

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ СВЯЗИ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ДЕСТРУКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

С.Н. Новиков^{1*}

¹Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
Новосибирск, 630102, Российская Федерация

*Адрес для переписки: snovikov@ngs.ru

Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Новиков С.Н. Подход к моделированию функционирования однородной ячеистой сети связи большой размерности в условиях внешних деструктивных воздействий // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 4. С. 79–87.

Аннотация: При анализе методов маршрутизации на сетях связи произвольной структуры, имеющих несколько десятков узлов коммутации, возникают проблемы, связанные с решением задач большой размерности. В данной статье предлагаются подходы, позволяющие проводить анализ методов маршрутизации с целью выявления тех методов, которые будут наиболее эффективно функционировать в предполагаемых сетях связи и в заданных условиях.

Ключевые слова: план распределения информации, метод маршрутизации, внешние деструктивные воздействия.

Введение

Спектр методов маршрутизации, которые можно применить на сетях связи, весьма широк – от простейших, фиксированных процедур, до весьма сложных. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. В работе [1] предложена классификация методов маршрутизации для сетей связи, учитывающая независимые процедуры: формирование плана распределения информации (ПРИ) на сети (протоколы маршрутизации); выбор исходящих линий, трактов, каналов связи в узлах коммутации (УК) (протоколы сигнализации). Данная классификация позволяет:

- выявить множество вариантов реализации как последовательных, так и параллельных (многопутевых) методов маршрутизации (например: «Детерминированный диффузный последовательный с использованием лавинного метода формирования ПРИ» [1] – RIP, OSPF, BGP, PNNI и др.);

- провести целенаправленный анализ и синтез тех методов маршрутизации, которые будут наиболее эффективно функционировать в предполагаемых сетях связи и в заданных условиях.

Выбор метода маршрутизации в значительной мере влияет на эффективность использования ре-

сурсов сети и качество обслуживания приложений, доступных пользователям. Вместе с тем проведение натурных исследований на действующих сетях сопряжено с существенными техническими, организационными и финансовыми трудностями. Поэтому в качестве инструментария для анализа влияния маршрутизации на QoS (от англ. Quality of Service – качество обслуживания) приложений сети связи применяют имитационное и математическое моделирование.

К настоящему времени в качестве математического аппарата используют теорию графов, массового обслуживания, цепей Маркова, нечетких множеств, нейронных сетей, игр, сетей Петри и др. Применение столь широкого диапазона математических подходов обусловлено сложностью и спецификой предмета анализа [2]. Особенно усложняется задача исследования методов маршрутизации на сетях связи больших размерностей и в условиях внешних деструктивных воздействий на ее элементы.

В данной статье предлагаются подходы моделирования методов маршрутизации на сети связи большой размерности, функционирующей в условиях внешних деструктивных воздействий.

Методика определения плана распределения информации на однородной ячеистой сети связи большой размерности

В тех случаях, когда структура сети связи приобретает некоторую регулярность, что характерно для ячеистых сетей связи, представляется возможным представить ее в виде регулярной правильной решетки. Результаты, полученные на таких структурах, могут дать асимптотические оценки для анализа методов маршрутизации и значительно уменьшить сложность алгоритмов, моделирующих эти методы.

Выберем для анализа методов маршрутизации ячеистую однородную структуру сети связи с квадратной ячейкой.

Вложим граф $G[A_S, M_S]$ ($A_S = \{a_i\}; i = \overline{1, S}$ – множество вершин, соответствующих УК; $M_S = \{m_{ij}\}; i, j = \overline{1, S}; i \neq j$ – ребра, соответствующие линиям связи (ЛС)), описывающий структуру сети, в прямоугольную систему координат так, чтобы координаты вершин графа принимали только положительные целые числа с шагом, равным единице. Тогда каждая вершина $a_i; i = \overline{1, S}$ будет иметь свой адрес с координатами $\{i, j\}$.

Исходную вершину графа, соответствующую узлу-источнику (УИ) анализируемой сети связи, поместим в начало координат. Далее будем рассматривать процедуру нахождения маршрута между любой вершиной графа $G[A_S, M_S]$, соответствующую узлу-получателю (УП), и исходной (УИ).

Пусть β_{ij} определяет число кратчайших (по числу промежуточных вершин) маршрутов между УИ с координатами $\{0, 0\}$ и вершиной $\{i, j\}; i = \overline{1, x_{\max}}; j = \overline{1, y_{\max}}$, где $x_{\max}$ и $y_{\max}$ – максимальные количества УК по осям X и Y соответственно.

Величину β_{ij} будем присваивать вершине с координатами $\{i, j\}$, имея при этом в виду, что она относится к паре УК с координатами $\{0, 0\}$ (УИ), $\{i, j\}$ (УП). Очевидно, что для однородной ячеистой сети связи с квадратной ячейкой величины β_{ij} и β_{ji} равны между собой. Все вершины графа $G[A_S, M_S]$ по отношению к вершине $\{i, j\}$ будем разделять на два подмножества A_1 и A_2 .

В подмножество A_1 входят те узлы, которые не выходят за пределы установленного прямоугольника анализируемой сети связи, ограниченного вершинами с координатами: $\{i, j\}$; $\{i, 0\}$; $\{0, 0\}$ и $\{0, j\}$ (рисунок 1). Справедливо следующее утверждение: число кратчайших маршрутов β_{ij} между УИ с координатами $\{0, 0\}$ и вершиной с координатами $\{i, j\}$ (УП) определяется только вершинами, входящими в подмножество A_1 .

