

Miroslav B. Jocković
Zoran D. Ognjanović

Proglašen za najbolji rad u komisiji.

Laboratorija za robotiku i fleksibilnu automatizaciju
Institut "Mihajlo Pupin", Volgina 15, Beograd

PRIMER PRIMENE PETRI-MREŽE U UPRAVLJACKOM SISTEMU
FLEKSIBILNE TEHNOLOŠKE ĆELIJE

AN APPLICATION OF PETRI-NETS IN THE CONTROL SYSTEM
OF THE FLEXIBLE MANUFACTURING CELL

SADRŽAJ: Rad razmatra organizaciju najopštijeg nivoa upravljačkog sistema fleksibilne tehnološke ćelije - FTC. Uloga ovoga nivoa upravljanja se sastoji u zadavanju i praćenju osnovnih radnih aktivnosti. Metodom matricnog računa su verifikovane sve sekvence u smislu ostvarenja konkurentnosti i paralelizma. Sistem za upravljanje je spregnut sa ostalim modulima, kao i sa ekspertnim sistemom za izbor rešenja algoritama i modela upravljanja, putem formatizovanog oblika komande, dok stanja u okviru FT ćelije (roboti R1, R2 i proizvodne mašine NC) dobija preko odabranog skupa senzora. Skup statističkih pokazatelja koje na ovom nivou vodi upravljački program služi za moguću dalju optimizaciju radnih aktivnosti.

ABSTRACT: The paper deals with the organization of the most general control system for the flexible manufacturing cell - FMC. At this level, the task realized by Petri-nets model, consists of scheduling and supervision of primary working cell activities execution. Verification of all subsequences i.e., concurrency and parallelism, is carried out by matrix equations method. The control system is connected with the other modules of control system and with the expert system for choosing the algorithms from the knowledge base by the formatted command, while the status from FMC (robots R1, R2, and machine tools NC) are received by means of a subset of sensors. Some statistical indications which gives the control program at this level serve for further optimization of working activities.

1. UVOD

Petri-mreža je sredstvo pomoću koga se može matematički prikazati sistem. Pokazala se veoma pogodnom za modeliranje događaja i aktivnosti u sistemu. Posebno, za modeliranje toka informacija ili drugih resursa sistema. Analizom odgovarajućeg modela Petri-mreže se dobijaju značajne informacije o strukturi i dinamici ponašanja modeliranog sistema. Opšte gledano istraživanja Petri-mreža imaju za cilj razvoj automatskih tehnika za modeliranje

i analizu sistema, i pri tom razlikujemo dva pristupa :

1. Tehnikom modeliranja omogućava se prikaz sistema pomoću modela Petri-mreže, i
2. Tehnikom implementacije transformiše se prikaz sistema dat pomoću Petri-mreže u sistem.

Struktura i označenje Petri-mreže je definisana petorkom /3/ $M = (P, T, I, O, u)$, gde su

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ konačan skup mesta, $n \geq 0$,
 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ konačan skup prelaza, $m \geq 0$,
 ulazne funkcije I, i
 izlazne funkcije O .
 $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ konačan skup označenja mesta

Ulazne i izlazne funkcije odnose se na prelaze i mesta. Ulazna funkcija I ocrtava prelaz t_j u skupu mesta $I(t_j)$ tj., predstavlja ulazna mesta prelaza. Izlazna funkcija O ocrtava prelaz t_j u skupu mesta $O(t_j)$, tj., predstavlja izlazna mesta prelaza.

Graf Petri-mreže predstavlja bipartitni usmereni multigraf. S toga postoje dve vrste čvorova : "krugovi" i "crte" pomoću kojih su predstavljena mesta i prelazi, odnosno stanja i događaji, respektivno. Pod "označenjem" se misli na dodelu znakova (token) mestima.

Izvršenje mreže je kontrolisano brojem i distribucijom oznaka u Petri-mrezi. Mreža se izvršava aktiviranjem prelaza. Aktiviranje nekog prelaza je praćeno uklanjanjem znakova iz njegovih ulaznih mesta i generisanje novih znakova u njenim izlaznim mestima. Prelaz se može aktivirati samo ako je omogućen, tj., ako svako njegovo ulazno mesto ima najmanje toliko znakova koliko je lukova od mesta do prelaza. Aktiviranjem prelaza se u opštem slučaju menja označenje u mreži. Aktiviranje prelaza se može nastaviti toliko dugo sve dok postoji najmanje jedan "omogućen" prelaz. Kada nema više takvih prelaza izvršenje se zaustavlja.

