Оценка показателей надежности сетей связи

Сети связи относятся к сложным системам, имеющим, как правило, внутреннюю избыточность, при которой выходы из строя отдельных узлов могут не приводить к прекращению обмена сообщениями между другими узлами сети. Ниже рассмотрен вариант оценки показателей надежности между двумя фиксированными узлами сети. Отказом системы считается такое сочетание вышедших узлов в сети, при котором все соединительные тракты передачи между рассматриваемыми узлами прерываются.

Известны аналитические методы оценок показателей надежности сетевых структур – полный перебор всех состояний, нахождение возможных путей, определение возможных сечений, метод особой точки, логико-вероятностные методы. Получили развитие методы решений на основе теории графов. Однако для сетей большой размерности наиболее приемлемым методом будет имитационное моделирование.

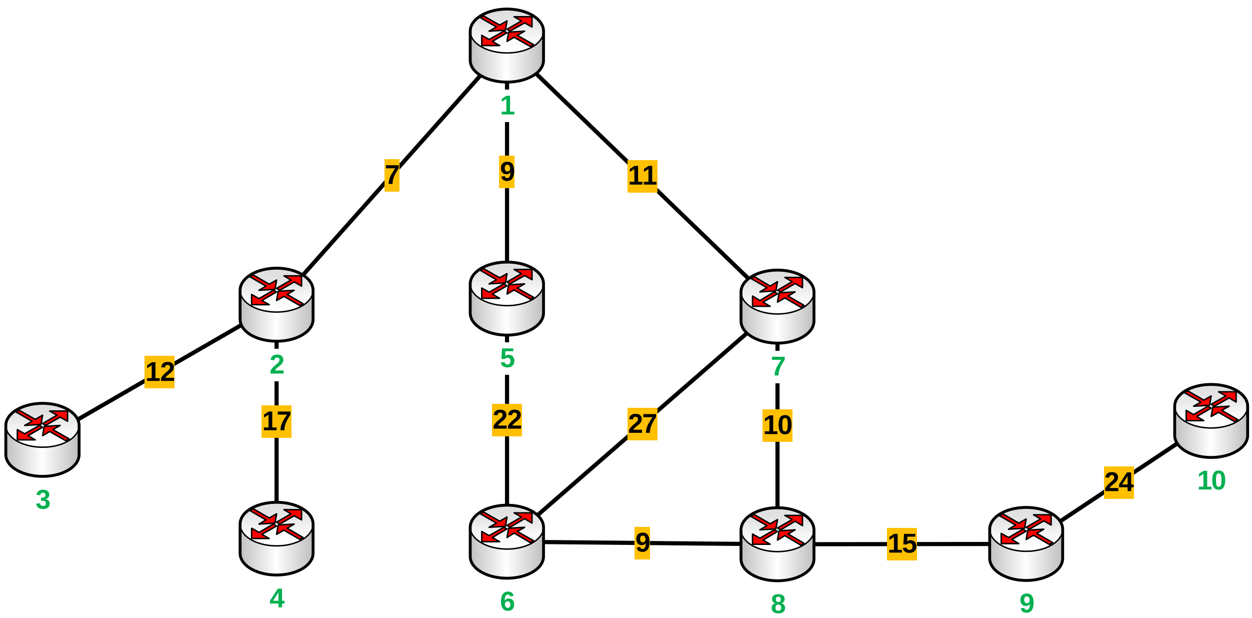

Рисунок 1 – Пример исследуемой сети связи.

Процесс моделирования продолжается до достижения заданного числа отказов в сети связи N.

Предположим, в качестве начального и конечного узлов были выбраны узел 1 и узел 9, соответственно. На первом этапе определим все возможные пути (цепи) между узлом 1 и узлом 9:

1 – 5 – 6 – 8 – 9

1 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9

1 – 7 – 8 – 9

1– 7 – 6 – 8 – 9

Для моделирования отказа n элементов сети связи определим суммарную интенсивность отказов как $\Lambda = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$. Найдем условные интенсивности отказов элементов сети связи как $\gamma_i = \frac{\lambda_i}{\Lambda}$.

Определим соответствие между вероятностью отказа i-го элемента сети связи и интервалом, пропорциональным его интенсивности отказа λ_i. Разобьем интервал $[0,1]$ на n интервалов так, чтобы длина i-го интервала равнялась γ_i. Выбирая из равномерного в интервале $[0,1]$ распределения случайную величину ξ_i, будем определять, на какой интервал попадает случайная величина ξ_i. Попадание случайной величины на i-й интервал задает отказ i-го элемента.

