

С.И. Баглюк, В.Г. Терехов, А.Д. Евдокимов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МАРШРУТОВ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ С ЗАДАННОЙ ВЕРОЯТНОСТЬЮ ЗАДАЧИ СЕТЕВОГО ОБМЕНА

Аннотация. Рассмотрен подход к определению минимально необходимого количества альтернативных сетевых маршрутов для гарантированного выполнения задачи сетевого обмена в информационно-вычислительных сетях при следующем ограничении: отказавший маршрут не восстанавливается и для дальнейшей эксплуатации не рассматривается. Подход предусматривает построение сетевых маршрутов в общедоступных (публичных) сетях с использованием маршрутизации от источника. Подход основан на анализе известных (выявленных) законов распределения времени наработки на отказ для каждого из альтернативных маршрутов и формулировании вывода о необходимом их (маршрутов) количестве.

Ключевые слова: информационно-вычислительные сети, сетевой маршрут, сетевой обмен, вероятность безотказного функционирования маршрута, закон распределения вероятности отказа (безотказного функционирования) маршрута.

S.I. Baglyuk, V.G. Terekhov, A.L. Evdokimov

DETERMINING THE NUMBER OF ALTERNATIVE ROUTES TO PERFORM A NETWORK EXCHANGE TASK WITH A GIVEN PROBABILITY

Abstract. An approach to determining the minimum required number of alternative network routes for guaranteed fulfillment of the task of network exchange in information and computing networks is considered with the following limitation: the failed route is not restored and is not considered for further operation. The approach provides for the construction of network routes in public networks using routing from the source. The approach is based on the analysis of the known (identified) laws of time-to-failure distribution for each of the alternative routes and the formulation of a conclusion about the required number of routes.

Keywords: information and computing networks, network route, network exchange, probability of failure-free operation of a route, law of distribution of the probability of failure (failure-free operation) of a route.

Введение

Выполнение задач сетевого обмена в информационно-вычислительных сетях (далее – ИВС) предполагает построение нескольких альтернативных (проходящих через различные транзитные узлы сети) маршрутов для обеспечения с заданным уровнем надежности обмена данными между конечными узлами – узлом-источником и узлом-приемником.

Формирование требуемых маршрутов (подбор допустимых промежуточных узлов) возможен в рамках маршрутизации от источника.

Однако при использовании общедоступных (публичных) сетей даже с использованием технологии VPN-каналов для каждого маршрута возможна компрометация (случайная или намеренная) активного маршрута и, как следствие, признание его отказавшим с переключением на другой альтернативный маршрут. Отказавший маршрут не восстанавливается и исключается из альтернативных.

Баглюк Сергей Иванович

кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и сетей, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: информационно-вычислительные системы и сети. Автор более 30 опубликованных научных статей.

Электронный адрес: vka_kaf24_1@mil.ru

Терехов Владимир Геннадиевич

кандидат военных наук, доцент, старший преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем и сетей, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: сетевые технологии, устойчивость функционирования информационно-вычислительных систем и сетей, защита информации в информационно-вычислительных сетях. Автор более 40 опубликованных научных статей, Санкт-Петербург. SPIN-код: 3266-6624, AuthorID: 726737.

Электронный адрес: vka_kaf24_1@mil.ru

Евдокимов Антон Денисович

курсант, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: информационно-вычислительные системы и сети.

Электронный адрес: vka_kaf24_1@mil.ru

Под компрометацией маршрута будем понимать его физическое разрушение, критическое снижение пропускной способности, перехват, перенаправление или подмену трафика.

Ранжирование последовательности активации маршрутов (назначение альтернативным основному и резервным, маршрутам метрик) [1] будем полагать эквивалентным определению для каждого из них вероятности безотказного функционирования [2]. Детальное рассмотрение технологии сбора статистических данных об отказах маршрутов и формирования на их основе законов распределения вероятностей безотказного функционирования (вероятностей отказов) маршрутов выходит за рамки данной работы. Отметим лишь, что эта рутинная задача может быть решена сетевыми администраторами с использованием штатных средств анализа сетей, например, встроенными в сетевое программное обеспечение программами (утилитами) **pathping (ping, tracert)** в среде Windows или **mtr (ping, traceroute)** в среде Linux и математическим аппаратом обработки статистических данных для построения законов распределения вероятности отказа каждого из маршрутов.

Постановка задачи

Рассмотрим подход к определению минимально необходимого количества альтернативных сетевых маршрутов для гарантированного выполнения задачи сетевого обмена в ИВС.