Pri izračunavanju modela je pogodno koristiti matricni pristup. Matricna definiciona forma Petri-mreže (P, T, D-, D+) je ekvivalentna standardnoj formi i dopušta da definicija bude prikazana u termovima vektora i matrica. Ova alternativa definiše dve matrice D- i D+ kojima se prikazuju ulazne i izlazne funkcije: D- definiše ulaze u prelaze a D+ definiše izlaze iz prelaza. Svaka od matrica ima m redova (jedan za svaki prelaz) i n kolona (jednu za svako mesto).

2. MODELIRANJE POMOCU PETRI-MREŽA

Dogadjaji su akcije koje nastaju u sistemu. Pojava ovih dogadjaja je kontrolisana stanjem sistema. Stanje sistema može biti opisano kao skup uslova koji predstavljaju predikate ili logička stanja. S toga se uslovi mogu modelirati pomoću mesta, a dogadjaji pomoću prelaza. Dva dogadjaja koja nemaju medjusobnu interakciju mogu nastati nezavisno (paralelizam). Kada je sinhronizacija potrebna modeliranje je takodje lako. Petri-mreže su idealne za modeliranje sistema distribuirane kontrole sa većim brojem procesa koji se izvršavaju konkurentno u vremenu.

Druga značajna priroda mreža je njihova asinhrona priroda. Ne postoji bitna mera vremena ili toka vremena u mreži. Svojestvo vremena, sa logičke tačke gledišta, je definisano delimičnim uredjenjem nastajanja dogadjaja.

Izvršenje Petri mreže (i ponašanje sistema koga ta mreža modelira) se može shvatiti kao sekvenca diskretnih dogadjaja. Red pojave dogadjaja je dopušten osnovnom strukturom. Ovo vodi u nedeterminizam u izvršenju Petri-mreže. Ako je u nekom trenutku vremena više od jednog prelaza omogućeno, tada bilo koji od mogućih prelaza može biti "sledeći" za aktiviranje. S toga u realnim

situacijama kod Petri-mreža, tamo gde se nekoliko stvari dešava konkurentno, poredak pojave događaja nije jedinstven, već je jedan iz skupa sekvenci događaja koje mogu nastati. Međutim, parcijalno uredjenje u kome događaji nastaju je jedinstveno.

Pitanja iz ovog koncepta su u osnovi filozofska. Ona se dotiču dualnosti gledanja na univerzum, tj., na deterministički i relativistički pristup u kompleksnom razumevanju događaja. Upravo ovde se problem svodi na pitanje interpretacije pojma slučajnosti. Ova razmatranja, iako potrebna za kompletno razumevanje događaja, uvode kompleksnost u opisu i analizi dinamike ponašanja Petri-mreže. Kao pomoć u ograničavanju ove kompleksnosti je usvajanje pretpostavke da su događaji trenutni i da ne mogu nastajati istovremeno.

3. MODEL FLEKSIBILNE TEHNOLOŠKE ĆELIJE

Fleksibilna proizvodna ćelija služi za automatsku proizvodnju metalnih delova određenih dimenzija, na kojima treba izvršiti obradu glodanjem, struganjem i presovanjem. Razvoj FTC karakterišu dve strukturne promene:

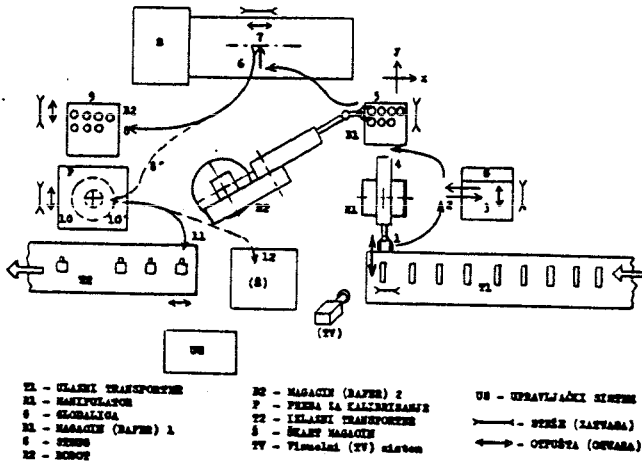
- uvećanje stepena automatizacije tehnoloških operacija, i
- bolja organizacija i tačnija finalizacija upravljačkih strategija sa ciljem uvećanja proizvodnje.