Очевидно, что при достаточно большом количестве испытаний количество попаданий на i-й интервал будет пропорционально его ширине – интенсивности отказа λ_i, т.е. отказы элементов сети связи воспроизводятся в соответствии с заданными интенсивностями.

После определения отказавшего элемента сети связи путем розыгрыша случайной величины ξ_i, необходимо определить время до отказа этого элемента t_i. Для экспоненциального распределения времен отказов $t_i = -\frac{1}{\lambda} ln(\xi_i)$.

Далее необходимо произвести корректировку возможных путей между начальным и конечным узлами посредством исключения путей, проходящих через отказавший узел или линию связи.

Предположим последовательно отказали узлы 2, 5, 6, 7.

Полученные пути от узла 1 до узла 9 не включают узел 2, поэтому отказ узла 2 не скажется на отказе системы.

После отказа узла 5 необходимо скорректировать все возможные пути (цепи) между узлом 1 и узлом 9:

~~1 – 5 – 6 – 8 – 9~~

~~1 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9~~

1 – 7 – 8 – 9

1 – 7 – 6 – 8 – 9

Отказ элемента сети связи не обязательно приводит к отказу системы. Между узлом 1 и узлом 9 имеются пути, поэтому отказ системы не наступил.

Аналогично, после отказа узла 6 необходимо скорректировать все возможные пути (цепи) между узлом 1 и узлом 9:

~~1 – 5 – 6 – 8 – 9~~

~~1 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9~~

1 – 7 – 8 – 9

~~1 – 7 – 6 – 8 – 9~~

После отказа узла 7 происходит отказ системы, т.к. между узлом 1 и узлом 9 отсутствуют тракты передачи.

~~1 – 5 – 6 – 8 – 9~~

~~1 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9~~

~~1 – 7 – 8 – 9~~

~~1 – 7 – 6 – 8 – 9~~

Время до отказа системы будет определяться выражением:

$$T_c = t_2 + t_5 + t_6 + t_7$$

Оценку показателей надежности для сети с восстановлением необходимо производить с учетом условий восстановления отказавшего узла. Восстановление начинается сразу же после отказа любого узла, время восстановления не зависит от состояния сети.

Восстановление может быть полностью ограниченным, когда обслуживание системы производится одной ремонтной единицей, ограниченным, если имеется более одной ремонтной единицы, но при этом может образоваться очередь на обслуживание вследствие нехватки ремонтных единиц. Восстановление может быть неограниченным, если ремонтных единиц достаточно для одновременного обслуживания всех отказавших элементов. Время восстановления элемента не зависит от состояния системы, т.к. отсутствует ожидание в очереди на обслуживание, а процессы функционирования по отказам и ремонтам полностью независимы.

Задание

Разработать приложение оценки показателей надежности сети связи из не менее 10 узлов методами имитационного моделирования и сопутствующую разработке документацию на основе следующих входных данных:

1. Топология сети связи, в общем виде представляющая собой связный мультиграф, и заданная любым способом, например, в виде матрицы смежности или матрицы инцидентности.
2. Значения L_{ij} длин линий связи между узлами сети.
3. Значения λ_i интенсивностей отказов узлов сети связи. Значения λ_{ij} рассчитываются по таблице 1.
4. Значения λ_{ij} интенсивностей отказов линий связи между узлами сети, которые рассчитываются как $\lambda_{ij} = L_{ij} \cdot \lambda_{\text{св}}$, где $\lambda_{\text{св}}$ – удельная интенсивность отказа линий связи.
5. Значение μ или значения μ_k интенсивностей восстановлений, где k –количество ремонтных бригад.
6. Закон распределения времен отказов элементов сети связи.
7. Закон распределения времен восстановлений элементов сети связи.

8. Номер начального и конечного узлов для поиска возможных трактов передачи между ними.
9. $N -$ количество отказов в сети связи, разыгрываемых на ЭВМ в процессе моделирования. Задается значение порядка 10^4.
10. Дисциплина восстановления.

Результатами моделирования являются:

1. Минимальное время до отказа сети связи.
2. Максимальное время до отказа сети связи.
3. Средняя наработка до отказа сети связи.
4. Среднее время восстановления отказа сети связи.
5. Коэффициент готовности.
6. Список путей (цепей) между выбранными узлами.
7. Вероятность безотказной работы системы.
8. График зависимости вероятности безотказной работы системы от времени.
9. Гистограмма времен отказов сети связи.
10. Диаграмма восстановления.

