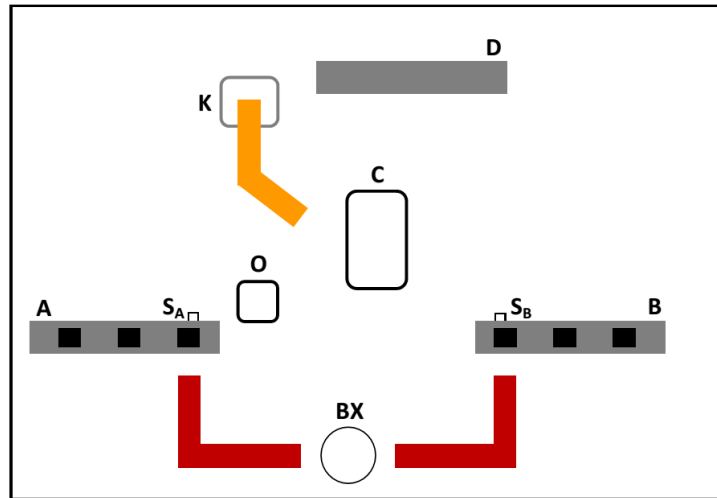


Zadaci za vježbu

1. Zadatak (DZ1, 2014./2015.)

Razmatra se sustav za sklapanje proizvoda koji se sastoji od dvoručnog **Baxter** robota i jednog **Kuka** manipulatora. Nacrt sustava prikazan je na Slici 1. U zadatku je potrebno primijeniti znanja iz modeliranja sustava max-plus algebrom kako bi donijeli odluku o dizajnu sustava i upravljanja.



Slika 1: Nacrt sustava

Opis procesa sklapanja:

Baxter lijevom rukom uzima predmet A s lijeve pokretne trake (operacija BX-A), a desnom rukom predmet B s desne pokretne trake (BX-B) te dvoručno spaja jedan A i jedan B predmet (BX-SP). Potom Baxter lijevom rukom odlaze višak u spremnik za otpad (BX-O) te se vraća u početni položaj (BX-AH), a desnom rukom odlaže spojeni predmet u spremnik C (BX-C) te se vraća u početni položaj (BX-BH). U spremniku C postoji mjesto za smještaj jednog spojenog predmeta.

Predmete iz spremnika C uzima Kuka manipulator (K-C), koji potom radi dodatnu obradu predmeta i postavlja predmet na izlaznu pokretnu traku (K-D) te se vraća u početni položaj (K-H). Pretpostavite da izvršavanje operacije (K-C) odmah nakon operacije (BX-C), i obratno, neće dovesti do sudaranja Baxtera i Kuke.

Tablica 1: Trajanje operacija [s]

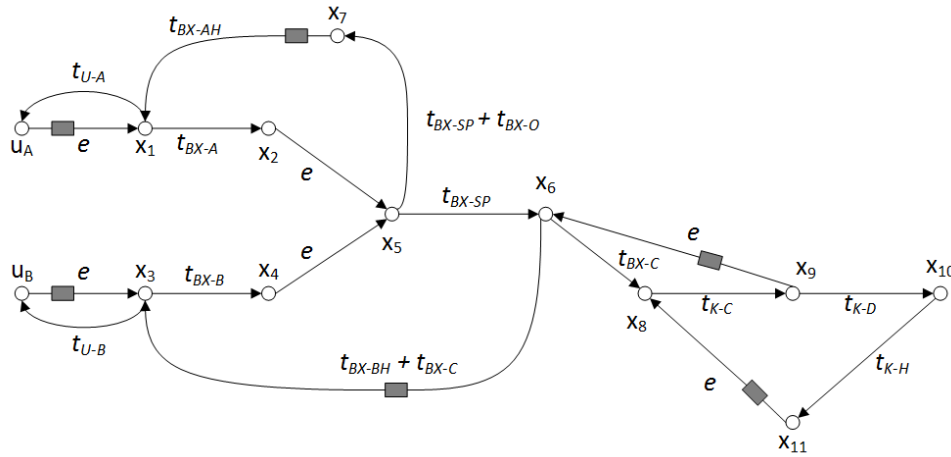
BX-A	BX-B	BX-SP	BX-O	BX-C	BX-AH	BX-BH	K-C	K-D	K-H
5	5	5	3	6	2	3	8	15	5