Sastavni delovi fleksibilne proizvodne ćelije dati su na sl. 1.

Rad ćelije se odvija na sledeći način:

Sirovi komadi materijala dolaze u ležištima ulaznog transportera T1 do mesta uzimanja "0" koje je definisano koračnim kretanjem. Brzina kretanja transportera je stalna. Vizuelni sistem - TV proverava oblik radnog komada i, ukoliko je asortiman mešan, evidentira mogući program obrade. Manipulator R1 čeka ispred transportera T1 u poziciji "1" i po zaustavljanju prilazi u

poziciju "0", uzima predmet hvataljkom i ponovo se povlači u poziciju "1". Potom se okreće do pozicije "2", ulazi u radni prostor glodalice NC1 do pozicije "3" i tu ostavlja radni komad.



sl. 1. Proizvodna ćelija

Nakon automatskog stezanja predmeta manipulator R1 se povlači u poziciju "2" i tu čeka da glodalica izvrši obradu predmeta. Posle završene obrade predmeta manipulator ulazi u poziciju "3" glodalice, uzima obrađeni predmet i odnosi do slobodne pozicije "4" u baferu B1. Bafer B1 je snabdeven X-Y kretanjem pomoću indeksnog stola. Robot R2 uzima radni komad iz bafera B1 i prenosi do pozicije "6" ispred struga NC2, a zatim do pozicije "7" gde se vrši komandovano hvatanje radnog komada stezačem struga. Robot se potom povlači do pozicije "6". Kada je obrada završena na strugu NC2 robot R2 uzima radni komad iz otvorenog stezača struga i prenosi ga do prese NC3 u poziciju "10". Nakon ovoga robot R2 se povlači u

poziciju "18" ispred prese. Posle obrade radnog komada na presi NC3 robot R2 uzima radni komad i prenosi do pozicije "11" na transporteru T2. Bafer E2 se koristi za privremeno odlaganje radnih komada koje je strug obradio i koji čekaju za obradu na presi. Magacin škarta šK se koristi za odlaganje neispravnih komada pri obradi na mašinama /2/.

Iako je formalno rešenje ovako postavljenog problema dosta složeno, planiranje i upravljanje proizvodnjom se može dekomponovati u mrežu podzadataka. Sa praktične tačke gledišta može se razmatrati struktura proizvodnje ili struktura procesa. Zavisno od pretpostavki pri dekompoziciji mogu se razvijati različite procedure planiranja i upravljanja. Komunikacija modela (P.M.), kao dela strategijskog nivoa upravljanja, sa taktičkim i izvršnim nivoom, kao i ekspertnim sistemom za izbor algoritama [5], se odvija slanjem formatizovanih komandi čiji je oblik

KOM M Adr1 Adr2, gde

KOM pretstavlja kod komandi, M predstavlja kod uredjaja, a Adr1 i Adr2 predstavljaju adrese.

Bliže značenje komandi je sledeće:

- <KOM> = 0 ukazuje da na upravljačkom nivou na postoji zahtev za bilokakvom aktivnošću,
- <KOM> = 1 predstavlja zahtev za započinanje neke aktivnosti robota ili mašine, gde se bliže odredjenje aktivnosti koju treba izvršiti postiže navodjenjem koda mašine i adresnih parametara komande,
- <KOM> = 2 nalaže robotu hvatanje predmeta ili stezanje predmeta ako je u pitanju NC mašina,
- <KOM> = 3 nalaže otpuštanje predmeta,
- <KOM> = 4 zaustavlja kretanje robota ili rad NC mašine,
- <KOM> = 5 aktivira ekspertni sistem za izbor rešenja algoritama i modela upravljanja,
- <KOM> = 6 aktivira kretanje adresiranog transportera.

