

Sistemos su asinchroniniais procesais optimizavimas taikant spalvotuosius Petri tinklus

S. Bartkevičius

Teorinės elektrotechnikos katedra, Kauno technologijos universitetas

Studentų g. 48, 51367 Kaunas, Lietuva; tel +370 37 300253. el.p. Stanislovas.Bartkevicius@ktu.lt

V. Mačerauskas, K. Šarkauskas

Valdymo technologijų katedra, Kauno technologijos universitetas

Studentų g. 48, 51367 Kaunas, Lietuva; tel +370 37 300290. el.p. Vidmantas.Macerauskas@ktu.lt, Kastytis.Sarkauskas@ktu.lt

Ivadas

Lanksčios gamybos sistemos, pavyzdžiui, elektronikos gaminių surinkimo sistemos taikomos vis plačiau. Šios sistemos ypatingos tuo, kad jas sudarančių įrenginių operacijų atlikimo laikas nėra griežtai fiksuotas – priklauso nuo gaminio tipo, nuo ruošinio savybių, nes dažnai šių įrenginių vietinės valdymo sistemos yra adaptyvios. Todėl negalima iš anksto tiksliai sinchronizuoti tokios sistemos darbo, galimos įrenginių prastovos. Šio darbo tikslas – parodyti, kaip maksimaliai panaudoti įrenginius optimizuojant robotizuotos ruošinių ir detalių transportavimo sistemos darbą. Sistema modeliuojama ir jos veikimas analizuojamas spalvotuoju Petri tinklu.

Petri tinklų taikymas gamybos sistemoms modeliuoti plačiai aptariamas [1,2,3], tačiau tai buvo nespaltoti tinklai. Spalvotieji Petri tinklai leidžia ne tik gerokai supaprastinti modelius, bet ir iš esmės apibūdina sistemos valdymo algoritmą.

Taikant Petri tinklus optimalaus valdymo uždavinys buvo sprendžiamas [4] naudojant iš dirbtinio intelekto technologijų paimtą paieškos spindulio (beam search) metodą, tačiau autorių taikytos dalinės optimumo paieškos ne užtikrina globaliojo optimumo.

[5] darbe optimizuojamas roboto manipulatoriaus laiko paskirstymo optimizavimas. Šiame darbe visas sudėtingas nespaltotas Petri tinklas suskaidomas į subtinklus ir ieškoma lokaliųjų optimumų. Tačiau lieka neįvertinta subtinklų sąveika ir gautas rezultatas yra tolimas nuo sistemos optimalaus režimo.

[6] darbe naudojamas euristinis metodas, kuriuo nagrinėjamas Petri tinklo veikos rezultatas – žymėjimų medis, siekiant sudaryti jame ciklą. Tačiau šis metodas negarantuoja [7] darbe suformuluotų priimtinių sąlygų.

[8] darbe nagrinėjamas sistemos modelis su stochastiniu Petri tinklu. Modeliuojant ieškoma netipinių situacijų – gedimų ir pan. įtakos sumažinimo būdų formuluojant taisykles, leidžiančias išspręsti konfliktus pereigose. Pasiūlytas metodas smarkiai apriboja sistemos lankstumą.

Yra darbų, kuriuose jau taikomi aukšto lygio Petri tinklai. Antai [9] darbe nagrinėjamas gamybos sistemų modeliavimas aukšto lygio Petri tinklais, o [10] analizuojama konkuruojančių procesų sąveika, tačiau optimizavimo klausimai lieka neaptarti.

Funkcionavimo valdymas su pertraukimais

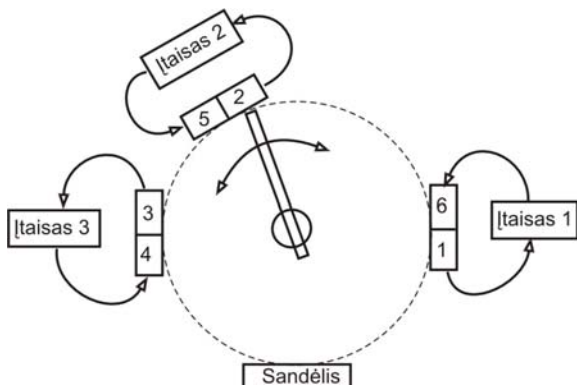
Tradicinės procesorinės valdymo sistemos turi du valdymo programų vykdymo būdus. Pirmasis pagrįstas apklausos principu, kai sistemoje dalyvaujantys įtaisai eilės tvarka yra apklausiami ir jei įtaisas yra pasiruošęs, valdymo programa sąveikauja su tuo įtaisu. Labai dažnai apklausos eilę nustato technologinis procesas. Šis valdymo būdas nėra efektyvus, procesorinė valdymo sistema iki galo neišnaudojama, labai dažnai tokioje sistemoje procesorius veikia nuolatiniu apklausos režimu, ir jokių operacijų nevykdo.

Antrasis valdymo principas yra pagrįstas vadinamuoju pertraukimų režimu. Procesorinės sistemos turi pertraukimų mechanizmą, kuris funkcionuoja lygiagrečiai su procesoriumi, ir tiesiog valdo valdymo programą. Šiam valdymo būdai yra būdingi įtaisų prioritetai. Aukštesnį prioritetą turintis įtaisas, pertraukia žemesnio įtaiso valdymo programą, įkelia ją į steką ir, baigęs funkcionuoti, toliau vykdo pertrauktą programą.

