

Към алгоритъм за проектиране на роботизирани технологични модули

Чавдар Костадинов

To the algorithm design of robotic technology modules: The purpose of this article is to expand the capabilities of the algorithm for the design of RTM by selecting the appropriate analytical model and determining its parameters for efficient operation and predict the expected performance of RTM.

Key words: robot, robotic technology module, expected performance of RTM.

ВЪВЕДЕНИЕ

Проектирането и ефективната експлоатация на роботизирани технологични модули (РТМ) са свързани с определени усложнения, породени от вероятностния характер на входния поток от заявки за обслужване на машините и възможностите за това от един робот. Общоприети инженерни методи за анализ и проектиране на модули не съществуват, поради което всяка разработка на достъпна и лесна за използване методика би била актуална.

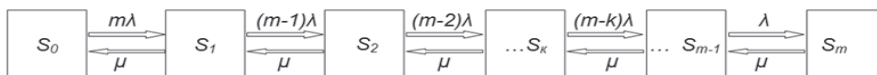
Целта на настоящата статия е да се разширят възможностите на алгоритъм за проектиране на РТМ [4] чрез избор на подходящ аналитичен модел и определяне на параметрите ѝ за ефективна работа и прогнозиране на очакваната производителност.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Важна част от проектирането на производствена система от машини е съгласуването на работата на основното и спомагателното оборудване. В серийното производство все по-често се налага използването на РТМ. Като обслужващо звено в такива системи се използва един робот, което внася ограничения относно броя на обслужваните машини, компоновката и производителността на модула. Важен за инженерната практика е аргументираният избор на промишлен робот, осигуряващ ефективна работа на структуриран модул.

В машиностроенето най-голямо приложение са намерили роботизирани технологични модули от една или две машини, обслужвани от един робот. Сравнително по-рядко се използват модули с три и повече (до осем) машини [1].

За организиране работата на модула важна роля оказват видът и разположението на спомагателното оборудване (входно, изходно, междинно). Ефективното използване на различните технически единици в състава на модула зависи от съотношението на времената за обработване на детайлите на отделните машини и времената за обслужване на тези машини от робота [2]. Като критерии за ефективност може да се използват следните параметри: производителност, натоварване на основно и спомагателно оборудване, допълнителни загуби от чакане за обслужване и др.



Фиг. 1 Граф на състоянията от типа „гибел-размножаване”

Структурно-компоновъчната схема на РТМ определя групата детайли, чието технически възможно обработване в него би било ефективно. Това е възможно поради наличието на диапазон за изменение на скоростите за движение по отделните степени на подвижност на робота при почти неизменни траектории на движение за обслужване на машините.

За определяне на параметрите на дадена производствена система в практиката се използват известни аналитични модели, на база теория на масовото обслужване.

Система от m на брой технологични машини, обслужвани от един робот, се разглежда като затворена система от типа $M/M/1$ с опашка и вътрешна организация на обслужване на опашката $FIFO$ [3]. За такава система може да се посочат $m+1$ възможни състояния, в зависимост от броя на заявките в опашката. Ако се приеме, че машините са еднородни по продължителност на операциите и всяка от тях подава заявки с интензивност λ , а роботът ги обслужва с интензивност μ , то разглежданата система може да се представи с граф на състоянията от типа „гибел-размножаване“ (фиг. 1).

Индексите k в означенията на възможните състояния S_k показват броя на неработещите машини $k = 0, 1, 2... m$ в съответното състояние; m – броят на технологичните машини; λ – интензивността на заявките (техническата производителност на една машина); μ – интензивността на обслужването.

$$\lambda = \frac{1}{t_{обр}}, \quad (1)$$

където $t_{обр}$ е средното време за обработване на изделието от една машина, определено с отчитане на възможните собствени извънциклови престои.

