}_v \Delta \mathbf{x}$$
$$\mathbf{r}_s = \mathbf{S}_r \Delta \mathbf{x}$$

$$\mathbf{v}_c(q) = diag[q^{-n_{vi}}]\mathbf{S}_v \mathbf{x}(q)$$
$$\mathbf{r}_c(q) = \boldsymbol{\Gamma}\, diag[q^{-n_{ri}}]\mathbf{S}_r^{*} \mathbf{x}(q)$$

Problem – višeradni resursi !

Vremena otpuštanja višeradnog resursa mogu se razlikovati.



$$\mathbf{v}_c(q) = \mathbf{T}_v(q)\mathbf{x}(q)$$
$$\mathbf{r}_c(q) = \mathbf{T}_r(q)\mathbf{x}(q)$$

Γ – matrica transformacije otpuštanja resursa

$$\mathbf{S}_r = \boldsymbol{\Gamma}\, \mathbf{S}_r^{*}$$

matrice kašnjenja (matrice vremena trajanja operacija => element "1" u ogovarajućoj matrici **S** nadomješta se odgovarajućim kašnjenjem u formi operatora *q*

Dinamički model FPS-a i produženo vrijeme trajanja

Podsjetnik: statički model => odgovara na pitanje "kako?"

$$\mathbf{v}_c(k) = \mathbf{v}_c(k-1) + \mathbf{v}_s(k) - \mathbf{F}_v^{T}\mathbf{x}(k) = \mathbf{v}_c(k-1) + \left[\mathbf{S}_v - \mathbf{F}_v^{T}\right]\mathbf{x}(k)$$

predmeti koje operacija "drži" u koraku *k*-1

predmeti nad kojima počinje obrada u koraku *k*

predmeti nad kojima je završila obrada u koraku *k*

dinamički model => odgovara na pitanje "kako i kada ?"

$$\mathbf{v}_c(q) = q^{-1}\mathbf{v}_c(q) + \mathbf{T}_v(q)\mathbf{x}(q) - \mathbf{F}_v^{T}\mathbf{x}(q)$$
$$\mathbf{r}_c(q) = q^{-1}\mathbf{r}_c(q) + \mathbf{T}_r(q)\mathbf{x}(q) - \mathbf{F}_r^{T}\mathbf{x}(q)$$

$$\bar{\mathbf{x}}(q) = \mathbf{F}\Delta q^{-1}\bar{\mathbf{m}}(q) \quad , \quad \mathbf{m}(0) = \mathbf{m}_0$$
$$\mathbf{m}(q) = q^{-1}\mathbf{m}(q) + \left[\mathbf{T}(q) - \mathbf{F}^{T}\right]\mathbf{x}(q)$$

$$\mathbf{T}(q) = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_u \\ \mathbf{T}_v(q) \\ \mathbf{T}_r(q) \\ \mathbf{S}_y \end{bmatrix}$$

Analiza dinamičkih svojstava FPS-a

- matrica čekanja G_w

$$\begin{bmatrix} \mathbf{S}_v \\ \mathbf{S}_r^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{F}_v & \mathbf{F}_r\boldsymbol{\Gamma} \end{bmatrix} diag[q^{-\eta_i}] = \mathbf{G}_W(q)$$

matrica daje vremena čekanja između operacija

- prirodni ciklusi resursa

$$\mathbf{T}_M = \left\{ \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Gamma} \cdot \mathbf{T}_v & \mathbf{T}_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \dots \\ 1 \end{bmatrix}_{n\times 1} \right\} \quad / \mathbf{P}^T\mathbf{m}_0$$

n = 2 x broj pravila;

komponente T_M definiraju vrijeme potrebno za puni ciklus resursa; dijeljenje se obavlja element po element

pravi ciklus resursa ovisi o algoritmu upravljanja i strukturi sustava

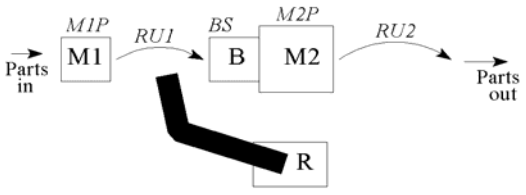
- ciklus i propusnost FPS-a

$$T_{FPS} = \max(T_M), \qquad \lambda_{FPS} = \frac{1}{T_{FPS}}$$

- iskoristivost resursa

$$\eta_M = T_M / T_{FPS}$$

Primjer:



$$\mathbf{D_v} = \begin{matrix} \text{M1P} & \text{RU1} & \text{BS} & \text{M2P} & \text{RU2} \end{matrix}$$
$$\begin{bmatrix} 7.91 & 0 & 0 & 0 & 0; \\ 0 & 2.33 & 0 & 0 & 0; \\ 0 & 0 & 2.95 & 0 & 0; \\ 0 & 0 & 0 & 10.03 & 0; \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3.54 \end{bmatrix};$$