Отдельно изобразим подмножество A_1 с учетом β_{ij} (рисунок 2). В результате получим перевернутый треугольник Паскаля с вершиной в начале прямоугольной системы координат.

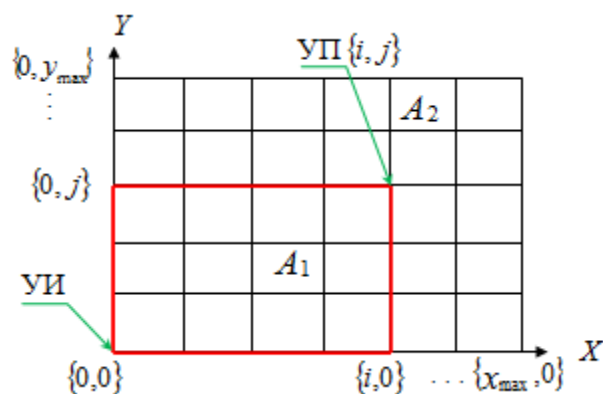


Рис. 1. Определение числа кратчайших маршрутов между УИ и УП

Биномиальные коэффициенты треугольника Паскаля будут соответствовать количеству кратчайших маршрутов между УИ и УП.

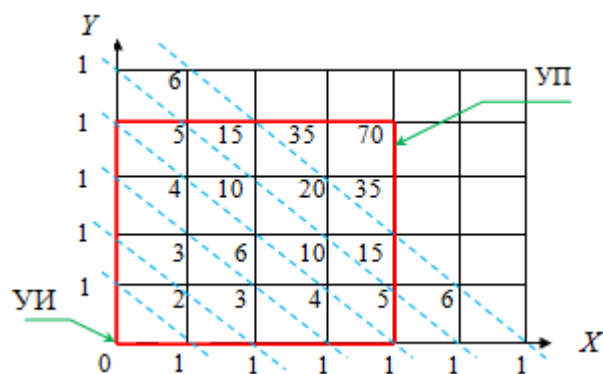


Рис. 2. Представление анализируемой сети в виде треугольника Паскаля

Учитывая это положение, несложно получить формулу, определяющую:

$$\beta_{ij} = \frac{(i+j)!}{i! \cdot j!}.$$

Для определения самих маршрутов необходимо вычислить величины:

$$p_{ij}^x = \frac{\beta_{i-1,j}}{\beta_{i,j}}; \quad p_{ij}^y = \frac{\beta_{i,j-1}}{\beta_{i,j}},$$

где $\{i-1, j\}$ и $\{i, j-1\}$ – координаты смежных узлов в подмножестве A_1 .

Очевидно, что:

$$p_{ij}^x + p_{ij}^y = 1.$$

Подставив в формулы, определяющие p_{ij}^x и p_{ij}^y , значение:

$$\beta_{ij} = \frac{(i+j)!}{i! \cdot j!},$$

получим:

$$\begin{aligned} p_x &= p_{ij}^x = \frac{i}{i+j}; \\ p_y &= p_{ij}^y = \frac{j}{i+j}. \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, для выбора более предпочтительного направления в УК по числу кратчайших маршрутов из данного УК, достаточно сопоставить между собой координаты этого узла и продолжить поиск маршрута по направлению координаты X или Y , имеющей большее значение, p_x или p_y соответственно.

Следовательно, используя простые расчеты в каждом УК, можно последовательно строить маршрут от УИ к УП. Причем величины p_x и p_y представлены в форме, удобной для применения в алгоритме маршрутизации как с детерминированным, так и со стохастическим выбором направления в УК.

Если в алгоритме маршрутизации помимо p_x и p_y учитывать и другие параметры тракта передачи сообщений (ТПС) (вероятностно-временные характеристики, определяющие QoS приложений сети связи) в направлении X и Y соответственно, Ω_{ij}^x и Ω_{ij}^y , исходящих из узла $\{i, j\}$, то тогда коэффициенты, определяющие предпочтительность выбора направления, могут быть получены из следующих выражений:

$$\begin{cases} n_x = \frac{p_x \cdot q_x}{p_x \cdot q_x + p_y \cdot q_y}; \\ n_y = \frac{p_y \cdot q_y}{p_x \cdot q_x + p_y \cdot q_y}, \end{cases} \quad (2)$$

где:

$$\begin{cases} q_x = \frac{\Omega_x}{\Omega_x + \Omega_y}; \\ q_y = \frac{\Omega_y}{\Omega_x + \Omega_y}. \end{cases} \quad (3)$$

Приведем методику формирования ПРИ на сети для некоторых методов маршрутизации, наиболее характерных для каждой группы [1].

«Градиентный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим формированием плана распределения информации метод» предусматривает установление маршрутов между парой УИ и УП с минимальным количеством транзитных УК. В случае отсутствия таких маршрутов заявка, поступившая на обслуживание от пользователя УИ, получает отказ. Выбор ТПС в каждом УК осуществляется детерминировано в соответствии с коэффициентами, рассчитанными по формуле (1). Однако в случае $p_x = p_y$ выбор исходящего ТПС осуществляется вероятностно.