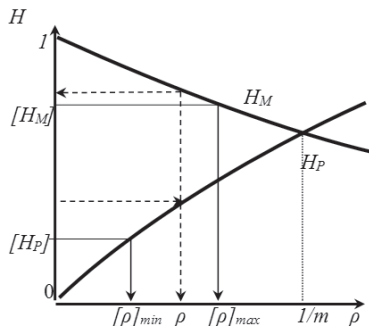
$$\mu = \frac{1}{t_{мзо}}, \quad (2)$$

където $t_{мзо}$ е средното време за транспортно-захранващи операции, извършвани от робота при обслужване на машините.

В условията на Марковски характер на заявките и процеса на обслужване в система с краен брой възможни състояния, вероятностите им се определят по формули [3]:

$$P_k = \frac{m!}{(m-k)!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \quad \text{и} \quad \sum_{k=0}^m P_k = 1 \quad (3)$$

За системи от разглеждания тип вероятностите P_k имат смисъл на средни относителни времена за пребиваване на системата в съответните S_k състояния.



Фиг. 2. Определяне на $[\rho]_{min}$ и $[\rho]_{max}$ при зададени ограничения: m , $[H_M]$ и $[H_P]$

Определянето им позволява прогнозиране на производителността и натоварването на основното и спомагателно оборудване и на системата като цяло. При паралелна работа на m на брой машини производителността на модула ще бъде равна на сумата от производителностите на всички машини:

$$\Pi_{TM} = m\lambda H_M, \quad (4)$$

където H_M – средното натоварване на една машина.

При последователно обработване производителността на модула е:

$$\Pi_{TM} = \lambda H_M, \quad (5)$$

Натоварването на работа H_P , през което той е зает с обслужване, съгласно приетия математичен модел (фиг. 1), е равно на сумата от вероятностите на състояния от S_1 до S_m включително:

$$H_P = \sum_{k=1}^m P_K = 1 - P_0, \quad (6)$$

Натоварването H_M на една машина е:

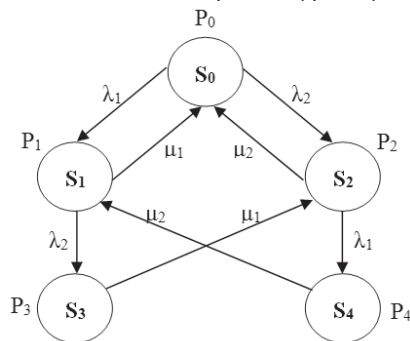
$$H_M = \frac{1}{m} \sum_{k=0}^m (m - k) P_k, \quad (7)$$

където $(m - k)$ е броят на работещите машини в S_k състояние.

При решаването на такива задачи е удобно да се работи с отношението:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{t_{m30}}{t_{обp}} \quad (8)$$

Условието за ефективно използване на оборудването в роботизирания модул налагат изисквания за минимално допустими натоварвания на машините $[H_M]$ и работа $[H_P]$. Ако разпределенията на случайните времена t_{m30} и $t_{обp}$ са по експоненциален закон (за системата $M/M/1$), то задачите за определяне на интензивността на обслужване може да се реши аналитично. За целта при зададен диапазон на стойности ρ , като се използват формули (6) и (7), се получават значенията за натоварване на машините и работа (фиг. 2).



Фиг. 3. Модул от 1 робот и 2 машини – граф на състоянията

S_0 – двете машини работят, работата стои;

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.

Допустимото натоварване на технологичните машини се задава съобразно известни обем на производство и срокове за изпълнение на производствената програма. За определяне на допустимото натоварване на работа може да се използват икономически критерии за оценка. При зададен брой машини в модула и допустимо минимално натоварване $[H_M]$ на една машина се определя стойността $[\rho]_{max}$.

Задаването на минимално допустимо натоварване $[H_P]$ на работа определя стойността на $[\rho]_{min}$. Посочената последователност за определяне на диапазона за изменение на ρ е представена графично на фиг. 2.

Ако технологичните машини, използвани в РТМ, са с различни технологични

възможности, използването на линейния граф (фиг. 1) предполага усредняване на времената за обработване. Това внася известни грешки при прогнозиране параметрите на разработваната система. В такива случаи за описване работата на РТМ се използва разклонен граф. Съобразно представения на фиг. 3 граф са получени зависимости за вероятностите на състоянията P_i .

