

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт компьютерных наук и технологий
Высшая школа программной инженерии

Лабораторная работа №4
по дисциплине «Статистическое моделирование»

Выполнил студент
гр. 33534/5

Стойкоски Н.С.

Руководитель

Чуркин В.В.

Санкт-Петербург
2019 г.

Содержание

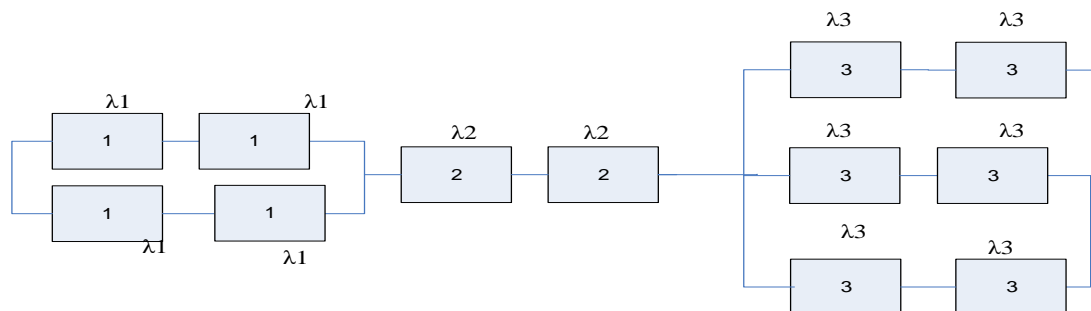
Цель работы	3
Проведение работы	4
Результаты	5
Вывод	6
Текст программы.....	6

Цель работы

Рассматривается автоматизированная система, структурно-надежностная схема которой и ЛФРС известна. Система состоит из m различных по типу элементов, по каждому типу в схеме n_i одинаковых элементов, и L_i запасных частей (ЗЧ). Поток отказов элементов системы простейший, это означает, что время наработки до отказа подчиняется экспоненциальному закону с параметром λ_i . Система функционирует в режиме непрерывного длительного применения и в случае отказа, элемент заменяется на работоспособную запасную часть, если количество оставшихся ЗЧ больше нуля. Считаем, что замена происходит быстро и то время, за которое меняется элемент, не влияет на работоспособность системы.

Требуется определить, используя метод статистического моделирования, какое минимальное количество ЗЧ необходимо, чтобы вероятность безотказной работы (ВБР) системы за время T была не менее P^0 . ЛФРС определяется из структурно-надежностной схемы системы, которая также как и остальные исходные данные для решения задачи приведены ниже по вариантно. Номер варианта выбирает преподаватель. Количество реализаций случайной величины N для получения результатов с требуемой точностью необходимо обосновать.

Вариант № 5.



Запасные части

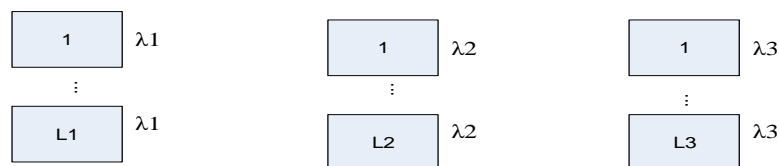


Рисунок 5. Структурно-надежностная схема системы.

$$m = 3; \lambda_1 = 40 \cdot 10^{-6}, \lambda_2 = 10 \cdot 10^{-6}, \lambda_3 = 80 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}; P^0 = 0,999; T = 8760 \text{ ч.}$$

Проведение работы

Была написана программа на языке python для моделирования работы системы.

Значение ε было выбрано равным 0.001. Вероятность $P = 0.999$. Квантиль нормального распределения для достоверности 0.999 равен 3,090.

Число итераций было определено по формуле:

$$N = t_{\alpha}^2 \frac{p(1-p)}{\varepsilon^2} = 9538$$

Обобщенный алгоритм вычисления ВБР системы $p(T)$ следующий:

Цикл от 1 до N, где N – количество итераций МСМ

Цикл по i от 1 до m

1. Генерирование n_i СВ времени отказа каждого модуля в структуре с экспоненциальным законом распределения $t_l = -\ln(\alpha) / \lambda$, $l = 1..n$, α – СВ с равномерным распределением в интервале $[0,1]$.
2. Цикл от 0 до L_i

Вычисление l , такого что $t_l = \min(t_1, \dots, t_n)$.