Пусть $\{i, j\}$ – прямоугольные координаты УИ; $\{i', j'\}$ – координаты УП ($i, i' = 1, x_{\max}; j, j' = 1, y_{\max}$). Тогда величины $D_x = i' - i$ и $D_y = j' - j$ определяют количество транзитных УК от УИ до УП по осям X и Y соответственно. Причем знаки у D_x и D_y указывают геометрическое расположение УП относительно УИ (рисунок 3).

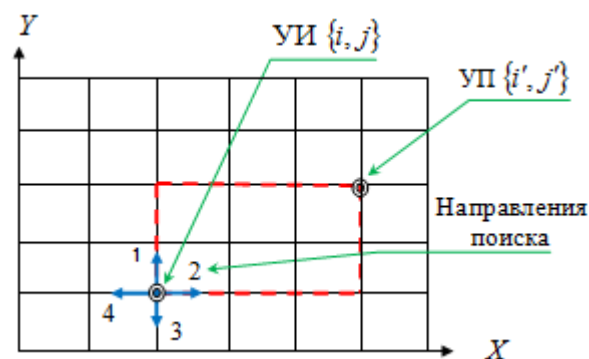


Рис. 3. Определение направлений между УИ и УП

Покажем это следующим образом:

$$\begin{cases} \text{если } D_x > 0, & \text{то 2-е направление;} \\ \text{если } D_x < 0, & \text{то 4-е направление;} \\ \text{если } D_y > 0, & \text{то 1-е направление;} \\ \text{если } D_y < 0, & \text{то 3-е направление.} \end{cases} \quad (4)$$

В этом случае алгоритм маршрутизации состоит в вычислении в каждом транзитном УК, начиная с УИ, выражений:

$$\begin{cases} D_x = i' - j; \\ D_y = j' - j; \\ P_x = \frac{|D_x|}{|D_x| + |D_y|}; \\ P_y = \frac{|D_y|}{|D_x| + |D_y|}. \end{cases} \quad (5)$$

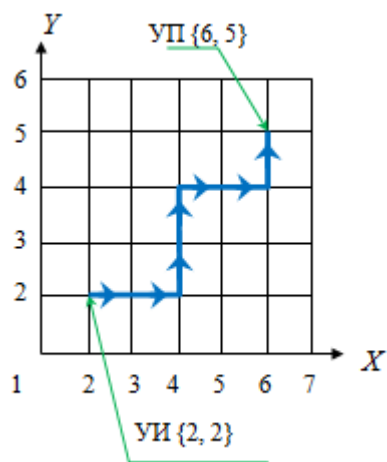
Сравнивая коэффициенты P_x и P_y между собой по алгоритму:

$$\begin{cases} \text{если } P_x > P_y, & \text{то поиск по оси } X; \\ \text{если } P_x < P_y, & \text{то поиск по оси } Y; \\ \text{если } P_x = P_y, & \text{то вероятностный выбор.} \end{cases} \quad (6)$$

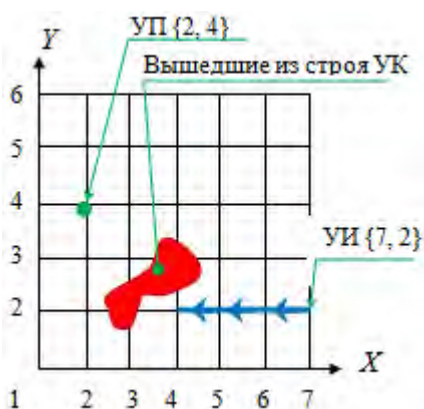
принимается решение о продолжении поиска маршрута между УИ и УП. Затем, определив знак у D_x , если сделан выбор по оси X , или у D_y , если сделан выбор по оси Y , определяется одно из четырех направлений (4) (рисунок 3), которое считается предпочтительным. Если вычисленное направление доступно, то оно подключается к ранее набранному маршруту. В противном случае определяется менее предпочтительное направление. Если и в данном случае ТПС не доступен, то поиск маршрута прерывается и заявке, поступившей на обслуживание от УИ, дается отказ.

На рисунке 4.а приведен пример установления соединения между УИ и УП с координатами, соответственно $\{2, 2\}$ и $\{6, 5\}$. На рисунке 4.б показана попытка организации маршрута между узлами с координатами $\{7, 2\}$ и $\{2, 4\}$. УК, вышедшие из строя, не дают возможности установить маршрут с минимальным числом ТУ между УИ и УП (хотя кратчайший маршрут существует), поэтому заявка, поступившая от пользователя УИ, получает отказ в обслуживании.

Для поддержания параметров QoS приложений необходимо учитывать вероятностно-временные параметры ТПС (время задержки, временной джиттер, вероятность ошибочного приема на символ, пакет и т. д.), участвующих в формировании маршрутов между УИ и УП. В этой связи при расчетах коэффициентов, определяющих предпочтительность выбора исходящих ТПС в каждом УК, необходимо воспользоваться формулами (2) и (3).



а)



б)

Рис. 4. «Градиентный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим формированием плана распределения информации» метод маршрутизации

Если один из коэффициентов (n_x или n_y) больше, то выбор исходящего ТПС в УК выполняется детерминировано. В случае равенства n_x и n_y между собой выбор исходящего ТПС осуществляется вероятностно.