$T_d = 1$

$$\mathbf{D_r} = \begin{matrix} \text{M1} & \text{M2} & \text{B} & \text{R} \end{matrix}$$
$$\begin{bmatrix} 1.92 & 0 & 0 & 0 & 0; \\ 0 & 1.2 & 0 & 0 & 0; \\ 0 & 0 & 2.93 & 0 & 0; \\ 0 & 0 & 0 & 4.53 & 0; \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2.97 \end{bmatrix};$$

4 resursa, a 5 operacija koje ih otpuštaju ⟶ **matrica Γ**

$$\mathbf{r} = \begin{bmatrix} \text{M1A} \\ \text{M2A} \\ \text{BA} \\ \text{RA} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{M1P} \\ \text{M2P} \\ \text{BS} \\ \text{RU1} \\ \text{RU2} \end{bmatrix}$$

Γ

Primjer:

M1P RU1 BS M2P RU2

$$diag(q^{-nvi}) = [\,z^{-8}\;\;0\;\;0\;\;0\;\;0;\;\; 0\;\;z^{-3}\;\;0\;\;0\;\;0;\;\; 0\;\;0\;\;z^{-3}\;\;0\;\;0;\;\; 0\;\;0\;\;0\;\;z^{-11}\;\;0;\;\; 0\;\;0\;\;0\;\;0\;\;z^{-4}\,];$$

$$S_v = \begin{array}{c} \begin{matrix} x1 & x2 & x3 & x4 & x5 & x6 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} M1P \\ RU1 \\ BS \\ M2P \\ RU2 \end{matrix} \end{array}$$

$$\mathbf{T}_v(q) = diag[q^{-n_{vi}}]\mathbf{S}_v$$

$$T_v(q) = \begin{array}{c} \begin{matrix} x1 & x2 & x3 & x4 & x5 & x6 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} z^{-8} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z^{-3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & z^{-3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & z^{-11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & z^{-4} & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} M1P \\ RU1 \\ BS \\ M2P \\ RU2 \end{matrix} \end{array}$$

Primjer:

M1 M2 B R

$$diag(q^{-nri}) = [z^{-2}\;\;0\;\;0\;\;0\;\;0;\;\; 0\;\;z^{-2}\;\;0\;\;0\;\;0;\;\; 0\;\;0\;\;z^{-3}\;\;0\;\;0;\;\; 0\;\;0\;\;0\;\;z^{-5}\;\;0;\;\; 0\;\;0\;\;0\;\;0\;\;z^{-3}\,];$$

$$S_r = \begin{array}{c} \begin{matrix} x1 & x2 & x3 & x4 & x5 & x6 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} M1 \\ M2 \\ B \\ R \end{matrix} \end{array} \qquad \mathbf{\Gamma} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

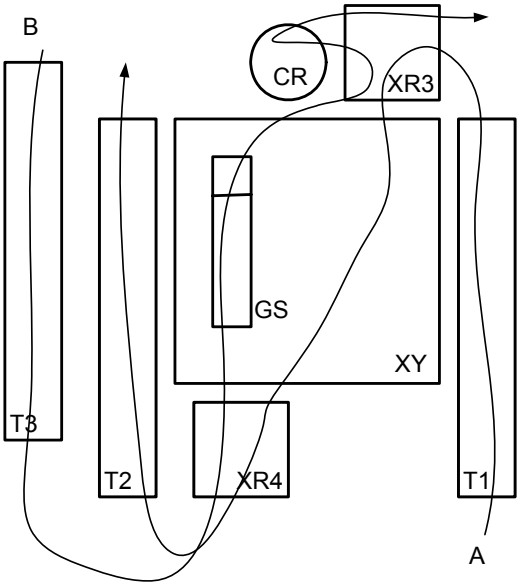
$$\mathbf{T}_r(q) = \mathbf{\Gamma} diag[q^{-n_{ri}}]\mathbf{S}_r^*$$

