

ПОНИЖЕНИЕ РАЗМЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А.А. Большаков, М.С. Голик

ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет», г. Саратов

Рецензент В.Ф. Першин

Ключевые слова и фразы: модель функционирования; робототехнический комплекс; снижение размерности; техническая эффективность.

Аннотация: Рассматриваются методы понижения размерности задачи определения технической эффективности робототехнического комплекса. Проведен сравнительный анализ различных методов, и выбран наилучший метод для решения поставленной задачи.

Современные робототехнические комплексы (РТК) являются комплексным средством автоматизации производства и представляют собой сложные системы, состоящие из разнообразных функциональных подсистем. Одним из перспективных путей улучшения технико-экономических показателей РТК является повышение их надежности.

В свою очередь, для повышения надежности целесообразно оптимизировать техническое обслуживание комплекса. Для этого требуется построить математическую модель функционирования РТК и на ее основе выполнить процедуру оптимизации.

Модель функционирования РТК создавалась на основе имеющихся статистических данных по отказам и восстановлению элементов. Далее предпринята попытка определения с ее помощью режима технического обслуживания, при котором средняя техническая эффективность РТК максимальна. Однако при решении задачи оптимизации возникло существенное затруднение, связанное с большой трудоемкостью вычисления технической эффективности РТК.

Поэтому возникла необходимость применения и сравнения различных методов понижения размерности для определения технической эффектив-

Большаков А.А. – доктор технических наук, профессор кафедры «Системы искусственного интеллекта» (СИИ), декан факультета электронной техники и приборостроения СГТУ, г. Саратов; Голик М.С. – аспирант кафедры «Системы искусственного интеллекта» (СИИ) СГТУ, г. Саратов.

ности РТК, а также выбора метода, с помощью которого определение средней технической эффективности РТК наиболее целесообразно.

Вначале рассмотрим этап, связанный с построением модели функционирования РТК, когда выделены $m = 27$ восстанавливаемых технических и программных элементов, каждый из которых характеризуется интенсивностью отказа λ_i и восстановления μ_i , $i = \overline{1, m}$.

Разработанная модель функционирования РТК определяет состояние комплекса S в зависимости от λ , μ – векторов интенсивностей отказов и восстановлений элементов λ_γ , μ_γ , $\gamma = \overline{1, m}$

$$S = S(\lambda, \mu, t). \quad (1)$$

Модель функционирования РТК (1) используется для определения технической эффективности РТК E , в частности, средней технической эффективности на произвольном временном интервале $[T_0, T_1]$

$$E = \frac{1}{T_1 - T_0} \int_{T_0}^{T_1} \sum_{i=1}^M I_i P_i(t) dt, \quad (2)$$

где $M = 2^m$ – количество возможных состояний; I_i – мгновенная эффективность; $P_i(t)$ – вероятность нахождения в i -ом состоянии. Вероятности $P_i(t)$ нахождения РТК в состоянии S_i , $i = \overline{1, M}$, находятся как решение линейных дифференциальных уравнений Колмогорова

$$\frac{dP_i}{dt} = - \sum_{i=1}^M \lambda_{ij} P_i(t) + \sum_{j=1}^M \lambda_{ji} P_j(t), \quad i = \overline{1, M}, \quad i \neq j, \quad \lambda_{ij} \neq \lambda_{ji}, \quad 0 \leq t < \infty. \quad (3)$$

При больших значениях времени t (стационарный режим) производные dP_i/dt становятся малыми, и систему дифференциальных уравнений (3) можно заменить системой линейных алгебраических уравнений

$$\overline{P}_i \sum_{i=1}^M \lambda_{ij} \approx \overline{P}_j \sum_{j=1}^M \lambda_{ji}, \quad i = \overline{1, M}, \quad i \neq j, \quad (4)$$

где \overline{P}_i , \overline{P}_j – стационарные вероятности нахождения РТК в состоянии S_i , S_j , $i, j = \overline{1, M}$, соответственно. Знание вероятностей \overline{P}_i позволяет вычислить среднюю техническую эффективность РТК для стационарного режима

$$\overline{E} = \sum_{i=1}^M I_i \overline{P}_i. \quad (5)$$

Под размерностью задачи определения технической эффективности РТК будем понимать число M возможных состояний РТК S_i , $i = \overline{1, M}$, которое зависит от количества m входящих в него элементов $M = 2^m$. Для

рассматриваемого РТК число M возможных состояний равно $2^{27} = 134\,217\,728$.

Оценим трудоемкость определения технической эффективности РТК, состоящего из 27 элементов. Для этого необходимо знать: критерий эффективности I ; интенсивности отказов элементов $\lambda_i, i = \overline{1, 27}$; интенсивности восстановлений элементов $\mu_i, i = \overline{1, 27}$. На основе этого определим элементы матрицы интенсивностей переходов $\lambda_{i,j}, i, j = \overline{1, 2^{27}}$; значения критерия эффективности $I_i, i = \overline{1, 2^{27}}$ (для этого 2^{27} раз выполняется расчет номинального режима); функции вероятности $P_i(t)$ или стационарные вероятности \overline{P}_i нахождения РТК в состоянии $S_i, i = \overline{1, 2^{27}}$ (для этого численно интегрируется система из 2^{27} дифференциальных уравнений (3) или решается система из 2^{27} линейных алгебраических уравнений (4), соответственно); значение средней технической эффективности РТК E или для стационарного режима \overline{E} находится по формуле (2) или (5), соответственно.