Если не существует возможности установления маршрута с минимальным числом транзитных УК между УИ и УП, то заявка, поступившая от пользователя в УИ, получает отказ в обслуживании. Таким образом, в данном случае необходимо последовательно вычислять в каждом УК, начиная с УИ, значения:

$$\left\{ \begin{array}{l} D_x = i' - j; \\ D_y = j' - j; \\ P_x = \frac{|D_x|}{|D_x| + |D_y|}; \\ P_y = \frac{|D_y|}{|D_x| + |D_y|}; \\ q_x = \frac{\Omega_{ij}^x}{\Omega_{ij}^x + \Omega_{ij}^y}; \\ q_y = \frac{\Omega_{ij}^y}{\Omega_{ij}^x + \Omega_{ij}^y}; \\ n_x = \frac{P_x \cdot q_x}{P_x \cdot q_x + P_y \cdot q_y}; \\ n_y = \frac{P_y \cdot q_y}{P_x \cdot q_x + P_y \cdot q_y}, \end{array} \right. \quad (7)$$

где $\{i, j\}$ – прямоугольные координаты УИ; $\{i', j'\}$, $(i, i' = 1, x_{\max}; j, j' = 1, y_{\max})$ – координаты УП; Ω_{ij}^x и Ω_{ij}^y – параметры ТПС (вероятностно-временные характеристики, определяющие QoS приложений мультисервисной сети связи) в направлении оси X и оси Y соответственно.

Затем, сравнивая n_x и n_y между собой по алгоритму:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{если } n_x > n_y, & \text{то продолжение поиска по оси X;} \\ \text{если } n_x < n_y, & \text{то продолжение поиска по оси Y;} \\ \text{если } n_x = n_y, & \text{то выбор поиска осуществляется} \\ & \text{вероятностно,} \end{array} \right.$$

принимается решение о предпочтительности выбора направления (по оси X или по Y) поиска маршрута.

Знак у D_x (если сделан выбор по оси X) или у D_y (если сделан выбор по оси Y) определяет согласно (4) одно из четырех направлений, которое считается предпочтительным в сравнении с остальными по числу кратчайших маршрутов и по ВВХ трактов передачи сообщений между УИ и УП. Если вычисленное направление доступно, то оно подключается к ранее набранному маршруту. В случае недоступности ТПС вычисляется второе, менее предпочтительное. Если в данном случае ТПС не доступен, то данной заявке дается отказ в обслуживании.

«Диффузный без возвращения назад вероятностно-детерминированный последовательный с логическим формированием плана распределения информации» метод маршрутизации позволяет организовать маршрут между УИ и УП с неограниченным числом транзитных УК. Однако максимальное число выбора исходящих ТПС в УК не превышает трех. Маршрут от УИ к УП ищется по всем направлениям кроме тех, которые: ведут в противоположную сторону от УП; при данном поиске ранее были пройдены.

Таким образом, процедура поиска маршрута данным методом состоит в последовательном выполнении операций во всех транзитных УК, начиная с УИ, по правилам (4), (5) и (6).

Если вычисленное направление доступно, то соответствующий исходящий ТПС подключается к ранее выбранному маршруту. В противном случае вычисляется второе по предпочтительности направление. При необходимости определяется и третье. Если и в последнем случае исходящий ТПС недоступен, то данной заявке дается отказ в обслуживании. Вычисленные направления не должны прокладывать маршрут в противоположную сторону от УП и участвовать при данном поиске маршрута более одного раза.

На рисунке 5а приведен пример установления маршрута данным методом между УИ и УП с координатами {2, 5} и {6, 3} соответственно. На рисунке 5б показана попытка организации маршрута между узлами с координатами {7, 5} и {2, 4}. УК, вышедшие из строя, не дают возможности установить маршрут, в результате чего заявка, поступившая от пользователя УИ, получает отказ в обслуживании.

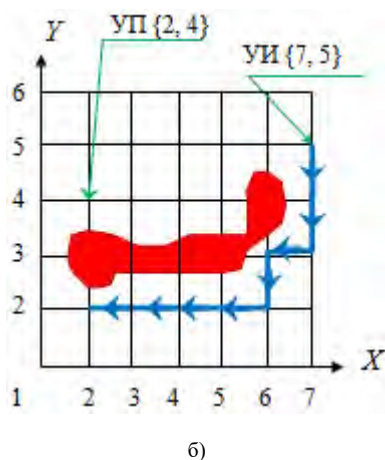
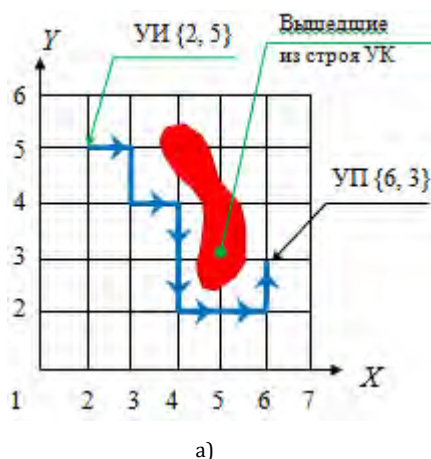


Рис. 5. «Диффузный без возвращения назад вероятностно-детерминированный последовательный с логическим формированием плана распределения информации» метод маршрутизации

Формулы расчета вероятностей перехода по трем направлениям будут иметь вид:

$$P_1 = \frac{L+1}{3 \cdot L+2}; P_2 = \frac{L+1}{3 \cdot L+2}; P_3 = \frac{L}{3 \cdot L+2},$$

где $L = |D_x| + |D_y|$; P_1, P_2 и P_3 – вероятности перехода по первому, второму и третьему направлениям поиска маршрута соответственно.