$$\mathbf{S}_r = \mathbf{\Gamma}\,\mathbf{S}_r^*$$

$$T_r(q) = \begin{array}{c} \begin{matrix} x1 & x2 & x3 & x4 & x5 & x6 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & z^{-2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & z^{-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & z^{-3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & z^{-5} & 0 & 0 & z^{-3} \end{bmatrix} \begin{matrix} M1 \\ M2 \\ B \\ R \end{matrix} \end{array}$$

$$S_r^* = \begin{array}{c} \begin{matrix} x1 & x2 & x3 & x4 & x5 & x6 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} M1A \\ M2A \\ BA \\ RA1 \\ RA2 \end{matrix} \end{array}$$

Primjer: realizacija upravljanja linijom za manipulaciju predmetima pomoću matričnog regulatora - drugi seminarski zadatak iz FPS-a



T1, T2 i T3 -> pokretne trake

XR3 -> robot Rhino XR3

XR4 -> robot Rhino XR4

XY -> planarni stol

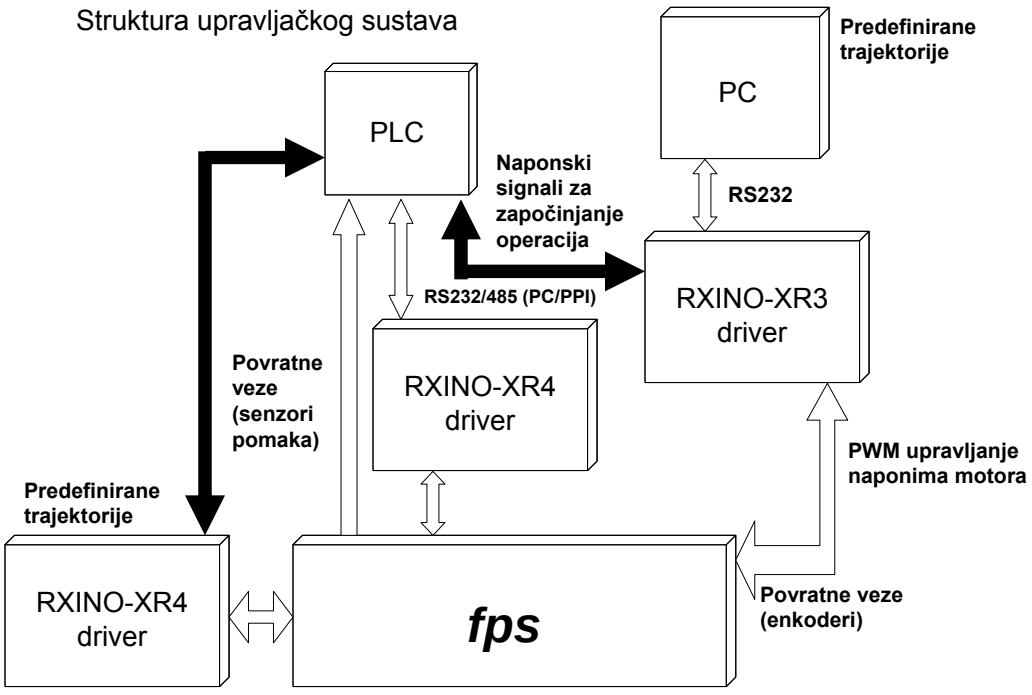
CR -> rotacioni stol

GS -> gravitacijski spremnik

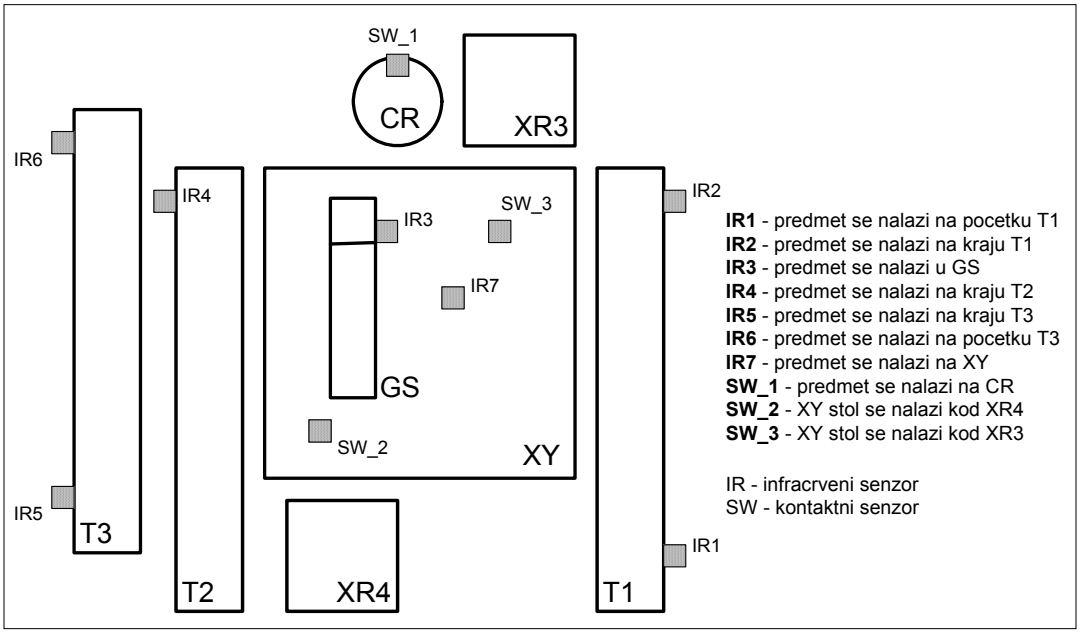
Predmet A : T1 -> XR3 -> XY -> XR4 -> T2

Predmet B : T3 -> XR4 -> GS -> XR3 -> CR -> XR3

Struktura upravljačkog sustava



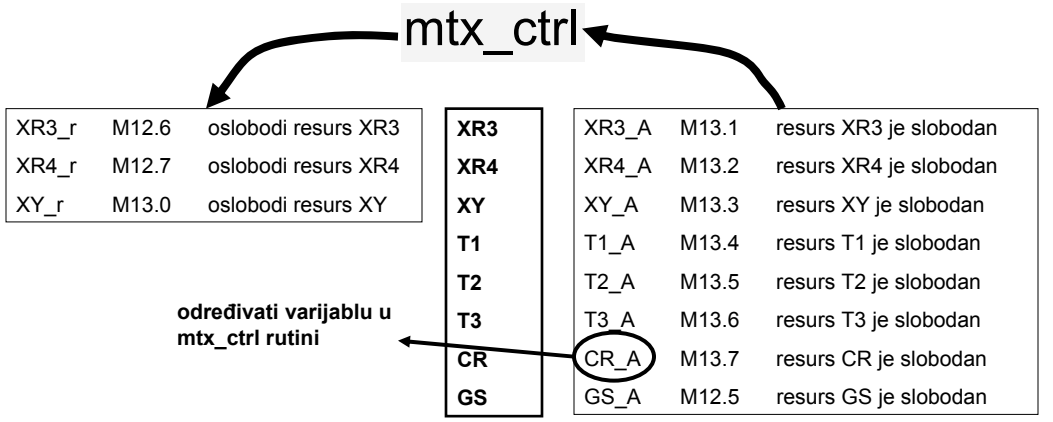