Полагаем, что закон распределения вероятности отказа каждого из маршрутов известен и в процессе их эксплуатации корректируется, результат корректировки учитывается оперативно.

Тогда задача определения требуемого (в смысле надежности) количества резервных маршрутов сводится к задаче отыскания необходимого количества резервных элементов резервированной системы с ненагруженным резервом без восстановления, описываемой интегральным уравнением Вольтерры второго рода [3]. Общий вид такого уравнения

$$P_{\text{дир}}(T) = P_{\text{ом}}(T) + \int_0^T a_{\text{ом}}(\tau) P_{\text{рез}}(T-\tau) d\tau, \quad (1)$$

где

$P_{\text{дир}}(T)$ – директивно заданная вероятность безотказного функционирования ИВС в течение времени T ;

$P_{\text{ом}}(T)$ – вероятность безотказного функционирования основного маршрута сети в течение времени T ;

$a_{\text{ом}}(\tau)$ – плотность распределения вероятности отказа основного маршрута сети в случайный момент времени τ , $0 < \tau < T$;

$P_{\text{рез}}(T-\tau)$ – вероятность безотказного функционирования последовательно подключаемых (вместо отказавшего основного) резервных (альтернативных) маршрутов на интервале (τ, T) .

Решение задачи

Рассмотрим задачу при произвольном законе распределения вероятности отказа каждого из маршрутов. Сомножитель второго слагаемого уравнения (1), отображающий интегральную вероятность безотказного функционирования последовательно подключаемых (взамен отказавших) альтернативных маршрутов, разворачивается (пример одного основного и четырех резервных альтернативных маршрутов) в следующее выражение:

$$P_c(T) = P_{\text{ом}}(T) + \int_0^T a_{\text{ом}}(\tau) P_{\text{рез}}(T-\tau) d\tau = P_{\text{ом}}(T) + \int_0^T a_{\text{ом}}(\tau) \{ P_1(T-\tau) + \int_{\tau}^T a_1(\tau_1) [P_2(T-\tau-\tau_1) + \dots \quad (2)$$

$$\int_{\tau_1}^T a_2(\tau_2) \left(P_3(T-\tau-\tau_1-\tau_2) + \int_{\tau_2}^T a_3(\tau_3) P_4(T-\tau-\tau_1-\tau_2-\tau_3) d\tau_3 \right) d\tau_2 \} d\tau_1 d\tau$$

где

$P_c(T)$ – вероятность безотказного функционирования ИВС в течение времени T , обеспечиваемая включением основного и четырех резервных альтернативных маршрутов;

τ_1, τ_2, τ_3 – случайные интервалы времени $(\tau, \tau_1), (\tau_1, \tau_2), (\tau_2, \tau_3)$ работы между отказами последовательно подключаемых (взамен отказавших) первого, второго и третьего резервных маршрутов соответственно; время на переключение маршрутов из рассмотрения исключаем;

$a_1(\tau_1), a_2(\tau_2), a_3(\tau_3)$ – плотности распределения вероятности отказа альтернативных первого, второго и третьего альтернативных маршрутов соответственно,

$P_1(t-\tau), P_2(t-\tau-\tau_1), P_3(t-\tau-\tau_1-\tau_2), P_4(t-\tau-\tau_1-\tau_2-\tau_3)$ – вероятности безотказного функционирования первого, второго, третьего и четвертого из резервных альтернативных маршрутов сети в течение временных интервалов $(T-\tau), (T-\tau-\tau_1), (T-\tau-\tau_1-\tau_2)$ и $(T-\tau-\tau_1-\tau_2-\tau_3)$ соответственно.

Последовательность случайных интервалов времен работы до отказа маршрутов иллюстрирует Рисунок.

Определение количества альтернативных маршрутов для выполнения с заданной вероятностью ...

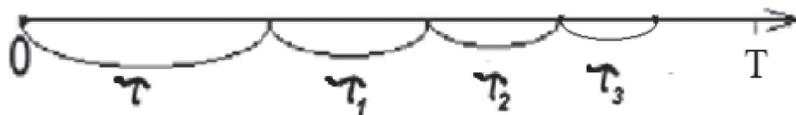


Рисунок. Последовательность случайных интервалов времен работы до отказа основного и резервных маршрутов

Источник: рисунок выполнен авторами.