При числе элементов $m = 27$ трудоемкость определения технической эффективности РТК оказывается чрезвычайно высокой. Высокая размерность задачи определения технической эффективности РТК негативно влияет на свойства критерия E , делает его малочувствительным к изменению состояний $S_i, i = \overline{1, M}$, что весьма затрудняет решение оптимизационных задач для сложных систем.

Для понижения размерности задачи определения технической эффективности РТК существуют различные методы, в частности, метод «крупных» элементов или метод критериальных состояний.

Метод «крупных» элементов. Сущность метода состоит в том, что вводятся новые, более «крупные» элементы – блоки, объединяющие несколько исходных элементов, каждый из которых характеризуется интенсивностью отказа λ^B и восстановления μ^B , которые определяются по формулам:

$$\lambda^B = \sum_{\rho=1}^k \lambda_{\rho}, \quad \mu^B = \sum_{\rho=1}^k \mu_{\rho}, \quad (6)$$

где k – число основных элементов с интенсивностями $\lambda_{\rho}, \mu_{\rho}, \rho = \overline{1, k}$, включенными в один блок.

При использовании данного метода число M^B возможных состояний РТК равно $2^{\frac{m}{k}}$, и происходит снижение размерности задачи определения технической эффективности в $2^{\frac{m(k-1)}{k}}$ раза. Недостатком является то, что использование метода «крупных» элементов влияет на точность вычисле-

ния $\overline{P}_\alpha, I_\alpha, \overline{E}, \alpha = \overline{1, M^B}$ (чем меньше групп, тем выше погрешность определения \overline{E}).

Метод критериальных состояний. Понижение размерности задачи здесь достигается введением нового понятия – критериальное состояние, что обеспечивает значительное уменьшение числа M состояний. Можно выделить несколько непересекающихся поддиапазонов $\Delta I_1, \Delta I_2, \dots, \Delta I_\mu, \dots, \Delta I_d, d \ll M$ и рассматривать d новых критериальных состояний. Под критериальным состоянием S_μ^k понимается такая структура сложной системы и режим работы ее элементов, при которых значение критерия $I_\mu \in \Delta I_\mu, \mu = \overline{1, d}$.

При столь малых числах d проблема размерности задачи становится неактуальной и вычисление вероятностей критериальных состояний P_μ и значений $I_\mu, \mu = \overline{1, d}$ не вызывает затруднений. К недостаткам данного метода относится то, что возникает дополнительная задача выявления связей между каждым состоянием РТК $S_i, i = \overline{1, M}$ и критериальным состоянием $S_\mu^k, \mu = \overline{1, d}$.

Понижение размерности задачи определения технической эффективности РТК проведено различными методами, результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение методов понижения размерности задачи

Метод	Исходные данные	Метод «крупных» элементов					Метод критериальных состояний	
Количество элементов (блоков) критериальных состояний	27	10	8	6	4	2	4	2
Размерность	2^{27}	2^{10}	256	64	16	4	16	4
Среднеквадратическое отклонение между фактической и теоретической величиной, %	–	1,9	2,5	4,8	7,3	13,4	9,5	27
Машинное время решения задачи, мин.	–	70	15	2	<1	<1	<1	<1

Найденные значения технической эффективности РТК из решения задачи используются в программном комплексе для оптимизации технического обслуживания. Из табл. 1. следует, что по точности вычислений наиболее

подходящим является метод «крупных» элементов с числом блоков 10 и 8. Поэтому для понижения размерности задачи определения технической эффективности РТК целесообразно использовать метод «крупных» элементов с числом блоков 8, так как он требует минимального времени для вычислений.

Список литературы

1. Балакирев, В.С. Надежность систем автоматизации : учеб. пособие для вузов / В.С. Балакирев ; Саратовский гос. техн. ун-т. – Саратов : СГТУ, 2006. – 148 с.
2. Барлоу, Р. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – 2-е изд., испр. – М. : Наука, 1984. – 328 с.
3. Кельтон, В.Д. Имитационное моделирование. Классика CS : пер. с англ. / В.Д. Кельтон, А.М. Лоу. – 3-е изд.– СПб. : Питер, Издательская группа ВHV, 2004. – 848 с.
4. Надежность и эффективность в технике : справочник в 10 т. : Т. 3 / под ред. Ю.В. Крючкова и др. – М. : Машиностроение, 1988.

Eliminating of Decrease in Determination of Technical Efficiency of Robotic Complex

A.A. Bolshakov, M.S. Golik

Saratov State Technical University, Saratov

Key words and phrases: functioning model; robotic complex dimension decrease; technical efficiency.

Abstract: Methods for eliminating of dimensionality task for determination of technical efficiency of robotic complex are discussed. A comparative analysis of various methods is carried out; the best way of solving the given task is selected.

© А.А. Большаков, М.С. Голик, 2008