«Диффузный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим формированием плана распределения информации» метод маршрутизации позволяет организовать маршрут между УИ и УП с неограниченным числом транзитных УК. Последовательно выполняя операции (4), (5) и (6) вычисляется наиболее предпочтительное направление (одно из четырех) по числу кратчайших маршрутов. Если выбранное направление доступно, то оно подключается к ранее набранному маршруту. В противном случае вычисляется новое, менее предпочтительное направление. Данная процедура повторяется до тех пор, пока не найдется доступный, исходящий ТПС. Если же доступные, исходящие ТПС во всех направлениях отсутствуют, то заявке, поступившей от пользователя УИ, дается отказ в обслуживании.

На рисунке 6 приведен пример организации маршрута между УИ и УП с координатами {3,3} и {6,2} соответственно. Формулы расчета вероятностей перехода по четырем направлениям будут иметь вид:

$$P_1 = \frac{L+1}{4 \cdot L+2}; P_2 = \frac{L+1}{4 \cdot L+2};$$

$$P_3 = \frac{L}{4 \cdot L+2}; P_4 = \frac{L}{4 \cdot L+2},$$

где $L = |D_x| + |D_y|$; P_1, P_2, P_3 и P_4 – вероятности перехода по первому, второму, третьему и четвертому направлениям поиска маршрута соответственно.

«Локально-волновой с детерминированным выбором зоны поиска маршрута и логическим формированием плана распределения информации» метод маршрутизации позволяет организовать маршрут между УИ и УП с минимальным количеством транзитных УК. При этом на сети организуется «лавинный» поиск, но не во всех направлениях, а лишь в сторону УП. Поиск распространяется в пределах зоны, охватывающей только кратчайшие маршруты (рисунок 1). Если на сети связи между УИ и УП нет кратчайших маршрутов, то заявке, поступившей от УИ, дается отказ в обслуживании.

Таким образом, данный метод состоит в определении всех направлений (используя последовательно операции (4), (5) и (6)), которые могут установить кратчайшие маршруты между парой УК. В случае отсутствия доступных ТПС в вычисленных направлениях, для узлов, расположенных в зоне поиска маршрута, процесс поиска маршрута начинает «сворачиваться».

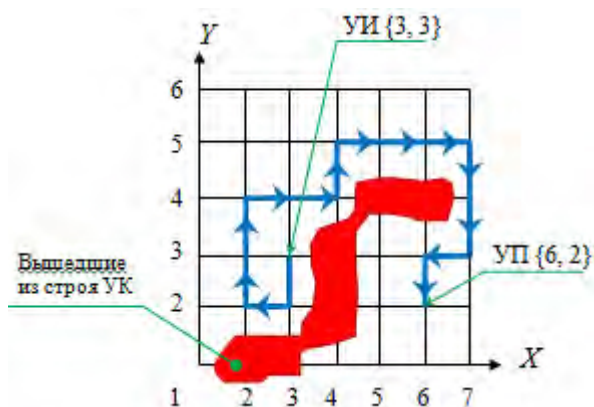


Рис. 6. Пример организации «Диффузного вероятностно-детерминированного последовательного с логическим формированием плана распределения информации» метод маршрутизации

На рисунке 7.а показан пример организации маршрута между УИ и УП с координатами {2, 2} и {7, 5}. Пунктиром указаны те ТПС, которые остались подключенными на момент установления маршрута между заданной парой УК; остальные ТПС, участвующие в поиске маршрута, освободились.

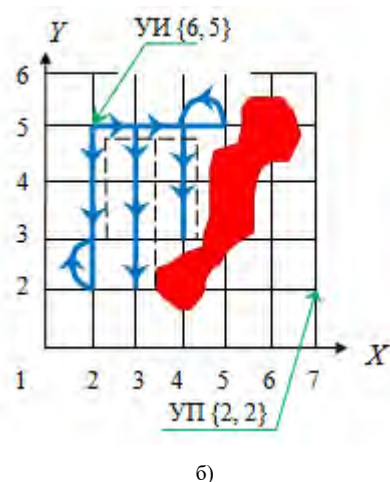
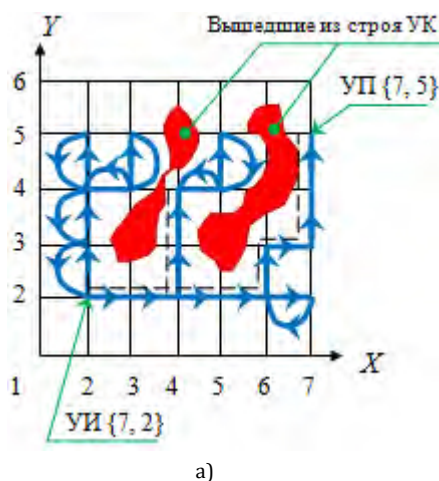


Рис. 7. «Локально-волновой с детерминированным выбором зоны поиска маршрута и логическим формированием плана распределения информации» метод маршрутизации

Рисунок 7.б показывает попытку установления соединения между парой УК. Однако вышедшие из строя УК не дают возможности организовать такой маршрут и данной заявке, поступившей от УИ {2, 5}, дается отказ в обслуживании.