Povratna informacija o stanju izvršenja komandi dostavlja se modelu (P.M.) preko skupa stanja senzora i skupa indikatora o završenim Aktivnostima. Prelaz u sledeće stanje je funkcija prethodnog

stanja ćelije i planiranog redosleda aktivnosti koje prestoje da budu izvršene.

Trasu rešenja predstavlja osnovna radna sekvenca . Potreba za fleksibilnošću proizvodne ćelije nalaže mogućnost analize i izvršenja podzadataka definisanih preko skupa sekvenci. Skup sekvenci obuhvata brojne regularne i neregularne podzadatke koji mogu nastati pri izvršenju proizvodnog procesa. Pod regularnim sekvencama se misli na tipizirane aktivnosti u radu ćelije. Primer za ovo su preuzimanje neispravnih komada i odnošenje u posebni magacin, pristupanje baferu B2 i uzimanje radnog komada iz njega ukoliko je presa u stanju da može prihvatiti novi predmet i slično. Neregularne sekvence se odnose na izuzetna stanja koja mogu nastati u okviru ćelije. Prevazilaženje ovih neregularnih situacija i povratak na regularan tok aktivnosti se izvršava po unapred određenom postupku. U slučajevima kada se prekida osnovna sekvenca pomoću posebne procedure se memorišu parametri prekinute sekvence, tako da se po potrebi prekinuta sekvenca može nastaviti. U mreža je uključeno 51 događaj i 54 aktivnosti.

Programsko rešenje je realizovano pretpostavljajući sekvencijalan i paralelan rad mašina NC2 i NC3 koje opslužuje robot-server R1 i rada mašine NC1 čiji je server robot R1. Dajući različite prioritete pri radu robotima i mašinama, ostvarena je osnovna strateška koncepcija koja nalaže minimalno zadržavanje radnih komada u ćeliji, odnosno maksimizaciju broja obradjenih komada.

Praćenje realnog vremena izvršenja aktivnosti u mreži, pored očekivanih vrednosti vremena trajanja, omogućava određivanje koeficijenata iskorišćenja rada mašina i robota (statistika rada

ćelije). Ovi pokazatelji služe pri planiranju procesa i resursa.

4. ZAKLJUČAK

Prevodjenje sistema iz stanja u stanje na osnovu podataka sa senzora i iz nižih nivoa upravljanja pokazalo se pomoću realizovanog modela Petri mreže pogodnim i to iz razloga:

- (a) veće opštosti modela u odnosu na sredstava koja pruža model konačnog automata,
- (b) uvođenja vremena u simulacioni postupak, pri čemu nije narušena jednostavnost aktiviranja mreže,
- (c) korišćenja modela samo za najopštije aktivnosti, i
- (d) zadovoljavajućeg opsluženja slučajnih događaja u ćeliji, i
- (e) jednostavnosti i lakoće pri radu.

Rezultati koji su dobijeni kroz postupak integracije modela Petrimreže sa ostalim modelima upravljačkog sistema fleksibilne ćelije [4] pružaju značajno iskustvo za buduću implementaciju i eksploataciju kompleksnog realnog sistema.

LITERATURA

- [1] Vukobratović M., Stokić D., Krtolica R., Jocković M., Mamula D., Devezić V., "Softverski sistem za simulaciju i upravljanje fleksibilnim tehnološkim sistemima", Institut "M. Pupin", Beograd, 1987.
- [2] Hristić D., "Simulacija fleksije ćelije", Institut "M. Pupin", 1987 (interna dokumentacija).
- [3] Peterson J., "Petri-net theory and the modeling of systems", Prentice-Hall, N.J., 1981.
- [4] Leković Dj. i Stokić D., "Programski paket za simulaciju i razvoj fleksibilnih tehnoloških sistema", ETAN, Sarajevo, 1988.
- [5] Reisig W., "Petri nets", Springer-Verlag, Berlin, 1982.
- [6] Rozenberg G.(editor), "Advances in Petri nets 1984", Springer-verlag, Berlin, 1985.
- [7] Villa A., "Hierarchical architectures for production planning and control, Advanced School on 'Operations Research Models in Flexible Manufacturing Systems', Oktober 5 - 9, Udine, Italia, 1987.