FRI-1.417-2-MEMBT-11

ADAPTED METHOD FOR RTM WITH PARALLEL WORKING MACHINES[10]

Chavdar Kostadinov, PhD student
Department of Manufacturing engineering,
"Angel Kanchev" Univesity of Ruse
Tel.: 082 888 742
E-mail: chkostadinov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Ivanka Peeva, PhD
Department of Manufacturing engineering,
"Angel Kanchev" Univesity of Ruse
Phone: 082 888 712
E-mail: ipeeva@manuf.uni-ruse.bg

Abstract: *This paper discusses some features in modeling robotic technology modules. An adapted model of PTM with parallel structure is presented. With more than 2 machines with different handling times serviced by a robot, waiting service losses accumulate, which affects the overall performance of the PTM.*

Keywords: *RTM, Probabilistic model, Performance of RTM, Line graph of states, Branched graph of states.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Основна роля за изграждане на гъвкави автоматизирани системи имат основно технологично оборудване с ЦПУ, промишлените роботи, автоматизирани системи и средства за междуоперационен транспорт. Роботизираните технологични модули (РТМ) са често използвани производствени системи, включващи една или няколко технологични машини, един обслужващ промишлен робот (ПР), необходими периферни устройства, обединени от обща система за управление и реализиращи единен технологичен процес. Всеки модул, благодарение на взаимодействието с АСС, може да работи като самостоятелна производствена единица или да бъде част от единна производствена система.

Поради това задачите по проектиране на ново оборудване тип модул или експлоатиране на съществуващо такова имат особено практическо значение.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Множеството фактори, оказващи влияние върху работата на производствена система от машини и широкият диапазон от техните изменения води до голямо разнообразие от технически възможни решения за структуриране на конкретна производствена система. Основен критерий за ефективност, използван при избора на оптимален вариант е общата производителност на системата. Практиката показва целесъобразност от въвеждане и на други критерии за ефективност, като натоварване на оборудването, допълнителни загуби и др.

Като се използват възможностите на вероятностното моделиране могат да се анализират предварително различните варианти за конфигуриране на роботизирани технологични модули и комплекси, изградени от няколко паралелно работещи технологични модула и да се подбира най-доброто решение, съобразно избрания един или няколко критерия.

Промените в условията на експлоатация, например при смяна на обекта за производство, най-често водят до промяна на времената за работа на машините и обслужващия робот. Това може да доведе до ситуация, при която роботът или машините имат значителни престои

[10] Докладът е представен на сесията на секция „Механика и машиностроителни технологии» на 27 октомври 2017 с оригинално заглавие на български език: АДАПТИРАН МЕТОД ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА РТМ С ПАРАЛЕЛНА СТРУКТУРА

поради чакане на обслужване. Този проблем се задълбочава с увеличаване на броя на машините в системата, обслужвани от 1 робот, поради вероятностният характер както на входящият поток от заготовки, така и на потока на обслужване.

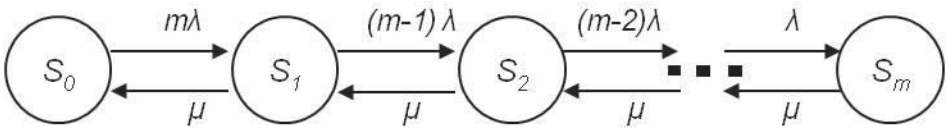
Има описани множество теоретични и практически изследвания относно прогнозиране на производителността на системи от машини (Kleinrock, L., 1979-1), (Gershwin, S. B., 1987). Голяма част от тях реализират моделиране на база Теория на масовото обслужване. Системите от машини могат да се представят като системи за масово обслужване, като за тях е характерно влиянието на случайни фактори, водещо до наличието на опашки от заявки, чакащи обслужване (Kleinrock, L., 1979-2).