В силу сложности данного метода маршрутизации (параллельность распространения процессов поиска маршрута от УИ до УП; «сворачивание» отдельных направлений; выделение одного маршрута из множества просмотренных) расчет (7) не пригоден.

Упрощенная имитационная модель анализа маршрутизации

Опишем упрощенную имитационную модель сети связи, в которой выделим процедуру маршрутизации и сгладим процесс передачи пользовательской информации.

Каждый из методов маршрутизации использует часть ресурса сети связи для нахождения маршрутов между УИ и УП. Следовательно, количество одновременно установленных соединений (Ξ) с применением различных методов маршрутизации будет различно. Таким образом, в качестве критерия сравнения методов маршрутизации можно использовать способность сети связи пропустить максимальную нагрузку между парами УИ и УП, выраженную в количестве одновременно установленных соединений (Ξ).

Введем следующие обозначения:

$\bar{\Xi}$ – среднее количество установленных соединений за N_0 испытаний методом статистического моделирования;

$\Xi_{\max}$ – максимально возможное количество соединений на сети, которое рассчитывается следующим образом:

$$\Xi_{\max} = \frac{R_0}{L_{\text{ср}}},$$

где R_0 – сетевой ресурс сети связи, совокупность ТПС анализируемой сети связи; $L_{\text{ср}}$ – средняя длина маршрута между УИ и УП.

Тогда выражение:

$$W = \frac{\bar{\Xi}}{\Xi_{\max}} \quad (8)$$

будет определять коэффициент пропускной способности сети.

Представим граф сети $G[A_S, M_S]$ матрицей виртуальных каналов (ВК) $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$, где элемент матрицы $k_{i,j}$; $i, j = \overline{1, S}$; $i \neq j$ указывает количество ВК между УК a_i и a_j .

Алгоритм (рисунок 8) упрощенной имитационной модели маршрутизации в условиях внешнего деструктивного воздействия на элементы сети связи методом статистического моделирования состоит из следующих шагов.

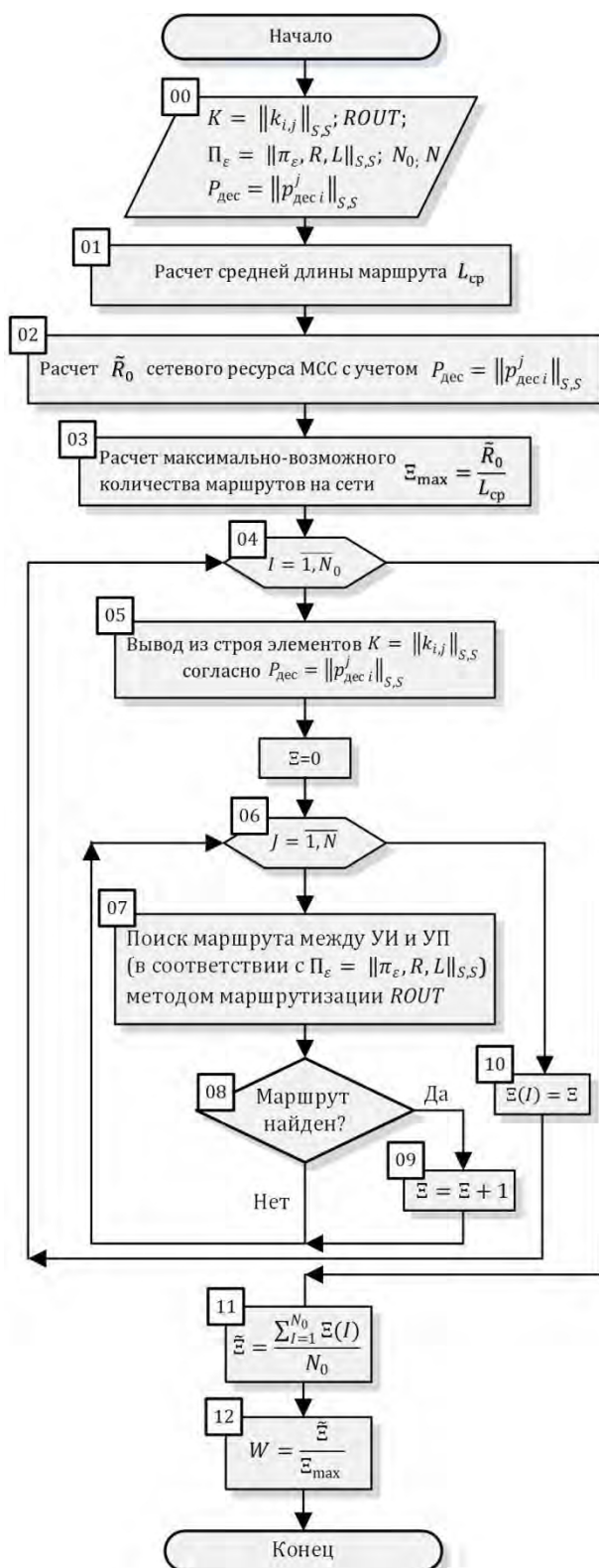


Рис. 8. Алгоритм упрощенной имитационной модели маршрутизации

1. Исходными данными для работы алгоритма являются (оператор 00): $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ – матрица виртуальных каналов анализируемой сети связи; $ROUT$ – метод маршрутизации; $P_\varepsilon = \|\pi_{\varepsilon,R,L}\|_{S,S}$ –

матрица тяготений между УИ и УП; $P_{\text{дес}} = \|p_{\text{дес}i}^j\|_{S,S}$ – матрица деструктивных воздействий на элементы сети связи; N – количество заявок, поступающих в сеть связи; N_0 – количество испытаний методом статистического моделирования [3].