Abiem valdymo režimams yra naudojamas „paklausimo – atsakymo“ servisas. Pirmajam apklausimas atliekamas programiškai, antrajam – naudojamas specialus pertraukimų aptarnavimo mechanizmas.

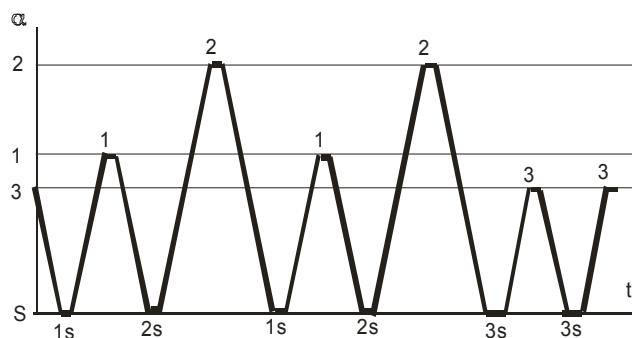
Panagrinėsime technologinį mazgą, susidedantį iš trijų įtaisų, kuriuos aptarnauja manipulatorius, atnešdamas ruošinius iš sandėlio ir nunešdamas įtaisuose apdorotas detales į sandėlį. Manipulatorius gali judėti į abi puses. Įtaisiai turi du dėklus: vieną ruošiniui, o kitą apdorotai detalei. Įtaisiai paima iš dėklo detalę, perkelia ją į darbo zoną ir apdoroja. Apdorota detalė įdedama į kitą dėklą, o įtaisas ima iš ruošinio dėklo ruošinį ir jį apdoroja. Manipulatorius užduotis – kad ruošinio dėkle visuomet būtų ruošinys, o apdorotos detalės dėklas visuomet būtų tuščias.

Jei tai optimalaus valdymo sistema, tai įtaisų darbo proceso valdymo sistema paprastai būna adaptyvi, optimaliai apdorojanti detalę pagal kokį nors parametą. Taigi detalės apdorojimo įtaise laikas yra kintamas. Automatiškai kyla tokia problema: jei įtaisų darbas optimaliai valdomas, belieka taip pat optimaliai valdyti manipulatorius darbą, kad įtaisai būtų aptarnaujami laiku. Tokio aprašyto mazgo pavyzdys pateiktas 1 paveiksle.



1 pav. Trijų įtaisų, sandėlio ir manipulatorius išdėstymo schema: Įtaisas1 – apdorojimo procesas vyksta ilgiausiai (aukščiausias prioritetas). Įtaisas3 – apdorojimo procesas vyksta trumpiausiai (žemiausias prioritetas). 1,2,3 – ruošinio dėklai, turintys prioritetus mažėjimo tvarka, 4,5,6 – detalės dėklai, turintys prioritetus mažėjimo tvarka

Gamybinių įtaisų darbo ir roboto aptarnavimo laikai parinkti taip, kad jie dirbtų be prastovų. Dirbant tradiciniu pertraukimų aptarnavimo mechanizmu, sistemos funkcionavimas pradedant darbą pavaizduotas 2 paveiksle. Pirmiausia aptarnaujamas aukščiausių (1) prioritetą turintis pertraukimas, o paskui kitas (2). Kol aptarnaujamas antrasis pertraukimas, vėl atsiranda pirmasis pertraukimas ir, baigus aptarnauti antrąjį prioritetą, vėl aptarnaujamas pirmas ir t. t.



2 pav. Trijų įtaisų įdėklų aptarnavimas pertraukimų su prioritetais režimu sistemai pradedant darbą: 1 – aukščiausias prioritetas, 3 – žemiausias

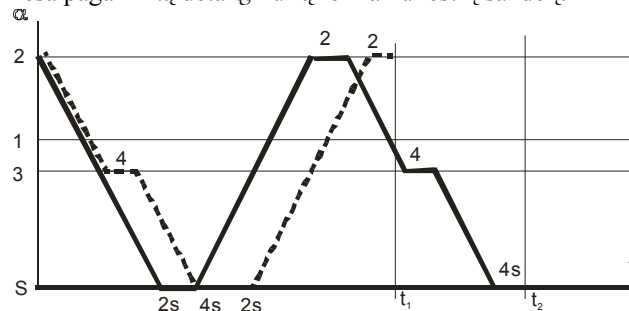
Pateiktam įrenginiui su aprašytu funkcionavimo algoritmu sudarytas modelis (4 pav.) su spalvotaisiais Petri tinklais ir sumodeliuotas jo funkcionavimas (5 pav.). Petri tinklo elementai 1-8, 9-16 ir 17-24 modeliuoja įtaisus, robotas su sandėliu modeliuojamas 26-42 elementais. Modelio dalį, nustatančią vykdymo kelius, nuo buvusio ir esamo pertraukimų, sudaro elementai nuo 43 iki 54. Įtaisų funkcionavimo trukmių santykis 1,94:1,68:1. Modeliavimo rezultatai gerokai skiriasi nuo pradinio santykio – 3,86:2,43:1. Tokia situacija susidaro todėl, kad robotas,