Položaj senzora



Spoj senzora, PLC-a i MARK drivera

IR1	I2.0	IR sensor - predmet se nalazi na pocetku T1
IR2	I2.1	IR sensor - predmet se nalazi na kraju T1
IR3	I2.2	IR sensor - predmet se nalazi GS
IR4	I2.3	IR sensor - predmet se nalazi na kraju T2
IR5	I2.4	IR sensor - predmet se nalazi na kraju T3
IR6	I2.5	IR sensor - predmet se nalazi na pocetku T3
SW_1	I2.6	switch - predmet se nalazi na CR
mark4_O_1	I0.0	mark 4 ctrl output 1 (stanje robota XR4)
mark4_O_2	I0.1	mark 4 ctrl output 2 (stanje robota XR4)
IR7	I0.2	IR sensor - predmet se nalazi na XY
SW_2	I0.5	XY kod XR4
SW_3	I0.6	XY kod XR3
mark3_O_1	I1.0	mark 3 ctrl output 1 (stanje robota XR3)
mark3_O_2	I1.1	mark 3 ctrl output 2 (stanje robota XR3)
mark3_O_3	I1.2	mark 3 ctrl output 3 (stanje robota XR3)
mark4_I_1	Q0.0	mark 4 ctrl input 1 - kodiranje trajektorije; nalog za izvrsavanje
mark4_I_2	Q0.1	mark 4 ctrl input 2 - kodiranje trajektorije; nalog za izvrsavanje
mark3_I_1	Q1.0	mark 3 ctrl input 1 - kodiranje trajektorije; nalog za izvrsavanje
mark3_I_2	Q1.1	mark 3 ctrl input 2 - kodiranje trajektorije; nalog za izvrsavanje
mark3_I_3	Q1.2	mark 3 ctrl input 3 - kodiranje trajektorije; nalog za izvrsavanje