2. В соответствии с матрицей тяготений $P_\varepsilon = \|\pi_{\varepsilon,R,L}\|_{S,S}$ рассчитывается средняя длина маршрута между УИ и УП ($L_{\text{ср}}$) на сети $G[A_S, M_S]$ (оператор 01).

3. Оператором 2 определяется сетевой ресурс анализируемой сети (R_0) путем суммирования всех ВК преобразованной сети $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ (с учетом заданной матрицы деструктивных воздействий на элементы сети связи $P_{\text{дес}} = \|p_{\text{дес}i}^j\|_{S,S}$). Преобразованием матрицы $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ (с учетом заданных параметров $P_{\text{дес}} = \|p_{\text{дес}i}^j\|_{S,S}$) осуществляется вывод из строя элементов сети, т. е. генерируется k независимых случайных равномерно распределенных в интервале $(0, 1)$ чисел X_φ . Затем значения X_φ последовательно сравниваются с величинами матрицы $P_{\text{дес}} = \|p_{\text{дес}i}^j\|_{S,S}$ по следующему правилу:

$$\begin{cases} \text{если } p_{\text{дес}i}^j \geq p_\varphi \Rightarrow \text{элемент графа } k_{ij} \text{ считается} \\ \text{выведенным из строя;} \\ \text{если } p_{\text{дес}i}^j < p_\varphi \Rightarrow \text{элемент графа } k_{ij} \text{ находится} \\ \text{в исправном состоянии,} \end{cases} \quad (9)$$

где $k_{ij} = 0$ – элемент выведен из строя, $k_{ij} = 1$ – элемент находится в исправном состоянии.

Учитывая, что процесс вывода из строя виртуальных каналов $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ носит вероятностный характер, то данную процедуру необходимо выполнить N_0 раз. После чего вычисляется среднее значение сетевого ресурса сети связи:

$$\tilde{R}_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} R_0^{(i)}}{N_0},$$

где $R_0^{(i)}$ – сетевой ресурс сети связи в i -ом испытании; N_0 – количество испытаний (определяется точностью результата моделирования [3]).

4. Оператором 03 вычисляется максимально возможное количество маршрутов на сети $G[A_S, M_S]$:

$$\Xi_{\text{max}} = \frac{\tilde{R}_0}{L_{\text{ср}}}.$$

5. Начиная с 04 оператора по 10 оператор выполняется процесс формирования статистических данных за N_0 испытаний; каждое испытание состоит из следующих процедур.

6. Оператором 05 имитируется внешнее деструктивное воздействие на элементы сети связи. Для этого по правилу (9) выводятся из строя элементы матрицы $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$.

7. Операторы 06 ÷ 09 выполняют на преобразованной матрице (по окончании процедуры воздействия внешних деструктурирующих факторов на элементы сети связи) N действий: поиск маршрутов; в случае нахождения маршрута осуществляется занятие соответствующих ВК; подсчет количества установленных маршрутов. Для этого случайным образом в соответствии с матрицей тяготений $\Pi_{\varepsilon} = \|\pi_{\varepsilon,R,L}\|_{S,S}$ производится выбор УИ и УП. Методом маршрутизации *ROUT* устанавливается соединение между УИ и УП. Если соединение не установлено, то выбирается новая пара УИ и УП и попытка установления повторяется. В случае установления соединения значение переменной Ξ увеличивается на единицу. Установленное соединение между УИ и УП остается занятым до конца испытания. То есть, соответствующие ВК в преобразованной матрице $K = \|k_{i,j}\|_{S,S}$ (по окончании процедуры воздействия внешних деструктивных факторов на элементы сети связи) считаются занятыми. По окончании действия операторов 06 ÷ 09 подсчитанное значение количества установленных соединений в данном испытании запоминается оператором 10.

8. Оператором 11 рассчитывается среднее значение установленных соединений за N_0 испытаний:

$$\bar{\Xi} = \frac{\sum_{I=1}^{N_0} \Xi(I)}{N_0}.$$

9. Оператором 12 вычисляется искомое значение (8).

Таким образом, если при моделировании анализируемые методы маршрутизации получили разные W , то предпочтительным считается тот, у которого коэффициент пропускной способности выше.