valdydamas šį procesą, nors prioritetą turi lėtesnis procesas, nesugeba tinkamai aptarnauti sistemos. Modeliavimo rezultatai pateikti 5 paveiksle. Matome, kad robotas funkcionuoja be sustojimo (8 diagrama), išskyrus pradinį momentą, kol patenkina įrenginių poreikius ir laukia, kol bus pagamintas pirmasis gaminys. Diagramos 7, 15 ir 23 rodo, kad robotas nebespėja laiku aptarnauti visų įrenginių ir jie daugiau ar mažiau prastovi laukdami aptarnavimo. Iš viso per pasirinktą sistemos funkcionavimo laiką pagaminta 51 detalė (27:17:7). Pagal laiką, kurio reikia pagaminti detalę, ilgiausiai gaminamų detalių turėtų būti dvigubai mažiau nei gaminamų greičiausiai, tačiau šiuo atveju santykis, šių gaminamų detalių, vietoj 2:1 yra 4:1.

Optimizavimo galimybių paieška

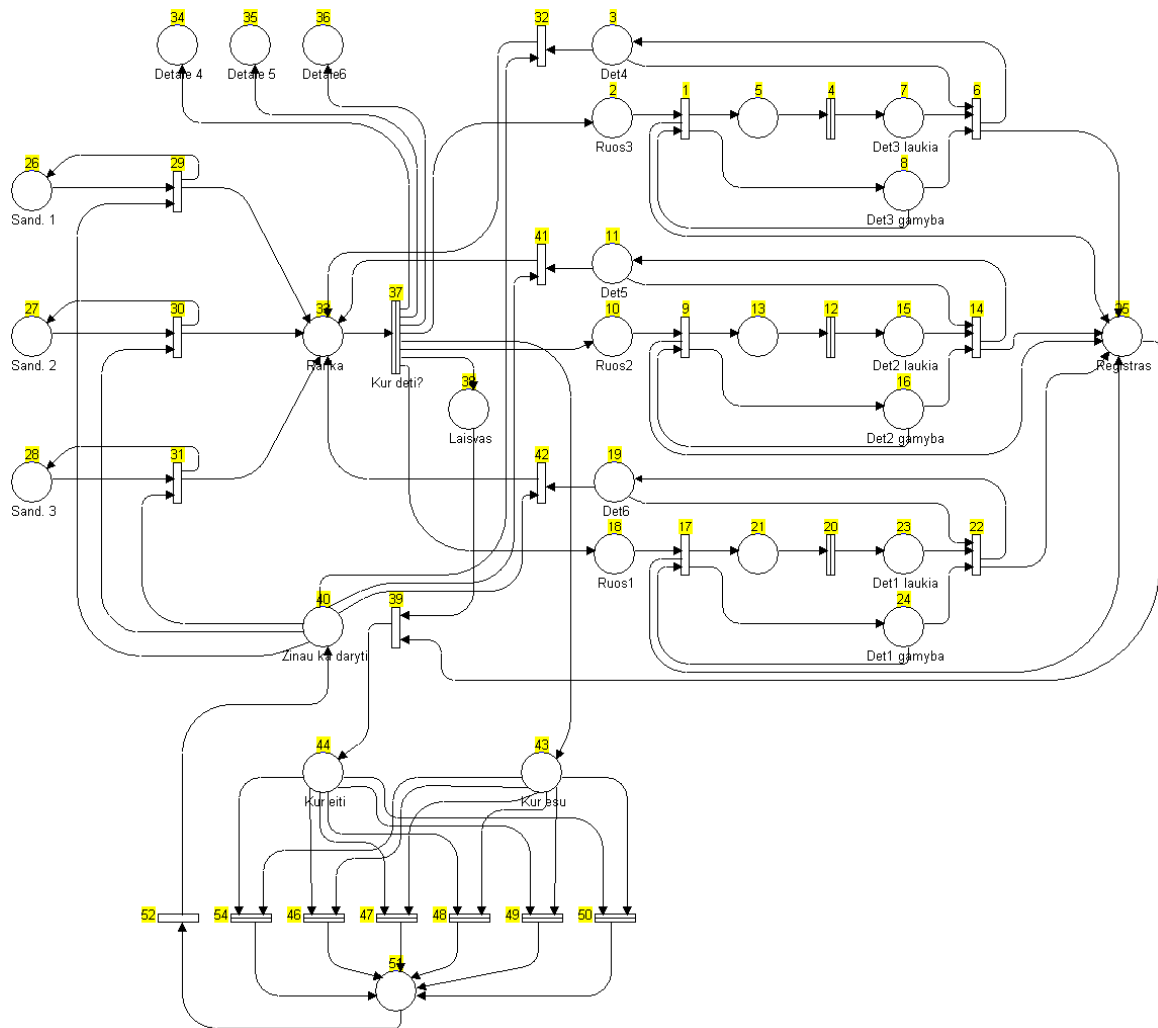
Komponuojant automatizuotą gamybinę liniją, įrenginiai parenkami tuo principu, kad jų visų funkcionavimas būtų nepertraukiamas. Tai savaime aišku, nes įrenginiai, kurių funkcionavimą stengiamasi visiškai automatizuoti, yra brangūs, tad jie turi būti maksimaliai išnaudojami. Mūsų paminėtu atveju galima parinkti greičiau funkcionuojantį robotą ar skirti jam aptarnauti mažiau darbo vietų, tačiau abiem atvejais auga sistemos kaina. Tačiau ir tai negelbsti situacijos, jei darbo vietose procesai yra optimizuojami ar adaptyvūs (mikroscheminių įtaisų gamyba, metalo apdirbimo procesai ir pan.). Toks įrenginių funkcionavimas nebeleidžia sinchronizuoti darbo procesų, o turi bendro pavidalo užduotį, užtikrinti kiek galint ekonomišką sistemos funkcionavimą, išlaikant technologiškai nustatytą veiksmų ar operacijų seką.