Resursi i ulazi / izlazi



XR3_r	M12.6	oslobodi resurs XR3
XR4_r	M12.7	oslobodi resurs XR4
XY_r	M13.0	oslobodi resurs XY

XR3
XR4
XY
T1
T2
T3
CR
GS

XR3_A	M13.1	resurs XR3 je slobodan
XR4_A	M13.2	resurs XR4 je slobodan
XY_A	M13.3	resurs XY je slobodan
T1_A	M13.4	resurs T1 je slobodan
T2_A	M13.5	resurs T2 je slobodan
T3_A	M13.6	resurs T3 je slobodan
CR_A	M13.7	resurs CR je slobodan
GS_A	M12.5	resurs GS je slobodan

određivati varijablu u mtx_ctrl rutini

PIA	M14.0	predmet A na ulazu
PIB	M14.1	predmet B na ulazu

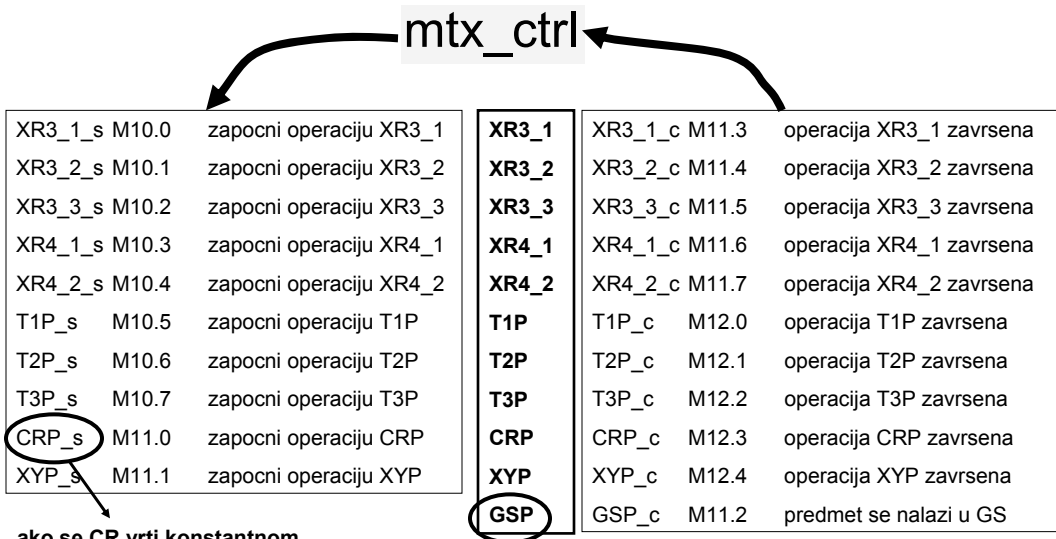
POA	predmet A se iz sustava izvlači ručno nakon što dodje na kraj trake T2 (T2P_c = 1)
POB	predmet B se iz sustava izvlači slanjem zahtjeva za otpuštanje robota XR3 nakon što je trajektorija TRJ3 završila (XR3_3_c =1)

MARK_4_2
- CR (c)
- XY (d,e)
- T1 (f)
- T2 (g)
- T3 (h)

MARK_3
- XR3 (a,b,c,d,e,f)

MARK_4_1
- XR4 (a,b,c,d,e,f)

Operacije



XR3_1_s	M10.0	zapocni operaciju XR3_1
XR3_2_s	M10.1	zapocni operaciju XR3_2
XR3_3_s	M10.2	zapocni operaciju XR3_3
XR4_1_s	M10.3	zapocni operaciju XR4_1
XR4_2_s	M10.4	zapocni operaciju XR4_2
T1P_s	M10.5	zapocni operaciju T1P
T2P_s	M10.6	zapocni operaciju T2P
T3P_s	M10.7	zapocni operaciju T3P
CRP_s	M11.0	zapocni operaciju CRP
XYP_s	M11.1	zapocni operaciju XYP