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)}{\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2} + \frac{\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)}{\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2} + \frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)}{\mu_1(\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2)} + \frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)}{\mu_2(\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2)}} \quad (9)$$

$$P_1 = \frac{\lambda_1(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)}{\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2} P_0 \quad (10)$$

$$P_2 = \frac{\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)}{\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2} P_0 \quad (11)$$

$$P_3 = \frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)}{\mu_1(\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2)} P_0 \quad (12)$$

$$P_4 = \frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)}{\mu_2(\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2)} P_0 \quad (13)$$

При конкретни стойности за λ_i и μ_j може да се определят производителността, натоварванията на оборудването и допълнителните загуби при обслужване.

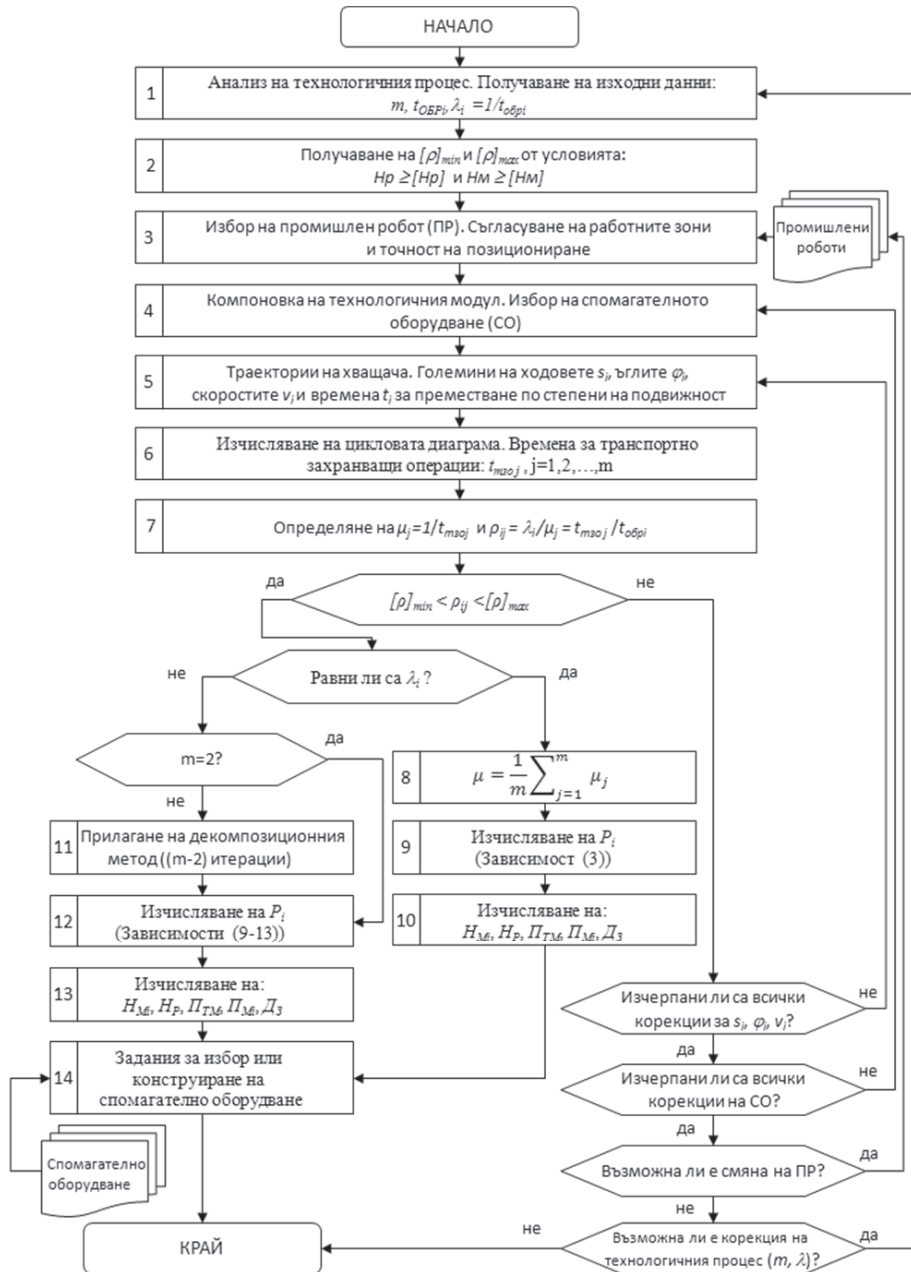
Ако $m > 2$ аналитичното моделиране на база разклонен тип граф е свързано с изчислителни затруднения, което ограничава практическото приложение. В такива случаи се използва известният декомпозиционен метод за моделиране на производствени системи [5]. Той се характеризира с поетапно реструктуриране на системата, чрез добавяне на всяка следваща машина към предходно обособената технологична единица. Това води до получаване на комбинация от линеен и разклонен графове, описващи състоянията на сложна система от m на брой машини и един обслужващ робот. За всяка от интензивностите в новополучения линеен граф се използват средни стойности, като:

$$\lambda_{i,i+1} = \frac{\lambda_i + \lambda_{i+1}}{2}; \quad \mu_{i+1,i} = \frac{\mu_i + \mu_{i+1}}{2} \quad (14)$$

На база известна методика за проектиране на РТМ по зададен технологичен процес [4] е разработен алгоритъм за определяне на оптимални технически параметри, очаквана производителност, избор на спомагателно оборудване и компоноване на РТМ (фиг. 4), облекчаващ работата при многовариантност на възможните решения.

Важен момент след анализа на изходните данни е получаването на допустимия диапазон за изменение на съотношението ρ , определен от минимално допустимите натоварвания на машините и робота. Това е в основата на избора на робот за целите на проектирането. При това е важно да има съответствие на основни негови технически характеристики с необходимите за изпълнение на конкретната задача – товароносимост, точност на позициониране, големини на ходовете и скоростите по съответните степени на подвижност и др.

Следваща важна стъпка е изчисляване на цикловата диаграма на РТМ, като се определят възможностите за съгласуване работата на отделните технически единици по време. За определена структурно-компоновъчна схема на РТМ и приета организация на работа се определя ρ и се прави проверка за попадане в допустимия интервал. При съответствие се продължава с определяне на производителността и показателите за ефективност на системата. Ако условието не е изпълнено се разглеждат възможности за корекции на параметри на зададено или избор на ново оборудване, като последователността на работа за всеки нов вариант се повтаря до получаване на оптимално техническо решение.



Фиг. 4 Блок-схема на алгоритъм за определяне на очакваната производителност при оптимална компоновка на РТМ

Предложеният алгоритъм може да се използва за създаване на софтуерен продукт, облекчаващ работата при проектиране на РТМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработеният алгоритъм предлага различни възможности за оптимизация на техническите решения за състава и структурата на роботизирани технологични модули. Определянето на допустимия диапазон за изменение на съотношението между времената за работа на машините и тяхното обслужване от робота позволява да се предели групата различни детайли, подходящи за обработване от даден РТМ в условията на конкретно серийно производство.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Бурдаков С. Ф., В. А. Дьяченко, А. Н. Тимофеев Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. Москва, Высшая школа, 1986.

[2] Пенчев М. С., Вероятностно моделиране и оценки за ефективността при роботизирани модули. VII ННТК „АДП”, София, 1996.

[3] Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Москва, Машиностроение, 1979.

[4] Пенчев М. С., Общ алгоритъм за проектиране на роботизирани модули по зададен технологичен процес. VIII ННТК „АДП”, София, 1997.

[5] Gershwin, S.B., An efficient decomposition method for the approximate evaluation of tandem queues with finite storage space and blocking. Operations Research, 35, 291–305. 1987.

За контакти:

маг. инж. Чавдар Костадинов, Катедра “Технология на машиностроенето и металорежещи машини”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 742, e-mail: chkostadinov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.