Сравнивая далее директивно заданную вероятность безотказного функционирования ИВС на интервале $(0, T)$ $P_{\text{аир}}(T)$ с числовым значением, получаемым в результате подстановки в правую часть уравнения (2), рассчитанных на основе статистических данных об отказах числовых значений показателей надежности основного и альтернативных маршрутов, добиваемся того, чтобы уравнение (1) превратилось в нестрогое неравенство: левая часть уравнения оказалась меньше либо равна правой его части: $P_{\text{аир}}(T) \leq P_c(T)$.

Тогда при соблюдении условия полученного неравенства количество альтернативных маршрутов будет равно количеству сомножителей в правой части неравенства.

В качестве упрощенного примера рассмотрим сеть, включающую основной и один резервный маршрут; распределения вероятностей отказов основного и резервного маршрутов подчиняются экспоненциальным распределениям с различными интенсивностями отказов. Интервал $T = 1000$ ч. Директивно заданная вероятность безотказного функционирования ИВС на интервале $(0, T)$ $P_{\text{аир}}(T) = 0,99$.

Положим, что надежностные характеристики маршрутов имеют следующие числовые значения:

$$\begin{aligned} P_{\text{ом}}(T) &= 0,85; \lambda_{\text{ом}} = 0,000163 [1/\text{ч}]; \\ P_{\text{р}}(T) &= 0,75 \quad \lambda_{\text{р}} = 0,000288 [1/\text{ч}]; \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда выражение (2) принимает следующий вид:

$$P_c(T) = P_{\text{ом}}(T) + \int_0^T a_{\text{ом}}(\tau) P_{\text{р}}(T-\tau) d\tau = P_{\text{ом}}(T) + \tau = P_{\text{ом}}(T) + \lambda_{\text{ом}} e^{-\lambda_{\text{р}} T} \int_0^T e^{(\lambda_{\text{р}} - \lambda_{\text{ом}})\tau} d\tau = 0,977 \quad (4)$$

Таким образом, сеть, включающая основной и один резервный маршруты с характеристиками, указанными в (3), не позволяет (4) выполнить условие $P_{\text{аир}}(T) \leq P_c(T)$, что требует включения в рассматриваемую схему еще одного резервного маршрута. Выражение (2) в этом случае трансформируется:

$$P_c(T) = P_{\text{ом}}(T) + \int_0^T a_{\text{ом}}(\tau) \left\{ P_1(T-\tau) + \int_{\tau}^T a_1(\tau_1) [P_2(T-\tau-\tau_1)] d\tau_1 \right\} d\tau. \quad (5)$$

Далее следует подстановка в (5) числовых значений характеристик второго резервного маршрута и проверка выполнения условия $P_{\text{аир}}(T) \leq P_c(T)$. Итерации следуют до выполнения указанного условия.

Заключение

Рассмотрен подход к определению необходимого количества резервных сетевых маршрутов для выполнения с директивно заданной вероятностью задачи сетевого обмена в информационно-вычислительных сетях при следующем ограничении: отказавший маршрут не восстанавливается и для дальнейшей эксплуатации не рассматривается. Подход опирается на построение сетевых маршрутов в общедоступных (публичных) сетях с использованием маршрутизации от источника.

Решение сформулированной задачи базируется на представлении совокупности альтернативных маршрутов в виде резервированной системы с ненагруженным резервом без восстановления, анализе выявленных законов распределения времени наработки на отказ для каждого из маршрутов и формулировании вывода о необходимом их количестве.

Литература

1. Баглюк С.И. Обоснование требований к временным ресурсам в задачах сетевого обмена данными // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2021. № 4. С. 132–136. EDN NVQXLS. DOI: 10.18137/RNUV9187.21.04.P.132
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1958. 468 с.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. 2-е изд. СПб. : БХВ-Петербург, 2008. 704 с. ISBN 978-5-94157-541-1.

References

1. Baglyuk S.I. (2021) Formulation of requirements for temporary resources in data transmission networks. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis, Management*. No. 4. Pp. 132–136. DOI: 10.18137/RNUV9187.21.04.P.132 (In Russian).
2. Venttsel' E.S. (1958) *Teoriya veroyatnostei* [Theory of probabilities]. Moscow : State Publishing House of Physical and Mathematical Literature. 468 p. (In Russian).
3. Polovko A.M., Gurov S.V. (2008) *Osnovy teorii nadedgnosti* [Fundamentals of reliability theory]. 2nd edition. St. Petersburg : BHV-Peterburg Publ. 704 p. ISBN 978-5-94157-541-1. (In Russian).