Результаты статистического моделирования маршрутизации на упрощенной имитационной модели сети связи

На рисунке 9 приведены результаты статистического моделирования процедур маршрутизации на упрощенной имитационной модели сети связи при следующих условиях:

- при определении плана распределения информации использовалась методика для однородной ячеистой сети связи большой размерности;
- максимальное количество УК по оси X $X_{\max} = 10$;
- максимальное количество УК по оси Y $Y_{\max} = 5$;
- количество УК в анализируемой сети связи $S = X_{\max} \cdot Y_{\max} = 50$;
- $k_{i,j} = 8$; $i, j = \overline{1,50}$;
- $p_{\text{дес}} = p_{\text{дес}}^j$; $i, j = \overline{1,5}$, значение которой изменялось от 0 до 0,8 с шагом $\Delta p_{\text{дес}} = 0,2$;

- равновероятный выбор УИ и УП, т.е. значения элементов матрицы тяготений $\pi_{i,j} = \frac{1}{S^2}$; $i, j = \overline{1,5}$;
- $N_0 = 1000$, обеспечивающих относительную погрешность результатов статистического моделирования не более 8 процентов.

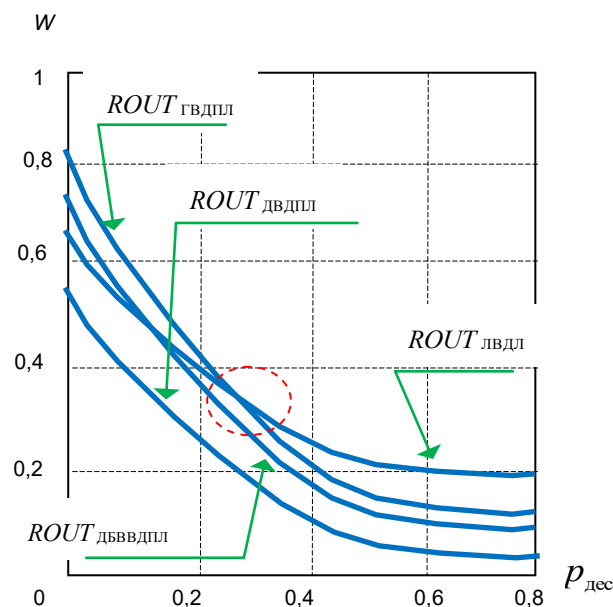


Рис. 9. Зависимость коэффициента пропускной способности сети связи от деструктивных воздействий на ее элементы для различных методов маршрутизации

При выше перечисленных исходных данных анализировались следующие методы маршрутизации [1]:

*ROUT*_{ГВДПЛ} – «Градиентный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации»;

*ROUT*_{ДБВВДПЛ} – «Диффузный без возвращения назад вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации»;

*ROUT*_{ДВДПЛ} – «Диффузный вероятностно-детерминированный последовательный с логическим методом формирования плана распределения информации»;

*ROUT*_{ЛВДЛ} – «Локально-лавинный с детерминированным выбором зоны поиска маршрута и логическим методом формирования плана распределения информации».

Анализ результатов моделирования методов маршрутизации показал, что при отсутствии или незначительном внешнем деструктивном воздействии (в условиях, при которых до 20 % сетевых ресурсов выходит из строя) целесообразно применять «последовательные» методы маршрутизации: *ROUT*_{ГВДПЛ}, *ROUT*_{ДБВВДПЛ} и *ROUT*_{ДВДПЛ}. В случае выхода из строя более 20 % сетевых ресурсов необходимо использовать «лавинные» методы маршрутизации, а именно – *ROUT*_{ЛВДЛ}.

Заключение

Результаты статистического моделирования (с использованием предложенных в статье подходов) совпадают с результатами применения:

- более сложных математических моделей [4];
- коммерческого продукта имитационного моделирования [5].

Данное обстоятельство позволяет утверждать, что предложенные подходы дают возможность

проводить экспресс анализ функционирования предполагаемых сетей связи большой размерности в заданных условиях.

Особого внимания заслуживает возможность применения данных подходов для моделирования функционирования программно-конфигурируемых сетей (SDN, *от англ.* Software-defined Networking).

Список используемых источников

1. Новиков С.Н. Классификация методов маршрутизации в мультисервисных сетях связи // Вестник СибГУТИ. 2013. № 1. С. 57–67.
2. Новиков С.Н., Жарикова В.О. Математическая модель анализа многоадресной маршрутизации в мультисервисной сети связи // Доклады ТУСУР. 2012. № 1. Ч. 2. С. 92–96.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968. 356 с.
4. Буров А.А. Исследование влияния маршрутизации на качество обслуживания в мультисервисных сетях связи, функционирующих в экстремальных условиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.12.13. Новосибирск, 2009. 22 с.
5. Новиков С.Н., Петров С.А. Исследование влияния внешних деструктивных воздействий на элементы мультисервисной сети связи // Вестник СибГУТИ. 2016. № 1. С. 108–117.

* * *

THE APPROACH TO MODELING OF A LARGE-DIMENSION NETWORK FUNCTIONING IN CONDITIONS OF EXTERNAL DESTRUCTIVE EFFECTS

S. Novikov¹

¹Siberian State University of Telecommunications & Informatics,
Novosibirsk, 630102, Russian Federation

Article info

Article in Russian

For citation: Novikov S.N. The Approach to Modeling of a Large-Dimension Network Functioning in Conditions of External Destructive Effects // Proceedings of Telecommunication Universities. 2017. Vol. 3. Iss. 4. PP. 79–87.

Abstract: *When analyzing routing methods on communication networks of arbitrary structure that have several dozen switching nodes, problems arise related to solving large-scale problems. This article proposes an approach that allows analysis of routing methods to identify those methods that will most effectively function in the intended communication networks and in specified conditions.*

Keywords: *information distribution plan, routing method, external destructive effects.*