Situacijose, kurios susidaro aptarnaujant asinchroninius procesus, būna momentų, kada robotas, važiuodamas tuščias, galėtų aptarnauti tarpinį procesą, tam papildomai negaišdamas daug laiko, tačiau valdymo algoritmas to neleidžia. Viena iš galimų situacijų yra tokia: robotas pradinėje padėtyje yra antroje pozicijoje (1 paveikslas), įrenginiui (Įtaisas2) paėmus ruošinį iš antros pozicijos, robotas gauna komandą iš sandėlio pristatyti į šią poziciją kitą ruošinį. Tuo pat metu įrenginys (Įtaisas 3) į 4-ąją poziciją atneša pagamintą detalę, kurią reikia nunešti į sandėlį.

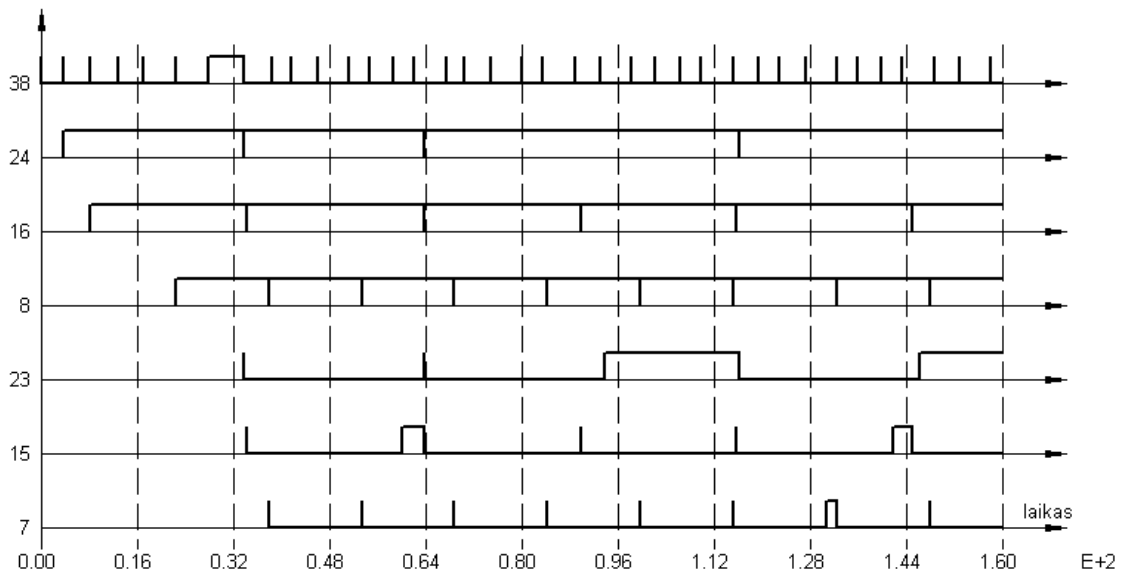


3 pav. Procesų 2 ir 4 aptarnavimo variantai, kai ruošiniai imami iš sandėlio, o detalės gabenamos į sandėlį. Pirmiausia atsirado pertraukimas 2, o vėliau pertraukimas 4. Ištinė linija pavaizduotas tradicinis valdymas pertraukimų režimu, punktyrinė – galimas valdymas optimizuojant sistemą

Kadangi pirmoji užduotis yra aukštesnio prioriteto, robotas vykdys veiksmus, kaip pavaizduota 3 paveiksle ištinė linija, tačiau kur kas racionalių veiksmų seka būtų, jei robotas vykdytų operacijas kita seka, kaip rodo 5 paveiksle punktyrinė linija.



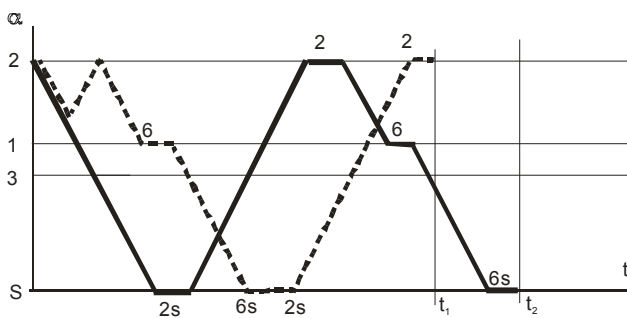
4 pav. Trijų įtaisų su adaptyviais valdymo procesais darbą aptarnaujančio roboto veiklos valdymas klasikiniu pertraukimus aptarnaujančiu mechanizmu. Modelį galime suskirstyti į tris stambias sritis. Apatinė dalis – pertraukimus aptarnaujanti klasikinio valdymo sistema. Dešinioji dalis – įtaisai su savo funkcionavimo logika, formuojantys pertraukimus į registrą. Kairioji dalis – robotas su sandėlio pozicijomis