U početnom trenutku Baxter i Kuka nalaze se u svojim početnim pozicijama, spremnik C je prazan, a predmeti A i B nalaze se ispred S_A i S_B . Predmeti su na trakama razmaknuti 20cm, traka se kreće brzinom od 4cm/s te se zaustavlja kad predmet dođe pred senzor S_A (S_B).

- a) Odrediti max-plus model (matrice \mathbf{A}_0 , \mathbf{A}_1 , \mathbf{A} (težinska matrica susjedstva grafa sustava) te početno stanje $\mathbf{x}(0)$) ako trajanje pojedinih operacija nije specificirano i označava se kao t_{BX-A} , t_{BX-B} itd.
- b) Neka je stopa proizvodnje definirana kao broj predmeta koji izlaze iz sustava (dolaze na traku D) u jedinici vremena u stacionarnom stanju. Odrediti \mathbf{A} (max-plus matricu sustava) te stopu proizvodnje za sustav iz a) pri čemu su trajanja operacija dana u Tablici 1. Što limitira stopu proizvodnje?
- c) Neka su trajanja operacija iz Tablice 1. nepromjenjiva. Na koji se način može povećati stopa proizvodnje? Pokazati korištenjem max-plus modela.
- d) Na koji maksimalan razmak se mogu postaviti predmeti na ulazne trake, a da to ne utječe na stopu proizvodnje u odnosu na c) zadatak?

Rješenje:

- a) Graf sustava prikazan je na slici:



Slika 2: Graf sustava

Jednadžbe max-plus modela su:

$$\begin{aligned}
 u_A(k) &= t_{U-A} \otimes x_1(k) \\
 u_B(k) &= t_{U-B} \otimes x_3(k) \\
 x_1(k) &= e \otimes u_A(k-1) \oplus t_{BX-AH} \otimes x_7(k-1) \\
 x_2(k) &= t_{BX-A} \otimes x_1(k) \\
 x_3(k) &= e \otimes u_B(k-1) \oplus t_{BX-BH} \otimes t_{BX-C} \otimes x_6(k-1) \\
 x_4(k) &= t_{BX-B} \otimes x_3(k) \\
 x_5(k) &= e \otimes x_2(k) \oplus e \otimes x_4(k) \\
 x_6(k) &= t_{BX-SP} \otimes x_5(k) \oplus e \otimes x_9(k-1) \\
 x_7(k) &= t_{BX-SP} \otimes t_{BX-O} \otimes x_5(k) \\
 x_8(k) &= t_{BX-C} \otimes x_6(k) \oplus e \otimes x_{11}(k-1) \\
 x_9(k) &= t_{K-C} \otimes x_8(k) \\
 x_{10}(k) &= t_{K-D} \otimes x_9(k)
 \end{aligned}$$

$$x_{11}(k) = t_{K-H} \otimes x_{10}(k)$$

uz početne uvjete:

$$\mathbf{x} = [u_A, u_B, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}]$$

$$\mathbf{x}(0) = [e, e, \epsilon, \epsilon, \epsilon, \epsilon, \epsilon, -(t_{BX-BH} + t_{BX-C}), -t_{BX-AH}, \epsilon, e, \epsilon, e]$$

b)

$$t_{U-A} = t_{U-B} = \frac{20}{4} = 5s$$

Stopa proizvodnje jednaka je $\lambda = 28s$ i limitirana je ciklusom Kuka robota.

c)

Stopa proizvodnje može se smanjiti dodavanjem jednog Kuka robota (dodatna paleta na granu $x_{11} \rightarrow x_8$). U tom slučaju $\lambda = 19$, što odgovara ciklusu desne ruke Baxtera.