Всяка СМО се състои от обслужващи органи (един или няколко). Прието е обслужваните обекти да се наричат заявки. Обикновено те постъпват в СМО в случайни моменти от време, а тяхното обслужване е със случайна продължителност. РТМ е дискретно събитийна система, в която всяко събитие променя състоянието на системата.

Работата по изчисляване на вероятностите на състоянията (P_K) ипроизводителността на модула ($П_{PTM}$) се облекчава, ако системата се състои от m на брой машини със сходни технически възможности, водещи до интензивности на подаваните заявки за обслужване близки до средната стойност $\lambda=\lambda_{cp}$ и близка интензивност на обслужване (според приети компоновъчни и технически параметри). В тези случаи за описание на модела на РТМ се използва линеен граф на състоянията (фиг. 1), където:

$\lambda = \lambda_{\text{СР}} = \frac{1}{t_{\text{ОБР}_{cp}}}$; $\mu = \mu_{\text{СР}} = \frac{1}{t_{\text{ОБСЛ}_{cp}}}$; m – брой машини на ПС.

Възможните състояния на системата са: S_0 – всички машини работят, робота чака заявки; S_1 – една машина се обслужва, останалите работят; S_2 – една машина се обслужва, една чака обслужване, останалите работят и т.н.



Фиг. 1 Линеен граф на състоянията

Ако системата е с паралелна структура, то:

$$П_{PTM} = m\lambda \text{H}_M \tag{1}$$

$$H_{\text{M}} = \frac{1}{m}\sum_{k=0}^{m}(m-k)P_k \tag{2}$$

$$H_{\text{P}} = 1 - P_0 \tag{3}$$

където H_M е средното натоварване на една машина, H_P е средното натоварване на робота, m е броят машини, P_K е вероятността на $к^{\text{-то}}$ състояние.

Броят m на включените в производствената система технологични машини оказва съществено влияние върху броя на възможните състояния на системата, които имат отношение към описанието на вероятностния математичен модел и неговото представяне чрез граф на състоянията. Често при анализа на изменение на някои от характеристиките на системата се използва отношението $\rho = \lambda / \mu$, даващо възможност за едновременно отчитане влиянието на времената за обработване и обслужване.

Броят на обслужваните машини от един робот оказва влияние върху производителността на системи с паралелна структура. Освен изискванията за товароносимост, точност на позициониране, работна зона, вид на регионалната структура и др. правилният избор на ПР зависи и от осигуряването на необходимото съотношение на времената за работа и обслужване, което е в пряка зависимост от броя на обслужваните машини.

В практиката са намерили приложение най-често модули с една или две машини, обслужвани от един робот. В различни производствени ситуации броят на машините може да е увеличен, като има описани производствени системи от 8 машини обслужвани от 1 робот (Bigdan, V. B., Gusev, V. V., Marianovich, T. P., & Sahnuk, M. A., 2015).

Моделът на база линеен граф дава усреднени стойности на показателите за ефективност, като при $m > 2$ може да се получат значителни отклонения в определяните стойностите за производствената система. Това налага използване на друг модел, описан чрез разклонен граф на състоянията, като за РТМ от 2 машини и 1 ПР са известни точни аналитични зависимости за определяне на верочтностите на състоянията, натоварванията на оборудването, както и за производителността на РТМ.

За такава системаса възможни 5 състояния като: S_0 – двете машини работят, роботът чака заявки за обслужване; S_1 – първата машина се обслужва, а втората работи; S_2 – втората машина се обслужва, а първата работи; S_3 – първата машина се обслужва, втората чака обслужване; S_4 – втората машина се обслужва, първата чака обслужване.

Възможните преходи между състоянията се извършват под действие на потоци от събития с интензивности: $\lambda_1 = \frac{1}{t_{ОБР_1}}$; $\lambda_2 = \frac{1}{t_{ОБР_2}}$; $\mu_1 = \frac{1}{t_{ОБСЛ_1}}$; $\mu_2 = \frac{1}{t_{ОБСЛ_2}}$.