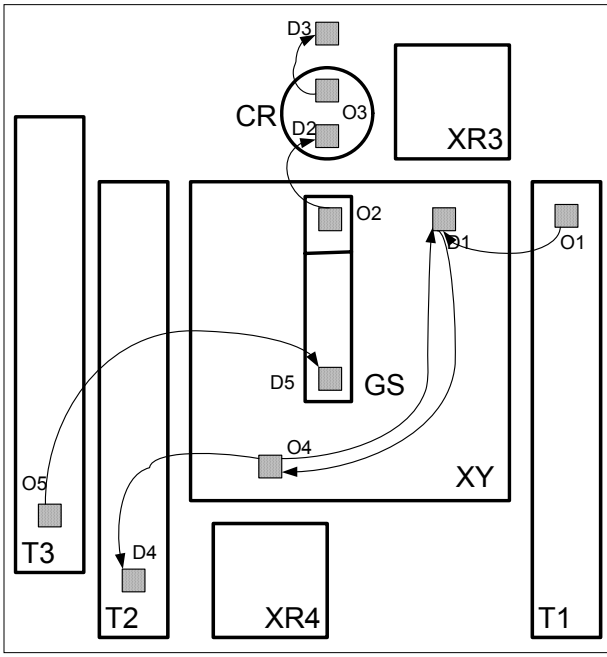
ako se CR vrti konstantnom brzinom taj se signal ne mora uključiti u matrične jednadžbe

XR3_1
XR3_2
XR3_3
XR4_1
XR4_2
T1P
T2P
T3P
CRP
XYP
GSP

XR3_1_c	M11.3	operacija XR3_1 zavrsena
XR3_2_c	M11.4	operacija XR3_2 zavrsena
XR3_3_c	M11.5	operacija XR3_3 zavrsena
XR4_1_c	M11.6	operacija XR4_1 zavrsena
XR4_2_c	M11.7	operacija XR4_2 zavrsena
T1P_c	M12.0	operacija T1P zavrsena
T2P_c	M12.1	operacija T2P zavrsena
T3P_c	M12.2	operacija T3P zavrsena
CRP_c	M12.3	operacija CRP zavrsena
XYP_c	M12.4	operacija XYP zavrsena
GSP_c	M11.2	predmet se nalazi u GS

operacija GSP je neupravljiva pa ne postoji varijabla GSP_s

Trajektorije robota i planarnog stola



XR3 trajektorije

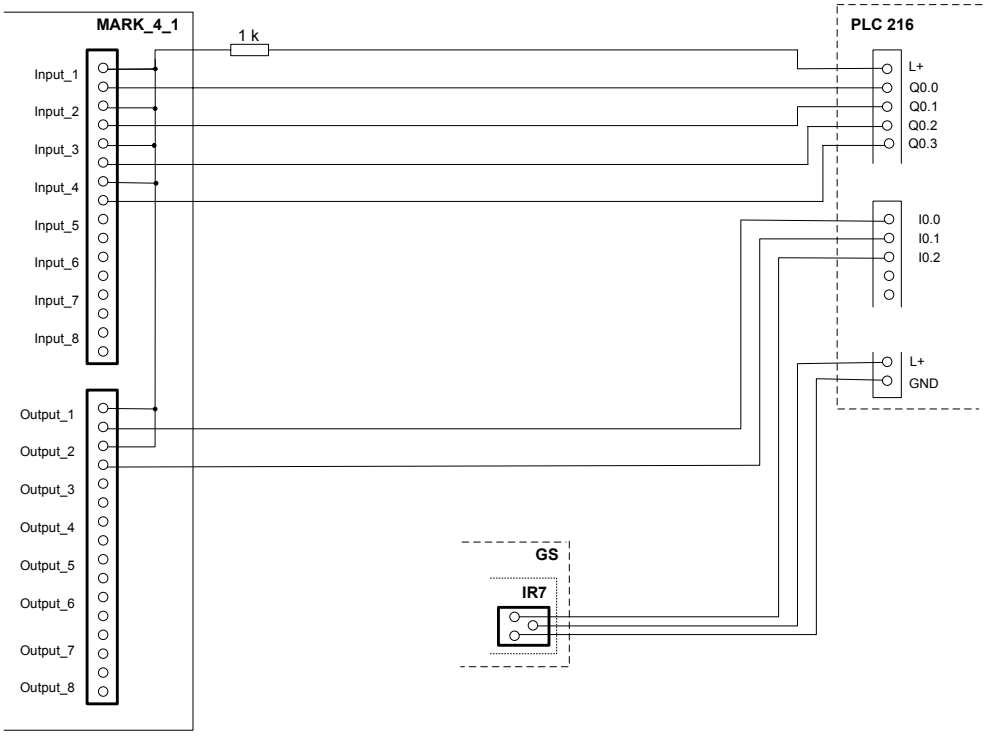
	iz PLC-a	u PLC
TRJ1 - SH -> O1 -> D1	start kod: 001	kraj kod: 001
TRJ2 - SH -> O2 -> D2	start kod: 010	kraj kod: 010
TRJ3 - SH -> O3 -> D3	start kod: 011	kraj kod: 011
TRJ4 - Dx -> SH	start kod: 111	kraj kod: 111
trajektorija u izvodenju		kod: 000