Генерирование СВ времени отказа элемента, введенного на замену

$$t_l = t_l - \ln(\alpha) / \lambda.$$

Конец цикла по i от 1 до m

Конец цикла от 1 до N

Если ЛФРС структуры равна 0 (вычисляется подстановкой в качестве булевых переменных в ЛФРС - $x_l = \begin{cases} 0, t_l \leq T \\ 1, t_l > T \end{cases}$), то увеличение счетчика количества отказов d .

- $p(T) = 1 - d/N$.
- Конец алгоритма.

Результаты

LSum [L[0], L[1], L[2]]

```
0   [0 0 0] P(T) = 0.3455
1   [0 0 1] P(T) = 0.4420
1   [0 1 0] P(T) = 0.4201
1   [1 0 0] P(T) = 0.4256
2   [0 0 2] P(T) = 0.5167
2   [0 1 1] P(T) = 0.5086
2   [0 2 0] P(T) = 0.4250
2   [1 0 1] P(T) = 0.5274
2   [1 1 0] P(T) = 0.5031
2   [2 0 0] P(T) = 0.4657
3   [0 0 3] P(T) = 0.5634
...
17  [ 5  1 11] P(T) = 0.9861
17  [ 5  2 10] P(T) = 0.9988
17  [5 3 9] P(T) = 0.9991 OK
17  [5 4 8] P(T) = 0.9986
17  [5 5 7] P(T) = 0.9953
17  [5 6 6] P(T) = 0.9910
17  [5 7 5] P(T) = 0.9752
17  [5 8 4] P(T) = 0.9487
17  [5 9 3] P(T) = 0.8999
17  [ 5 10  2] P(T) = 0.8206
17  [ 5 11  1] P(T) = 0.7023
17  [ 5 12  0] P(T) = 0.5685
17  [ 6  0 11] P(T) = 0.8408
17  [ 6  1 10] P(T) = 0.9868
17  [6 2 9] P(T) = 0.9991 OK
17  [6 3 8] P(T) = 0.9986
17  [6 4 7] P(T) = 0.9969
17  [6 5 6] P(T) = 0.9901
17  [6 6 5] P(T) = 0.9792
...
```

По результатам моделирования можно сделать вывод, что минимальное количество ЗЧ необходимо, чтобы вероятность безотказной работы системы за время $T=8760$ ч была не менее $P^0=0.999$ равно 17.

Возможные распределения ЗЧ: [5, 3, 9], [6, 2, 9]

Вывод

В процессе работы была смоделирована работа автоматизированной системы, и было выявлено необходимое количество запасных частей для безотказной системы в течение указанного периода времени с заданной вероятностью. Перед началом моделирования было определено число итераций моделирования, исходя из точности оценки вероятности.

Текст программы

```
import numpy as np
from itertools import product
import math
from random import random as rand

def schemeWorking(x, part):
    if part == 0:
        return (x[0][0] and x[0][1]) or (x[0][2] and x[0][3])
    if part == 1:
        return x[1][0] and x[1][1]
    if part == 2:
        return (x[2][0] and x[2][1]) or (x[2][2] and x[2][3]) or (x[2][4] and x[2][5])

M, T, P0, eps, ta = 3, 8760, 0.999, 0.001, 3.090
lam = [40e-6, 10e-6, 80e-6]
n = [4, 2, 6]
N = int(ta**2 * ((P0*(1-P0)) / eps**2))
t = [[0 for _ in range(n[i])] for i in range(M)]
x = [[False for _ in range(n[i])] for i in range(M)]

for Lsum in range(100):

    L = [np.array(i) for i in product(range(Lsum + 1), repeat=M) if sum(i) == Lsum]

    for Lidx in range(len(L)):
        d = 0
        for _ in range(N):
            for i in range(M):

                for j in range(n[i]):
                    t[i][j] = -math.log(rand())/lam[i]

                idMin = np.argmin(t[i])
                for _ in range(L[Lidx][i]):
                    t[i][idMin] -= math.log(rand())/lam[i]
                    idMin = np.argmin(t[i])

                for j in range(n[i]):
                    x[i][j] = t[i][j] > T

            if not schemeWorking(x, i):
                d += 1
            break
        PT = 1 - d/N
        print(Lsum, ' ', L[Lidx], 'P(T) = {:.4f}'.format(PT), end = ' ')
        if(PT > P0):
            print('OK')
        else:
            print()
```