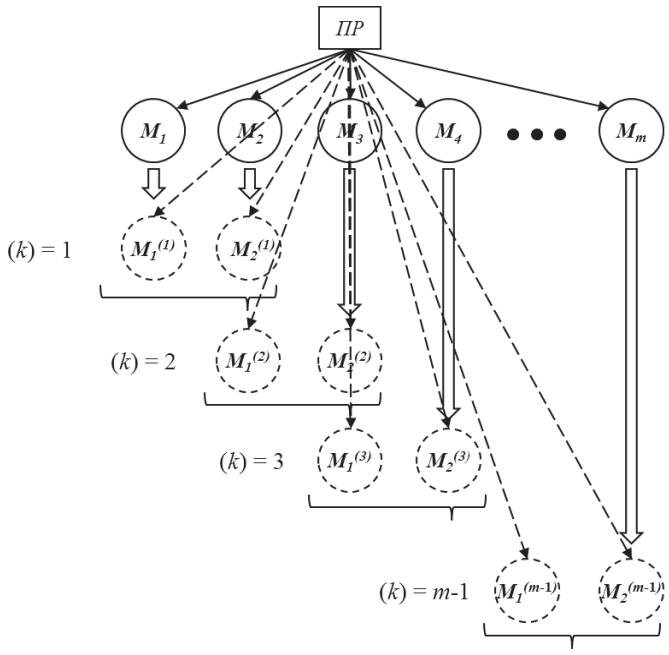
С увеличаване броя на машините в РТМ се увеличава броя на възможните състояния и следователно броя на уравненията, определящи вероятностите на отделните състояния. За облекчаване на инженерните разчети е подходящо използването на декомпозиционен метод за решаване на вероятностни модели (метод на Гершуин), при който системата се разлага на псевдомашини, обобщаващи параметрите на предходните елементи от модела (Gershwin, S. B., 1987). На фиг. 2 е показан адаптиран алгоритъм (табл. 1) за работа при моделиране на производствена система с паралелна структура и $m > 2$ машини чрез декомпозиционен метод на разлагане.

Таблица 1 Елементи на адаптиран алгоритъм за моделиране

$\lambda_1{}^{(k)}$	$\mu_1{}^{(k)}$	$\lambda_2{}^{(k)}$	$\mu_2{}^{(k)}$
$\Pi_{\text{РТМ}}{}^{(k-1)}$	$\frac{\Pi_{\text{Р}}{}^{(k-1)}}{\text{Н}_{\text{Р}}{}^{(k-1)}}$	λ_{k+1}	μ_{k+1}
$(k) = 1 \sim (m-1)$; $k = 1 \sim m$			

За реализиране процеса на търсене на решение в зависимост от времената на технологичните машини, са възможни два варианта на аналитично моделиране – модел с линеен граф (ЛГ) и модел с разклонен граф (РГ). В табл. 2 са систематизирани зависимости за определяне на граничните вероятности на състоянията, а в табл. 3 натоварването на оборудването, производителността на РТМ и допълнителните загуби от чакане на обслужване при описаните методи за решаване на вероятностни модели.

Същите зависимости може да се използват за определяне на посочените параметри при използване на двата възможни варианта за решаване чрез декомпозиционен метод, при съответно отчитане на индексите за всяка стъпка.



Фиг. 2 Алгоритъм на работа при моделиране на ПС чрез декомпозиционен метод на разлагане