5 pav. Trijų įtaisų su adaptyviais valdymo procesais darbą aptarnaujančio roboto veiklos valdymas klasikiniu pertraukimus aptarnaujančiu mechanizmu. 7 – pirmą detalę pagaminta laukia transportavimo, 15 – antrą detalę pagaminta laukia transportavimo, 23 – trečia detalę pagaminta laukia transportavimo, 38 – transportavimo roboto užimtumas, 8, 16 ir 24 - atitinkamo įtaiso užimtumas

Šiuo atveju robotas, tuščias eidamas per 4-ąją poziciją, paima gaminį iš jos, nuneša į sandėlį, o iš čia paėmęs ruošinį nuneša į 2-ąją poziciją. Aiškiai matome, kada vykdant operacijas tokia seka gaunama laiko ekonomija.

Dar labiau nuo klasikinio pertraukimo režimo besiskiriantį valdymą gauname tada, kai, robotui tuščiam vykdant užduotį „paimti ruošinį ir nugabenti į įrenginį“, įvyksta pertraukimas, turintis žemesnį prioritetą, prašantis pagamintą gaminį nunešti į sandėlį. Sprendimo būdai yra du. Pirmas – kai į šį pertraukimą nereaguojama, o jis įtraukiamas į bendrą eilę ir bus aptarnautas vėliau, nebūtinai iš karto, po jau dabar vykdomos operacijos. Antras – kai bet kuriuo atveju vykdomas naujasis pertraukimas, net jei robotui gali tekti ir reversuoti. Abiem nagrinėtais atvejais vykstantys procesai pavaizduoti 6 paveiksle. Ištiesine linija pavaizduotas procesas, kai jau pradėta operacija vykdoma iki galo, o punktyrine linija – jei pakeliui įvykdoma ir žemesnį prioritetą turinti operacija.



6 pav. Procesų 2 ir 6 aptarnavimo variantai, kai ruošiniai imami iš sandėlio, o detalės gabenamos į sandėlį. Pirmiausia atsirado pertraukimas 2, o vėliau pertraukimas 6. Ištiesine linija pavaizduotas tradicinis valdymas pertraukimų režimu, punktyrine – galimas valdymas optimizuojant sistemą

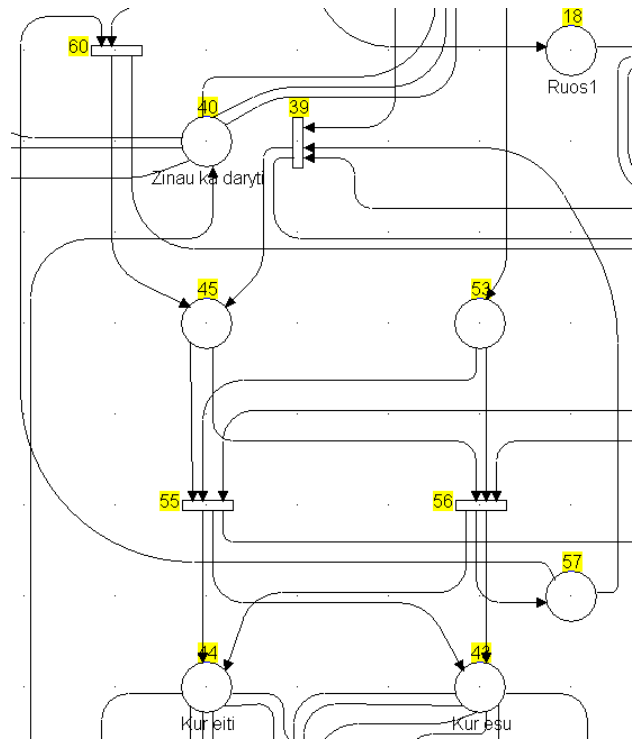
Šioms situacijoms realizuoti, modelis papildytas scheminiu fragmentu, analizuojančiu susidariusias pertraukimų situacijas, ir priimančiu sprendimus tolesniems veiksmams vykdyti (7 pav.).

Tolesnio funkcionavimo algoritmas yra toks: analizuojama situacija ir jei nustatoma, kad tikslinga vykdyti kitą operaciją, pradžioje išrinkta ar net pradėta vykdyti operacija keičiama nauja. Nuo šios vietos tolesni sprendimai gali būti dvejopi, atsižvelgiant į tai, ką norima daryti su buvusiu pertraukimu:

- a) senasis pertraukimas vėl pastatomas į eilę ir laukia aptarnavimo pagal bendrus prioritetus;
- b) senasis pertraukimas atsimenamas ir bus vykdomas turintis aukščiausią prioritetą, nekreipiant dėmesio į naujas situacijas.