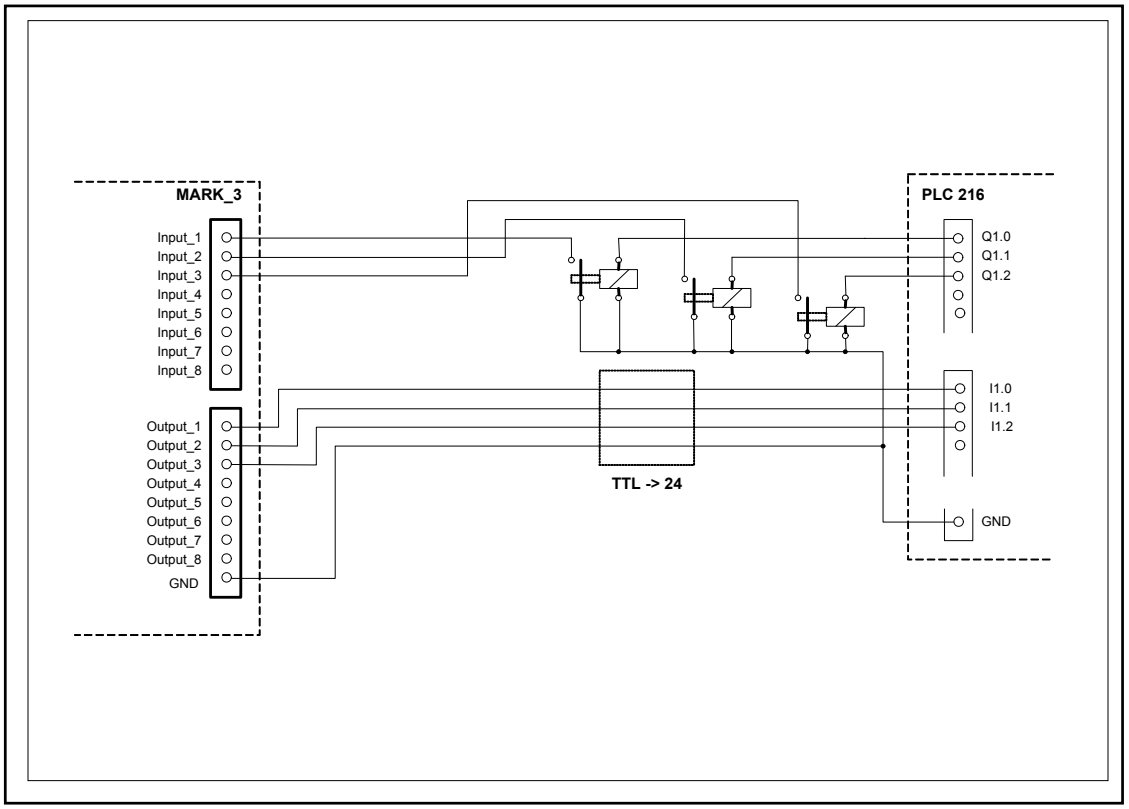
XR4 trajektorije

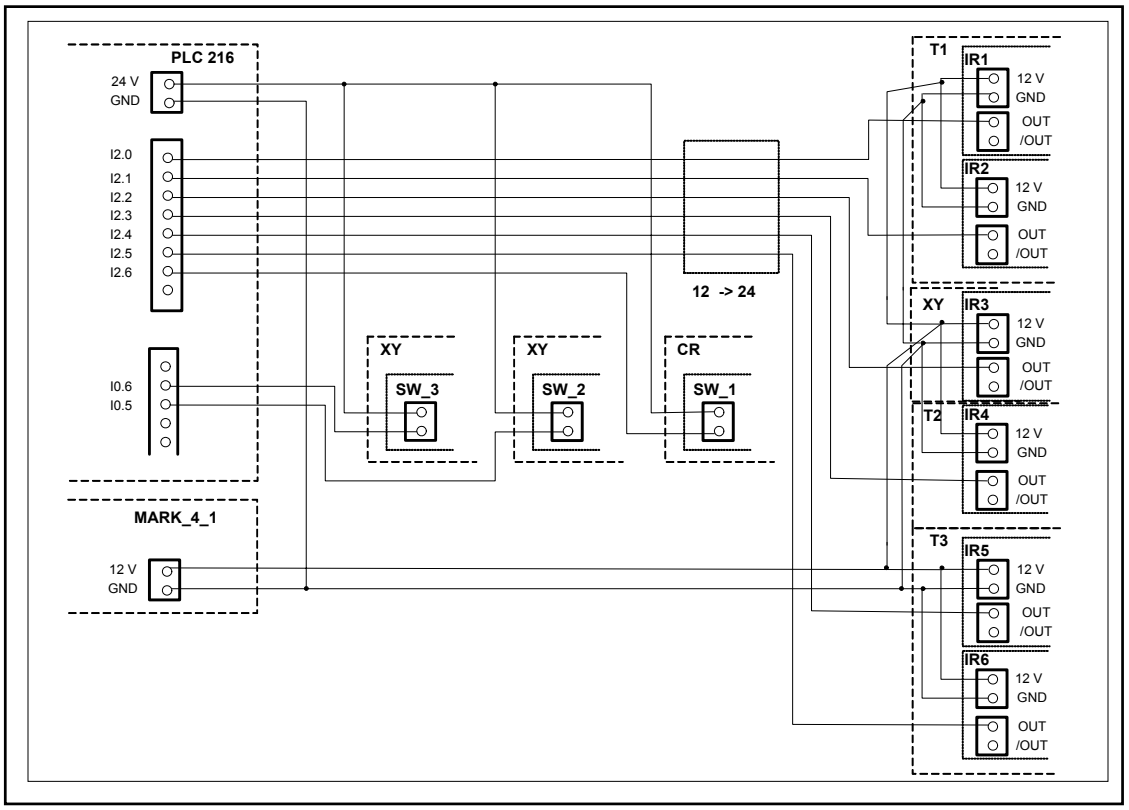
	iz PLC-a	u PLC
TRJ1 - SH -> O4 -> D4	start kod: 01	kraj kod: 01
TRJ2 - SH -> O5 -> D5	start kod: 10	kraj kod: 10
TRJ3 - Dx -> SH	start kod: 11	kraj kod: 11
trajektorija u izvodenju		kod: 00

XY trajektorije

TRJ1 - D1 -> O4
TRJ2 - O4 -> D1




MARK_3
Input_1
Input_2
Input_3
Input_4
Input_5
Input_6
Input_7
Input_8
Output_1
Output_2
Output_3
Output_4
Output_5
Output_6
Output_7
Output_8
GND
TTL -> 24
PLC 216
Q1.0
Q1.1
Q1.2
I1.0
I1.1
I1.2
GND


PLC 216
24 V
GND
I2.0
I2.1
I2.2
I2.3
I2.4
I2.5
I2.6
I0.6
I0.5
MARK_4_1
12 V
GND
12 -> 24
XY
SW_3
XY
SW_2
CR
SW_1
T1
IR1
12 V
GND
OUT
/OUT
IR2
12 V
GND
OUT
/OUT
XY
IR3
12 V
GND
OUT
/OUT
T2
IR4
12 V
GND
OUT
/OUT
T3
IR5
12 V
GND
OUT
/OUT
IR6
12 V
GND
OUT
/OUT

Pokretanje sustava i ispitivanje algoritma upravljanja

- slijediti upute pri uključivanju dijelova sustava

- provjeriti veze senzora s PLC-om

  promjena stanja senzora - > promjena stanja dig. ulaza

- provjeriti veze aktuatora s PLC-om

  zahtjev za izvršavanje operacije - > operacija pokrenuta

- algoritam upravljanja ispitivati dio po dio

  a) propustiti jedan predmet A kroz sustav

  b) propustiti jedan predmet B kroz sustav

  c) propustiti jedan predmet A i jedan predmet B kroz sustav istovremeno

  d) predmete unositi u sustav stohastički