Таблица 2 Гранични вероятности на състоянията

***m*=2**	***P₀***			
ЛГ	$\frac{1}{1+2\rho+2\rho^2}\ \rho=\frac{\lambda_{\text{ср}}}{\mu_{\text{ср}}}$			
РГ	$\frac{1}{1+\frac{\lambda_1(\lambda_1+\lambda_2+\mu_2)}{\lambda_1\mu_1+\lambda_2\mu_2+\mu_1\mu_2}+\frac{\lambda_2(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1)}{\lambda_1\mu_1+\lambda_2\mu_2+\mu_1\mu_2}+\frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1+\lambda_2+\mu_2)}{\mu_1(\lambda_1\mu_1+\lambda_2\mu_2+\mu_1\mu_2)}+\frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1)}{\mu_2(\lambda_1\mu_1+\lambda_2\mu_2+\mu_1\mu_2)}}$			
	P₁	***P₂***	***P₃***	***P₄***
ЛГ	$2\rho P_0$	$2\rho^2 P_0$	-	-
РГ	$\frac{\lambda_1(\lambda_1+\lambda_2+\mu_2)}{\lambda_1\mu_1+\lambda_2\mu_2+\mu_1\mu_2}P_0$	$\frac{\lambda_2(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1)}{\lambda_1\mu_1+\lambda_2\mu_2+\mu_1\mu_2}P_0$	$\frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1+\lambda_2+\mu_2)}{\mu_1(\lambda_1\mu_1+\lambda_2\mu_2+\mu_1\mu_2)}P_0$	$\frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1+\lambda_2+\mu_1)}{\mu_2(\lambda_1\mu_1+\lambda_2\mu_2+\mu_1\mu_2)}P_0$

Представените в табл. 2 и табл. 3 зависимости могат да се използват за определяне на посочените параметри при използване на двата възможни варианта за решаване чрез декомпозиционен метод при съответно отчитане на индексите за всяка стъпка.

Таблица 3 Натоварване на машините, производителност на РТМ и допълнителни загуби

***m*=2**	***H_M1***	***H_M2***	***H_P***	***П_РТМ***	***Д_З***
ЛГ	$P_0+\frac{P_1}{2}$	$P_0+\frac{P_1}{2}$	$1-P_0$	$(\lambda_1+\lambda_2)H_M$	$\frac{P_1}{2}+P_2$
РГ	P_0+P_2	P_0+P_1	$1-P_0$	$\lambda_1 H_{M1}+\lambda_2 H_{M2}$	$P_3,\ P_4$

ИЗВОДИ

В резултат на извършения анализ може да се направят следните изводи:

1. Декомпозиционният метод за решаване на вероятностни модели с линеен граф е подходящ да се използва при наличие на технологично оборудване с близки възможности, поради спецификата на метода за работа със средни стойности на времената за работа и обслужване;

2. Декомпозиционният метод за решаване на вероятностни модели с разклонен граф дава най-близки прогнозни стойности до параметрите на реална система, при по-пълно отчитане на допълнителните загуби от чакане на обслужване, при равни други условия;

3. Систематизирането на аналитичните зависимости за определяне на вероятностните характеристики и прогнозиране на производителността на РТМ с паралелна структура могат да подпомогнат инженерната дейност по проектиране на ново или анализ на съществуващо оборудване при конкретни производствени условия.

REFERENCES

Bigdan, V. B., Gusev, V. V., Marianovich, T. P., & Sahnuk, M. A., (2015). Stanovlenie I razvitie imitacionnogo modelirovania v Ukraine. Kiev. (**Оригинално заглавие:** Бигдан, В. Б., Гусев, В. В., Марьянович, Т. П., & Сахнюк, М. А., (2015). *Становление и развитие имитационного моделирования в Украине*, Киев.)

Kleinrock, L., (1979-1). Queuing Theory. Moskva, Mashinostroenie. (**Оригинално заглавие:** Клеинрок, Л., (1979). *Теория массового обслуживания*. Москва, Машиностроение.)

Kleinrock, L., (1979-2). Computing systems with queues. Moskva, Mir. (**Оригинално заглавие:** Клеинрок, Л., (1979). *Вычислительные системы с очередями*. Москва, Мир.)

Gershwin, S. B., (1987). *An efficient decomposition method for the approximate evaluation of tandem queues with finite storage space and blocking*. Operations Research, vol. 35.