Семестровая работа проводится в учебных группах с целью закрепления пройденного теоретического материала, излагаемого в лекциях, а также получения навыков в использовании имитационных моделей систем.

Семестровая работа представляется преподавателю в следующих вариантах:

1. В электронном виде в формате doc или rtf по адресу электронной почты azemtsow@mail.ru для предварительной проверки.

2. В распечатанном виде.

Методика выбора варианта

Выбор топологии сети связи, а также длин линий связи между узлами выбирается студентом по согласованию с преподавателем или самостоятельно. В ходе проведения экспериментов необходимо изменять интенсивности отказов элементов на 2-3 порядка. В отчете также желательно привести результаты исследования типовых топологий сети связи: линейной, кольцевой и древовидной.

Основные требования и рекомендации

1. Программирование должно осуществляться на языке высокого уровня, который выбирается студентом на основе собственных предпочтений. Для разработки модулей, непосредственно осуществляющих моделирование, не допускается использование готовых программных средств, созданных не студентом, выполняющим задание.
2. Оформление выполняется с помощью шрифта Times New Roman, размер шрифта – 14, интервал – полуторный. Документация должна содержать титульный лист, оглавление, нумерацию страниц, титульный лист, список использованной литературы. Формулы оформляются в редакторе Microsoft Equation.
3. Контрольная работа сдается преподавателю не позднее, чем за 10 дней до начала сессии.

Таблица 1

Элемент	$10^{-6}\frac{1}{час}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ИМС	0.1	57	96	115	128	87	65	78	107	93	81
БИС	0.3	12	14	22	11	14	18	27	16	31	12
СБИС	1.0	7	2	8	5	4	11	12	9	8	3
ИМС, стаб. преобр. V	1.0	12	7	6	8	5	4	7	3	4	6
Диод мал.	0.02	28	32	41	12	54	48	37	45	27	14
Диод мощ.	0.5	14	16	22	10	27	24	19	22	23	8
Транз. мал.	0.05	57	48	42	63	74	25	81	16	27	47
Транз. мощ.	0.3	32	31	23	42	71	16	43	11	18	12
Конденс.	0.002	45	74	85	43	84	55	52	14	25	37
Конденс. эл.	0.04	32	62	68	32	41	37	42	12	18	31
Резистор	0.01	112	97	82	117	93	85	74	67	84	38
Резистор мощ.	0.1	72	76	85	88	77	63	71	64	81	19
Трансф. нес.	0.1	5	8	2	12	11	14	3	2	8	7
Трансф. сил.	0.2	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-
Пайка	0.0001	718	823	871	732	620	730	576	812	914	637
Разъем внеш.	3.5	2	-	-	1	2	-	1	-	1	-
Разъем внут.	2.0	-	2	2	3	-	2	1	3	-	1
Сердечник	0.00001	-	-	500	-	300	-	670	-	520	-
Выключат.	0.2	2	1	-	-	3	-	-	2	-	-
Лампочка	0.5	2	8	4	-	5	-	8	-	3	-
Предохр.	0.1	1	-	-	1	1	-	-	1	-	-
Выкл. сети	0.5	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Вентилятор	3.0	-	1	-	-	1	-	1	-	-	-
$\lambda_{св}$	0.2										

Таблица 2

Наименование и параметры распределения	Плотность распределения	Математическое ожидание	Дисперсия	Формула для вычисления случайного числа
Равномерное в интервале (a, b)	$f(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{b-a}, a\le x\le b;\\ 0, x<a, x>b\end{cases}$	$\dfrac{a+b}{2}$	$\dfrac{(b-a)^2}{12}$	$x_i=a+(b-a)\xi_i$
Экспоненциальное с параметром λ	$f(x)=\begin{cases}\lambda e^{-\lambda x}, x>0;\\ 0, x\le 0\end{cases}$	$\dfrac{1}{\lambda}$	$\dfrac{1}{\lambda^2}$	$x_i=-\dfrac{1}{\lambda}\ln\xi_i$
Сдвинутое экспоненциальное с параметрами λ и b (параметр сдвига)	$f(x)=\begin{cases}\lambda e^{-\lambda(x-b)}, x\ge b;\\ 0, x<b\end{cases}$	$b+\dfrac{1}{\lambda}$	$\dfrac{1}{\lambda^2}$	$x_i=b-\dfrac{1}{\lambda}\ln\xi_i$
Нормальное с параметрами a (математическое ожидание) и σ^2 (дисперсия)	$f(x)=\dfrac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}};$ $-\infty<x<\infty$	a	σ^2	$x_i=a+\gamma_i\sigma$
Логарифмически нормальное с параметрами a и σ	$f(x)=\begin{cases}\dfrac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x}e^{-\frac{(\ln x-a)^2}{2\sigma^2}}, x>0;\\ 0, x\le 0\end{cases}$	$e^{a+\frac{\sigma^2}{2}}$	$e^{2a+\sigma^2}(e^{\sigma^2}-1)$	$x_i=\exp\left(\dfrac{a+\sigma\gamma_i}{M}\right),$ где $M=\lg e=0{,}4343$
Эрланга с параметрами k и β	$f(x)=\begin{cases}\dfrac{\beta^k}{\Gamma(k)}x^{k-1}e^{-\beta x}, x>0;\\ 0, x\le 0\end{cases}$	$\dfrac{k}{\beta}$	$\dfrac{k}{\beta^2}$	$x_i=-\dfrac{1}{\beta}\ln(\xi_1\xi_2...\xi_k)$
χ^2 с параметром n (число степеней свободы)	$f(x)=\begin{cases}\dfrac{x^{\frac{n}{2}-1}}{2^{n/2}\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}e^{-\frac{x}{2}}, x>0;\\ 0, x\le 0\end{cases}$	n	$2n$	$x_i=\sum_1^n\gamma_j^2$
Вейбулла с параметрами α (масштабный параметр) и k (параметр, определяющий асимметрию и эксцесс)	$f(x)=\begin{cases}\alpha kx^{k-1}e^{-\alpha x^k}, x>0;\\ 0, x\le 0\end{cases}$	$\dfrac{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)}{\alpha^{\frac{2}{k}}}$	$\dfrac{\Gamma\left(1+\frac{2}{k}\right)-\Gamma^2\left(1+\frac{1}{k}\right)}{\alpha^{\frac{2}{k}}}$	$x_i=\sqrt[k]{-\dfrac{1}{\alpha}\ln\xi_i}$
Релея а параметром σ	$f(x)=\begin{cases}\dfrac{x}{\sigma^2}e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, x>0;\\ 0, x\le 0\end{cases}$	$\sigma\sqrt{\dfrac{\pi}{2}}$	$0{,}429\sigma^2$	$x_i=\sigma\sqrt{-2\ln\xi_i}$
Стьюдента с параметром n (число степеней свободы)	$f(x)=\dfrac{\Gamma\left(\frac{n+2}{2}\right)\left(1+\frac{x^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}}}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)\sqrt{\pi\cdot n}};$ $-\infty<x<\infty$	0	$\dfrac{1}{\frac{n}{2}-2}$	$x_i=\dfrac{\gamma_i\sqrt{n}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n\gamma_j^2}}$

Фишера с параметрами n_1 и n_2 (число степеней свободы)	$f(x)=\dfrac{\Gamma\left(\frac{n_1+n_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n_1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{n_2}{2}\right)}\left(\dfrac{n_1}{n_2}\right)^{\frac{n_1}{2}}\times$ $\times x^{\frac{n_1}{2}-1}\left(1+\dfrac{n_1}{n_2}x\right)^{-\frac{n_1+n_2}{2}}, x>0$ $f(x)=0, x\le 0$	$\dfrac{n_2}{n_2-2}$	$\dfrac{2n_2^2(n_1+n_2-2)}{n_1(n_2-2)^2(n_2-4)}$	$x_i=\dfrac{n_2\sum_{j=1}^{n_1}\gamma_j^2}{n_1\sum_{j=n_1+1}^{n_1+n_2}\gamma_j^2}$
Бета с параметрами n и m (число степеней свободы)	$f(x)=\dfrac{\Gamma\left(\frac{m+n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{m}{2}\right)\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}x^{\frac{m}{2}-1}\times$ $\times(1-x)^{\frac{n}{2}-1},$ $0\le x\le 1$ $f(x)=0, x<0, x>1$	$\dfrac{m}{m+n}$	$\dfrac{2mn}{(m+n)^2(m+n+2)}$	$x_i=\dfrac{\sum_{k=1}^{m}\gamma_k^2}{\sum_{j=1}^{m+n}\gamma_j^2}$

ξ_i – случайное число с равномерным законом распределения в интервале (0,1), $\gamma_i=\sum_{j=1}^{12}\xi_i-6$.