Pateiktame modelio papildyme (7 pav.) 53 pozicijoje yra užfiksuotas paskutinis vykdytas pertraukimas, kas rodo, kur dabar yra robotas, o 45 pozicijoje fiksuojamas pertraukimas, kuris turi būti vykdomas dabar. Pereigos 55 ir 56 analizuoja ar yra tokia pertraukimų situacija, kad pasirinktą procesą būtų galima pakeitima kitu. Jei tokios situacijos nėra, 43 ir 44 pozicijose atsiranda ta pati situacija, kaip ir 53 ir 45 pozicijose, o jei tokia situacija galima, į 44 poziciją siunčiamas naujai išrinktos operacijos požymis, o atšauktos operacijos požymis fiksuojamas 57

pozicijoje. Kitos užduoties išrinkimo metu šis požymis per 60 pereigą yra siunčiamas į 40 poziciją, kur paskirtomi veiksmai, ką daryti su dabar suatvintu pertraukimu, tuo pat metu uždraudžiant per pereigą 39 esamų pertraukimų galimų situacijų analizę 55 ir 56 pereigose.

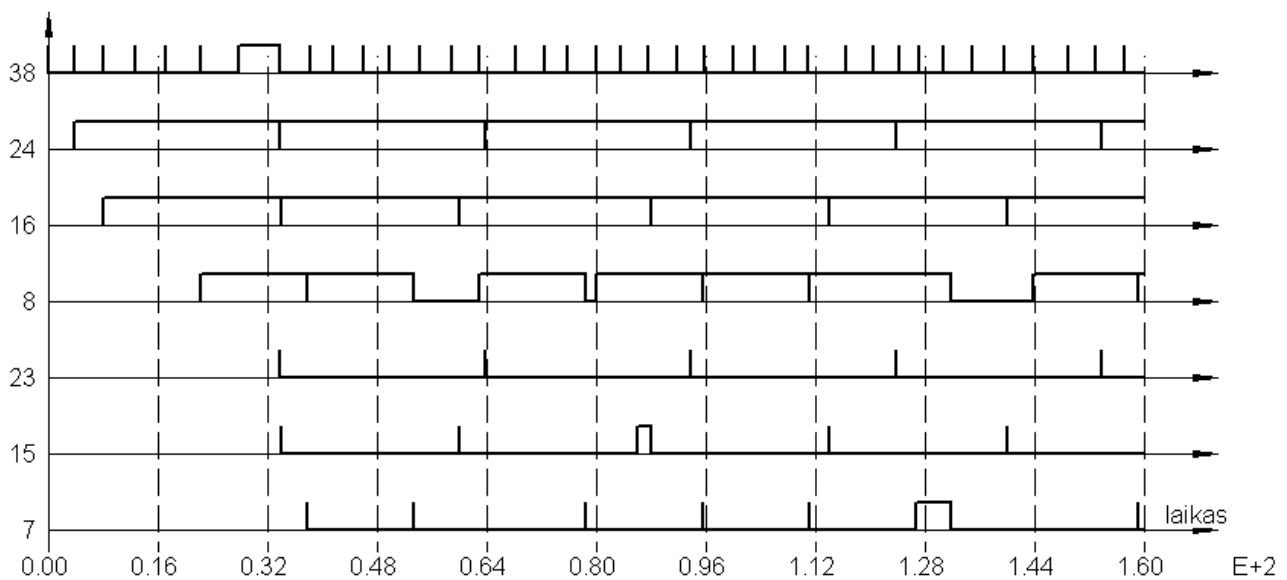


7 pav. Trijų adaptyviai valdomų įtaisų darbą aptarnaujančio roboto valdymo su pertraukimais, optimizuojant roboto darbą, modelio schemas papildymas fragmentu, analizuojančiu iškilusias situacijas ir priimančiu sprendimą

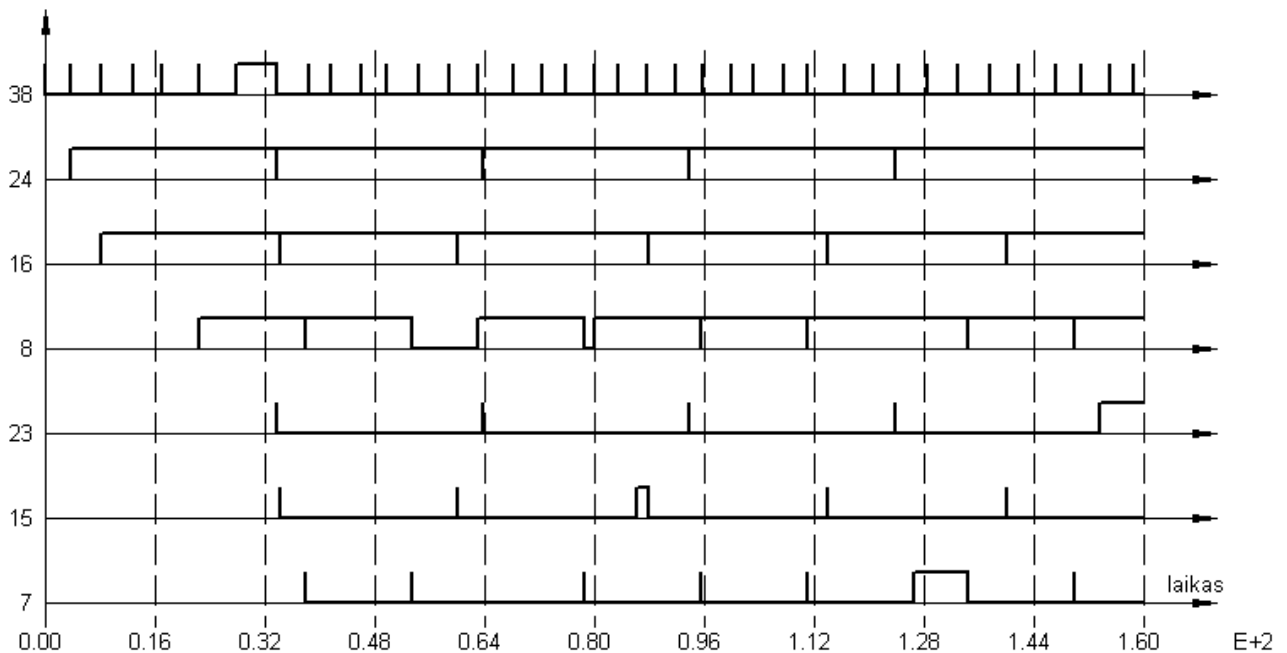
Pateiktas modelio fragmentas naudojamas tuo atveju, kai atšauktasis pertraukimas vykdomas po to, toliau neanalizuojant eilės, o atvejui, kai atšauktas pertraukimas vėl statomas į bendrą eilę, požymis turi būti siunčiamas ne į 57 poziciją, o į poziciją, kurioje yra saugojami visi pertraukimų požymiai. Modeliavimo rezultatai abiem atvejais pateikti atitinkamai 8 ir 9 paveiksluose.