d)

$$\frac{d}{4} < 19s \Rightarrow d < 76cm$$

2. Zadatak (MI, 2014./2015.)

Robot izvodi sljedeće dvije operacije:

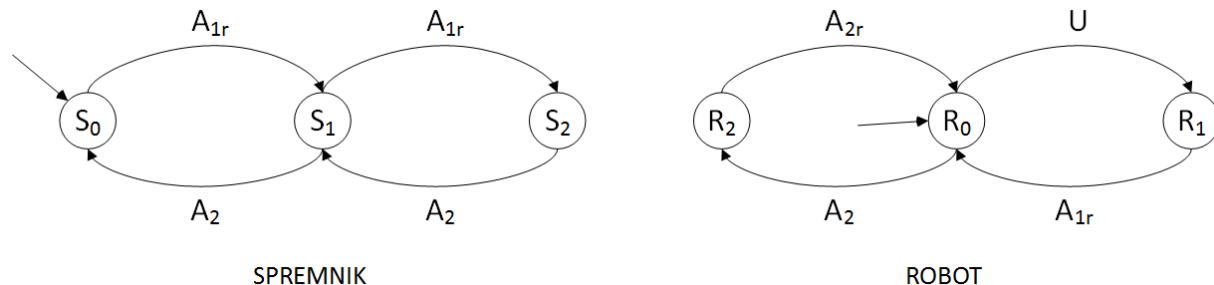
- po dolasku predmeta na ulaz sustava naredbom A_1 robot započinje prijenos predmeta u spremnik te ga nakon naredbe A_{1r} otpušta u spremnik i vraća se u početni položaj
- po primljenoj naredbi A_2 robot uzima predmet iz spremnika i započinje prijenos na izlaz. Nakon naredbe A_{2r} ispušta predmet na izlaz i vraća se u početni položaj.

Spremnik može primiti dva predmeta, puni se nakon događaja A_{1r} , a prazni nakon događaja A_2 . U početnom stanju robot je u početnom položaju, a spremnik prazan. Potrebno je:

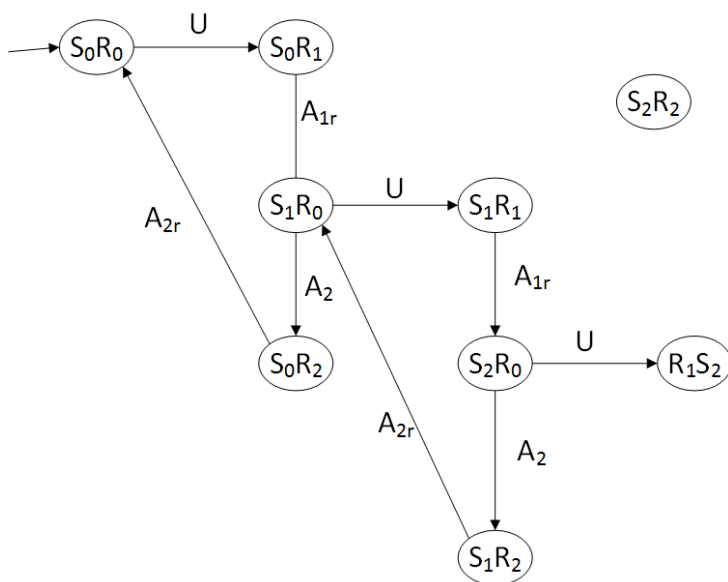
- Zasebnim automatima modelirajte robota i spremnik ako su svi događaji zadani u prethodnom opisu. Napravite automat paralele. Koje je stanje zabranjeno i zašto?
- Napravite automat s tri stanja, takav da u paraleli s automatom iz a) zadatka eliminira zabranjeno stanje.

Rješenje:

a) Zasebni automati:



Automat paralele:



Zabranjeno je stanje R_1S_2 jer sustav ne može izaći iz njega. Stanje R_2S_2 je nemoguće stanje jer se u njega ne može doći ni iz kojeg početnog stanja.

b) Potrebno je zabraniti uzimanje tri predmeta s ulaza zaredom bez pražnjenja spremnika. Automat je:

