

## ФОРМИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ

Институт компьютерных технологий  
Национального авиационного университета

*Рассмотрено моделирование процессов телекоммуникационной сети и применение циклических алгоритмов для построения алгоритма анализа сети*

### Введение

В настоящее время компании используют телекоммуникационные сети, которые характеризуется надёжностью и производительностью функционирования [1, 2]. Для оценки надёжности сети разрабатываются программные модули, моделирующие сети и происходящие в них процессы.

### Постановка задачи

Разработать алгоритм решения задачи количественного анализа телекоммуникационной сети. Для решения данной задачи необходимо:

1. Сформировать структуру процессов деградации и восстановления телекоммуникационной сети.
2. Вывести формулу нахождения количественной характеристики телекоммуникационной сети (ТС), которой является коэффициент готовности сети  $K_{гс}$ .
3. Представить алгоритм решения задачи анализа ТС с помощью циклических диаграмм.

### Циклические диаграммы

Для представления алгоритмов программ необходимо рассмотреть вопрос графического представления циклических вычислений – циклическую диаграмму. На рис. 1 представлена потоковая диаграмма, которая обеспечивает циклическое протекание информации путем организации *while* – цикла. Средством этой диаграммы представляется одна из самых основных идей языков программирования.

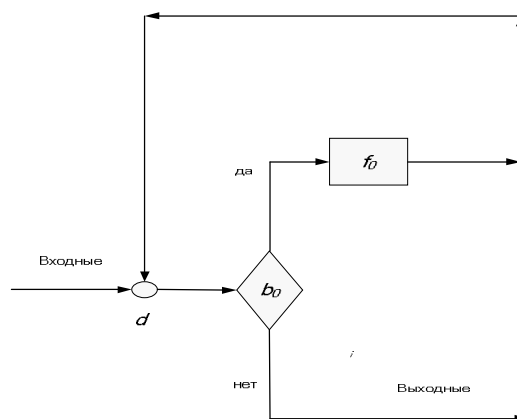


Рис. 1. Конечное представление потоковой диаграммы *while* - цикла

С интуитивной точки зрения идея достаточно прозрачна. Информация подается на вход и подвергается тестированию посредством  $b_0$ . В случае положительного результата тестирования информация подвергается преобразованию  $f_0$  и снова отводится ко входному каналу тестирования, подготавливаясь к вторичному прохождению через тот же самый цикл. Повторная циркуляция информации продолжается до тех пор, пока результат тестирования является положительным. В ходе такой циркуляции возникает кумулятивный эффект повтора преобразования потока информации, который может привести в определенный момент к отрицательному результату тестирования, если только в подобной процедуре предусмотрен выход из цикла. В этом случае обеспечивается выход потока информации из цикла.

Приступим к обсуждению интуитивного смысла рассмотренных преобра-

зований інформації. Прежде всего проанализируем смысл представленных диаграмм, для чего воспользуемся символизацией. Используются обозначения  $b_0$  для теста и  $f_0$  для преобразования потока информации. Кроме того, всю потоковую диаграмму в целом обозначим через  $d$ . В соответствии с представлением на рис. 1, поток информации, поступающий на вход диаграммы  $d$  проходит сначала через логическое тестирование  $b_0$ , затем подвергается преобразованию  $f_0$ , а после этого диаграмма, рассматриваемая в качестве канала протекания информации, воспроизводит сама себя  $d$ . Представленное рассуждение можно записать алгебраически следующим образом:

$$\Phi(x) = (b_0 \rightarrow (f_0; x), I), \quad d = (b_0 \rightarrow (f_0; d), I).$$

Такая запись как раз и означает, что выход из цикла достигается при отрицательном результате логического теста. При положительном результате тестирования преобразование  $f_0$  комбинируется с тем преобразованием, которое непосредственно за ним следует. Таким образом, потоковая диаграмма содержит сама себя в качестве составной части.

**Процесс деградации и восстановления телекоммуникационной сети**

На рис. 2 изображена в виде графов, формальная модель процесса деградации четыреххранговой топологии ТС [3].

Каждый ярус отражает состояния сети с разной степенью связности УК, объединенные в соответствующие группы. УК 1,4 имеют  $l_{ij}=2$  а УК 2,3- $l_{ij}=3$  соответственно.

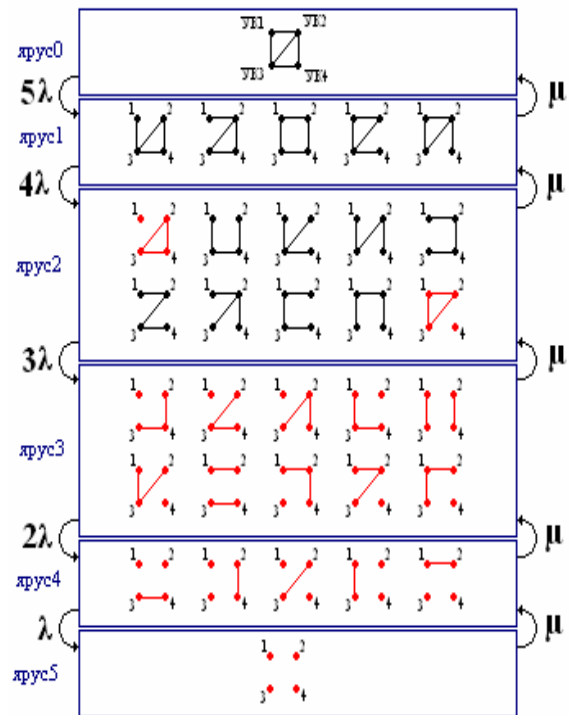
В комбинаторике  $C_n^m$  (число сочетаний из  $n$  элементов по  $m$ ) определяется по формуле [4]:

$$C_n^m = \frac{n!}{(n-m)!m!}, \quad (1)$$

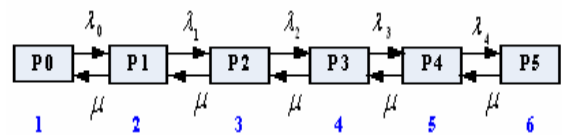
где  $n$  – общее число линий связи в сети;  $m$  – число отказавших линий связи на  $k$ -м ярусе.

На нулевом ярусе все УК имеют все

исправные ЛС. Это состояние полностью связанной сети, где выполняется для каждого УК условие  $\min l \geq 1$ .



а



б

Рис. 2. Формирование модели процесса деградации четыреххранговой сети с учетом недостаточной интенсивности восстановления линий связи

На первом ярусе (число состояний  $C_5^1 = 5$ , связность  $\min l \geq 1$ ) остается во всех состояниях. Таким образом, это ярус нормального функционирования ( $P_{кр}=0$  и  $P_n=1$ ).

Следующий ярус (число состояний  $C_5^2 = 10$ , из них два состояния приводят к локализации УК со связностью равной нулю). Для данного яруса коэффициент связности  $K_{св}$  (при  $l \geq 1$ ) можно рассчитать по следующей формуле:

$$K_{св}^{l \geq 1} = \frac{M_{\bar{y}} - M_{\bar{e}\bar{e}}}{M_{\bar{y}}}, \quad (2)$$

где  $M_{я}$  – общее число состояний яруса;  $M_{лок}$  – число состояний на ярусе с локальными УК или состояний, которые являются сегментами сети. Соответственно, коэффициент потери связности третьего яруса  $K_{\bar{m}\bar{y}}^{l \geq 1}$  можно рассчитать следующим

$$\text{образом: } K_{\bar{m}\bar{y}}^{l \geq 1} = \frac{M_{\bar{e}\bar{e}}}{M_{\bar{y}}} = \frac{2}{10} = 0,2.$$

Это ярус ненадежного функционирования с точки зрения обеспечения связности, так как есть УК у которых минимальная связность  $l=0$ , хотя вероятность локализации УК относительно мала ( $P_{лок}=0,2$ ). Для последующих ярусов  $K_{с\bar{я}}$  будет соответственно падать.

Коэффициент готовности сети рассчитывается как сумма произведений вероятностей переходов в яруса на вероят-

$$P_0 + P_0 * 5 * \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) + P_0 * 20 * \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + P_0 * 60 * \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 + P_0 * 120 * \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^4 + P_0 * 120 * \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^5 = 1, \quad (5)$$

$$P_0 \sum_{j=0}^{N\bar{e}\bar{n}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j * \frac{N\bar{e}\bar{n}!}{(N\bar{e}\bar{n}-j)!} = 1, \text{ Следовательно}$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{j=0}^{N\bar{e}\bar{n}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j * \frac{N\bar{e}\bar{n}!}{(N\bar{e}\bar{n}-j)!}}.$$

Имея значение  $P_0$  можно рассчитать вероятность попадания в  $i$ -й ярус следующим образом:

$$P_i = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i * \frac{N\bar{e}\bar{n}!}{(N\bar{e}\bar{n}-i)!}}{\sum_{j=0}^{N\bar{e}\bar{n}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j * \frac{N\bar{e}\bar{n}!}{(N\bar{e}\bar{n}-j)!}} = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i * \frac{N\bar{e}\bar{n}!}{(N\bar{e}\bar{n}-i)!}}{\sum_{j=0}^{N\bar{e}\bar{n}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j * \frac{N\bar{e}\bar{n}!}{(N\bar{e}\bar{n}-j)!}} \quad (6)$$

Итак, формула для расчета коэффициента готовности принимает следующий вид:

$$\hat{E}_{\bar{a}\bar{n}} = \sum_{i=0}^{N\bar{e}\bar{n}} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i * \frac{N\bar{e}\bar{n}!}{(N\bar{e}\bar{n}-i)!}}{\sum_{j=0}^{N\bar{e}\bar{n}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j * \frac{N\bar{e}\bar{n}!}{(N\bar{e}\bar{n}-j)!}} * \frac{M_{\bar{y}_{-i}}^{l \geq 1} - M_{\bar{y}_{-i}}^{l < 1}}{M_{\bar{y}_{-i}}}, \quad (7)$$

ности нормального функционирования сети в этих ярусах.

Таким образом, формула для расчета коэффициента готовности будет иметь следующий вид:

$$\hat{E}_{\bar{a}\bar{n}} = \sum_{i=0}^{N\bar{e}\bar{n}} P_i * P_{i\bar{o}_{-i}}^{l \geq 1}. \quad (3)$$

Вероятность нормального функционирования  $i$ -го яруса можно выразить следующей формулой:

$$P_{i\bar{o}_{-i}}^{l \geq 1} = \frac{M_{\bar{y}_{-i}}^{l \geq 1} - M_{\bar{y}_{-i}}^{l < 1}}{M_{\bar{y}_{-i}}}. \quad (4)$$

Вероятность  $P_i$  можно найти из нормализующего уравнения для рис. 2, б.

где  $N_{лс}$  – изначальное количество линий связи в сети;

$M_{я_{-i}}^{l \geq 1}$  – число состояний на  $i$ -ом ярусе, у которых связность  $l_{ij} \geq 1$ ;

$M_{я_{-i}}^{l < 1}$  – число состояний на  $i$ -м ярусе, у которых связность  $l_{ij} < 1$ ;

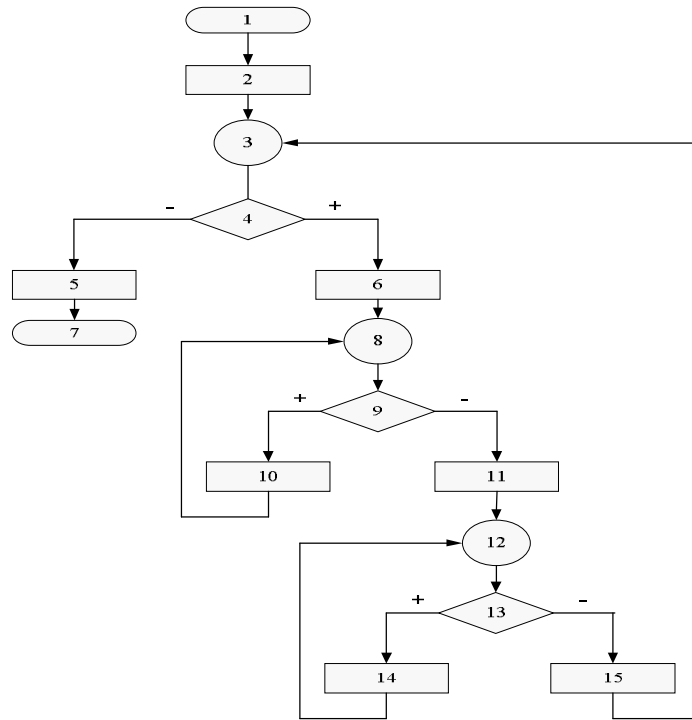
$M_{я_{-i}}$  – общее число состояний на  $i$ -ом ярусе;

$\lambda$  – интенсивность отказа ЛС;

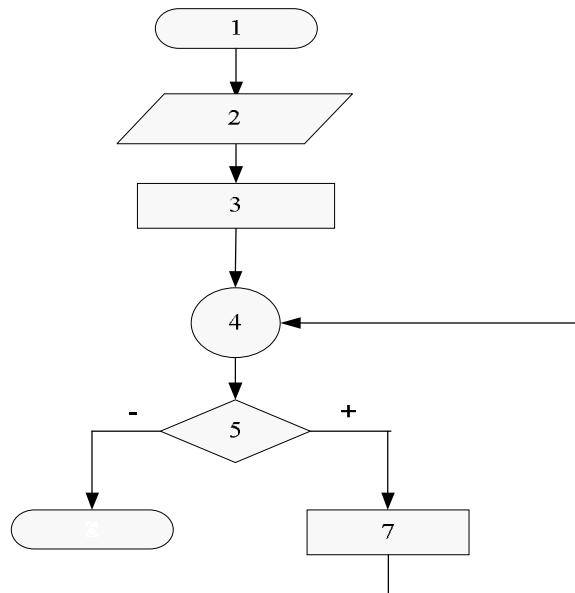
$\mu$  – интенсивность восстановления ЛС.

Используя циклические диаграммы, можно представить работу алгоритма вычисления коэффициента готовности сети по формуле (7) и вывода графика зависимости  $K_{с\bar{я}}$  от интенсивности отказов ЛС в целом [6, 7].

На рис. 3 представлены алгоритмы для программного модуля расчета коэффициента готовности телекоммуникационной сети.



a



б

Рис. 3. Алгоритмы для программного модуля расчёта коэффициента готовности телекоммуникационной сети:

- a) алгоритм нахождения коэффициента готовности сети;
- б) алгоритм работы программы

Ниже приведено описание операторов алгоритма для программного модуля расчёта коэффициента готовности телекоммуникационной сети (рис. 3, a):

1. Вход в подпрограмму;
2. Обнуление временных переменных:  $i, K_{гс}$ ;
3. Оператор потока информации в который помещается переменная  $i$ ;
4. Сравнение  $i < N_{лс}$ ;
5. Вывод  $K_{гс}$ ;
6. Обнуление переменных  $j, P_0'$ , где  $P_0' = P_0^{-1}$  – знаменатель формулы  $K_{гс}$ ;

7. Завершение работы подпрограммы;
8. Оператор потока информации в который помещается переменная  $j$ ;
9. Сравнение  $j < N_{лс}$ ;
10. Нахождение знаменателя

$$P_0' := P_0' + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j * \frac{N\bar{n}!}{(N\bar{n} - j)!};$$

11. Обнуление переменных  $s$ ,  $P_{нф-i}^{l \geq 1}$ , где  $s$  – номер состояния;
12. Оператор потока информации в который помещается переменная  $s$ ;
13. Проверка  $s < C_{N\bar{n}}^i$ ;
14. Подсчет хорошего либо плохого состояния;
15. Инкремент переменной  $i$ .

Приведем основные операторы алгоритма для работы программы (рис. 3, б)

1. Начало работы программы;
2. Ввод всей необходимой информации: топология,  $\lambda_{max}$ ,  $\mu$ ,  $l_{ij}$ ,  $d_i$ ;
3. Обнуление переменной  $l$ , которая будет содержать изменяющееся значение  $\lambda$ ;
4. Оператор потока информации в который помещается переменная  $\lambda$ ;
5. Проверка условия  $\lambda < \lambda_{max}$ ;
6. Завершение работы программы;
7. Подсчёт  $K_{зс}$ , для этого производится вызов подпрограммы нахождения коэффициента готовности сети, построение очередного отрезка на графике, инкремент  $\lambda$  на  $d_i$ ;

### Выводы

Разработанный алгоритм позволяет получить предварительную оценку надежности функционирования телекоммуникационной сети без проведения большого объема экспериментальных исследований.

Можно сделать вывод о том, что более высокая интенсивность восстановления ЛС позволяет обеспечить надежность функционирования ТС для заданных критериев связности  $l_{ij}$ . Кроме того, на реконфигурацию топологии существенно влияют требования к связности УК.

Важно отметить, что проводится анализ по всем ярусам деградации сети, что позволяет учитывать вероятности нахождения сети во всех состояниях  $P_{k_i}$ , где выполняется условие  $l \geq l_{mp}$  (т.е. учитываются абсолютно все надежные состояния), поэтому высокая точность оценки  $K_{зс}$  обеспечивается полностью.

### Список литературы

1. *Воройский Ф.С.* Информатика. Энциклопедический словарь - справочник: Введение в современные информационные и телекоммуникационные технологии в терминах и фактах. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 768 с.
2. *Семенов Ю.А.* Телекоммуникационные технологии <http://book.itep.ru>.
3. *Ластовченко М.М., Русецкий В.Е.* Введение критериев интегрального оценивания в системный анализ надежности функционирования широкополосной сети связи. – К.: УСИМ, 2005. – № 2. – С. 86–95.
4. *Баврин И.И., Матросов В.Л.* Краткий курс теории вероятностей и математическая статистика. – М.: Прометей, 1989. – 136 с.
5. *Вольфенгаген В.Э.* Конструкция языков программирования. Приемы описания. – М.: АО «Центр ЮрИнфор», 2001. – 276 с.
6. *Кормен Т., Лейзер Ч.* Алгоритмы. Построение и анализ. – М.: МЦНМО, 2000. – 960 с.
7. *Вольфенгаген В.Э.* Проектирование языков программирования и теория вычислений. – М.: «МИФИ», 1993. – 167 с.

Подано до редакції 25.03.10