Abiem atvejais gerokai pasikeičia galutiniai modeliavimo rezultatai, prisiminus, kad įtaisų funkcionavimo trukmių santykis 1,94:1,68:1. Šiuo atveju, kai atšauktas pertraukimas grąžinamas į bendrą eilę, šis santykis yra 1,13:1,06:1 atitinkamai gaminių (23:17:16, iš viso 56), o kai vykdomas tuoj pat po jį atšaukusio pertraukimo – (1,6:1,13:1, iš viso 56). Visais atvejais robotas funkcionuoja visu pajėgumu (be pauzių), tad aišku, kad klasikinio atveju turime blogiau organizuotą darbą, įrenginiai prastovi dėl to, kad laiku pagaminti gaminiai negabenami į sandėlį, kitais dviem atvejais prastovos gaunamos įvairiai, tačiau tomis pačiomis sąnaudomis pagaminama daugiau produkcijos.

Įdomiausia yra tai, kad transportavimo robotas funkcionuoja su tais pačiais ištekliais, tiksliai priklausomai nuo jo darbo organizavimo pakinta jo aptarnaujamų gamybinių įtaisų panaudojimo koeficientas. Iš pateiktų modeliavimo diagramų matome, kad robotas prastovi tik pradinio momentu, kai visi ruošiniai buvo pristatyti į darbo vietas, o nė vieno gaminio dar nebuvo pagaminta.



8 pav. Trijų adaptyviai valdomų įtaisų darbą aptarnaujančio roboto veiklos valdymas, kai atšauktas pertraukimas grąžinamas į bendrą eilę: 7 – pirmą detalę pagaminta laukia transportavimo, 15 – antra detalė pagaminta laukia transportavimo, 23 – trečia detalė pagaminta laukia transportavimo, 38 – transportavimo roboto užimtumas, 8, 16 ir 24 - atitinkamo įtaiso užimtumas



9 pav. Trijų įtaisų su adaptyviais valdymo procesais darbą aptarnaujančio roboto veiklos valdymas, kai atšauktas pertraukimas vykdomas tuoj pat po jį atšaukusio pertraukimo. 7 – pirmą detalę pagaminta laukia transportavimo, 15 – antra detalė pagaminta laukia transportavimo, 23 – trečia detalė pagaminta laukia transportavimo, 38 – transportavimo roboto užimtumas, 8, 16 ir 24 atitinkamo įtaiso užimtumas.

Išvados

Straipsnyje nagrinėjama, kaip pasiekti, kad valdymas būtų efektyvesnis. Modeliavimo rezultatai parodė, kad net vykdant pertraukimą, būtina analizuoti ir įvertinti naujai atsiradusio pertraukimo sukeltą situaciją ir priimti naują veiklos programą, atšaukiant jau vykdomą operaciją ar ją tęsti toliau.

Kad būtų galima atlikti veiklos keitimo veiksmus, pertraukimai turi būti aptarnaujami kitokiais principais: ne vykdant aukščiausio prioriteto pertraukimo paprogra-

mų, o įkeliant naujai atsiradusio pertraukimo požymį į steką ir vykdomoje programos dalyje pirmiausia atliekant naujai susidariusios situacijos analizę ir priimant reikiamus sprendimus.

Kad tokios programos sėkmingai veiktų, visi pertraukimai turi turėti tą patį prioritetą ir kiekvienam iš jų atsiradus būtų analizuojamas to paties paprogramio, steko valdymo ir susidariusios situacijos funkcionavimas.

Siūlomas optimizavimo metodas nereikalauja papildomų materialinių išlaidų, o tik geriau panaudojami tie patys transportavimo įtaiso resursai.

Literatūra

1. **David R., Alla H.** Petri nets for modeling of dynamic systems – a survey // *Management Science*. – Vol. 35.-1994. – No. 2. – P.175-202.
2. **Zurawski R., Zhou M.C.** Petri nets and industrial applications: a tutorial // *IEEE Trans. On industrial Electronics*. – Vol. 41. – 1994. – No. 6. – P. 567–583.
3. **Zhou M.C., Venkatesh K.** Modeling Simulation and Control of flexible Manufacturing systems: a Petri net approach.– Singapore: World Scientific, 1998.
4. **Shih H., Sekiguchi T.** A timed Petri net and beam search based on-line FMS scheduling system with routing flexibility // *Proceedings of the 1991 IEEE int. conf. on robotics and Automation*, Sacramento, CA, April 1991. – P.2548–2553.
5. **Shen L., Chen Q., Luh J.** Truncation of Petri net models for simplifying computation of optimum scheduling problems // *Computers in Industry*. 1992. –P. 25–43.
6. **Lee D.Y., DiCesare F.** Scheduling FMS using Petri nets and heuristic search // *IEEE Trans. On Robotics and Automation*. 1994. – Vol 10. – No. 2. – P. 123–132.
7. **Pearl J.** Heuristics: Intelligent Search Strategies for Computer Problem Solving. Reading, MA: Addison-Wesley. – 1984.
8. **Hatono I., Yamahata K., Tamura H.** Modeling and on-line scheduling of flexible manufacturing systems using stochastic Petri nets // *IEEE trans. on Software Engineering*. – 1991. – Vol. 17. – No. 2. – P.126-132.
9. **Chan FTS, Zhang J.** Modelling for agile manufacturing systems. *Int J Prod Res*. – 2001. – No.39(11). – P.2313–2332.
10. **Yan HS, Wang Z, Jiang M.** A quantitative approach to the process modelling and planning in concurrent engineering // *Concurrent Eng.: Res Appl*.-2002. – No 10(2). – P. 97-111.

Pateikta spaudai 2004 03 05

S. Bartkevičius, V. Mačerauskas, K. Šarkauskas. Sistemos su asinchroniais procesais optimizavimas taikant spalvotus Petri tinklus // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2004. – Nr. 5(54). – P. 60-65.

Optimaliai ar adaptyviai valdant atskirus įrenginius ar gamybinius procesus, linijose, kurias aptarnauja robotai ir manipulatoriai, vyksta asinchroniniai procesai. Efektyviose valdymo sistemose valdymui naudojamas pertraukimų mechanizmas. Klasikiniu atveju pirmiausia aptarnaujami procesai, turintys aukštesnį prioritetą. Atlikta analizė parodė, kad esant asinchroniniams procesams šis valdymas praranda savo efektyvumą dėl procesų sinchronizacijos sutrikimo. Norint panaudoti visus gamybinius pajėgumus tenka keisti valdymo principus, ką akivaizdžiai parodė modeliavimo rezultatai. Norint efektyviai aptarnauti sistemą su asinchroniais procesais, reikia visiems pertraukimams priskirti tą patį aparatūrinį prioritetą, o pertraukimo procedūroje organizuoti stekinių pertraukimų kaupimą, ir atlikti naujai susidariusios situacijos analizę ir toliau priimti sprendimus: ar toliau tęsti vykdomą operaciją ar ją pertraukti ir vykdyti naują, buvusią operaciją atšaukiant ir statant į bendrą eilę ar besąlygiškai vykdyti po to, kai bus įvykdyta nauja operacija. Il. 9, bibl. 10 (lietuvių kalba, santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

S. Bartkevičius, V. Mačerauskas, K. Šarkauskas. Simulation of Complicated Non-linear Systems by Heterogeneous Structures // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2002. – No. 5(54). – P. 60-65.

Traditional look on control systems as separate continuous or discrete cannot be added to modern complicated systems containing both kinds. Modern control systems are complicated and heterogeneous - continuous processes interact to each other by discrete links. New simulation tools are needed to analyze such systems. Such tool is proposed. Continuous processes are simulated using traditional structural schemes representing differential (linear or non-linear) equations. Discrete links are simulated by Petri net, which is connected with continuous part of a system model through special, new introduced, elements – “processes”. The net may control processes – switch them on or off. The continuous (analog) part may influence (send tokens) the net, through special blocks, too. The specialized software is written to simulate heterogeneous systems. This software makes construction of a model and simulation easy and clear. Il. 9, bibl. 10 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

С. Барткевичюс, В. Мачераускас, К. Шаркаускас. Оптимизирование системы с асинхронными процессами цветными Петри сетями // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология, 2004. – № 5(54). – P. 60-65.

Оптимальное и адаптивное управление производственных единиц вызывает появление асинхронных процессов в автоматических линиях, обслуживаемых роботами и манипуляторами. В современных системах управления используется механизм прерываний. В классическом понимании преимущество управления имеет прерывание с наивысшим приоритетом. Проведенный анализ показал, что при асинхронных процессах такое управление теряет свою эффективность из-за сбоя синхронизации. Желая полностью использовать производственные мощности, приходится менять принципы управления, что стало очевидным после проведенного моделирования. Желая эффективно обслуживать систему с асинхронными процессами, надо всем аппаратурным прерываниям назначить тот же приоритет, а в процедурах прерывания организовать помещение прерываний в стек, и после того, проводить анализ ситуации и принять решение, какую операцию надо проводить: продолжать выполняемую операцию или отозвать ее и выполнить новую, возвращая отозванную в общую очередь или безусловно выполнять после выполнения заменившей ее операции. Ил. 9, библи. 10 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).