МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ СИСТЕМЫ С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ. ПАССИВНЫЙ РЕЖИМ

DOI: 10.36724/2072-8735-2020-14-8-21-25

Шувалов Вячеслав Петрович,
Сибирский Государственный Университет
Телекоммуникаций и Информатики,
г. Новосибирск, Россия, shvp04@mail.ru

Зеленцов Борис Павлович,
Сибирский Государственный Университет
Телекоммуникаций и Информатики,
г. Новосибирск, Россия, zelentsovb@mail.ru

Квиткова Ирина Геннадьевна,
Сибирский Государственный Университет
Телекоммуникаций и Информатики,
г. Новосибирск, Россия, irin.creme@yandex.ru

Manuscript received 17 April 2020;
Accepted 11 August 2020

Ключевые слова: коэффициент готовности, коэффициент неготовности, интенсивность отказов рабочих путей, интенсивность восстановления рабочих путей, однородный марковский процесс, резервирование замещением, активный и пассивный режимы, показатель конкурентоспособности

Использование волоконно-оптических линий связи позволяет обеспечить передачу в единицу времени огромных объемов информации. Даже кратковременные отказы существенно сказываются на показателях качества предоставляемых услуг. От того, насколько устойчива сетевая инфраструктура к отказам и как быстро происходит после них восстановление, зависит уровень надежности сети. Гарантии надежности являются главной составляющей договоров качества обслуживания между операторами и потребителями. Наиболее часто для обеспечения необходимого уровня показателей надежности используется резервирование. Недостатком такого подхода являются большие затраты пропускной способности сети, достоинством - малое время переключения на резерв после обнаружения отказа. С целью сокращения затрат в ряде случаев используется вариант резервирования 1:N (один резервный путь выделяется на N рабочих путей). Рассматривается случай 1:2, когда для двух рабочих путей выделяется один резервный. При этом возможны активный и пассивный режимы переключения. При активном переключении, в случае отказа обоих рабочих путей, трафик одного из них переключается на резервный путь. После восстановления рабочего пути трафик переключается на восстановленный путь, т.е. резервный путь освобождается. Его место занимает трафик другого отказавшего пути. Особенностью пассивного режима является тот факт, что после освобождения резервного пути, он не занимается трафиком второго отказавшего пути. При этом возможно несколько вариантов восстановления передачи трафика по отказавшему рабочему пути: второй рабочий путь начинает восстанавливаться после восстановления первого; второй рабочий путь начинает восстанавливаться одновременно с первым. В любом варианте трафик первого пути после его восстановления переключается обратно с резервного на рабочий. Представлена методика расчета условной вероятности того, что резервный путь будет занят под передачу трафика одного из рабочих путей при отказе обоих. Приведена формула для расчета коэффициентов неготовности рабочих путей.

Информация об авторах:

Шувалов Вячеслав Петрович, Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики, профессор кафедры Передачи дискретных сообщений и метрологии, д.т.н., г. Новосибирск, Россия

Зеленцов Борис Павлович, Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики, профессор кафедры Высшей математики, д.т.н., г. Новосибирск, Россия

Квиткова Ирина Геннадьевна, Сибирский Государственный Университет Телекоммуникаций и Информатики, старший преподаватель кафедры Передачи дискретных сообщений и метрологии, г. Новосибирск, Россия

Для цитирования:

Шувалов В.П., Зеленцов Б.П., Квиткова И.Г. Методика оценки коэффициента готовности системы с резервированием. Пассивный режим // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2020. Том 14. №8. С. 21-25.

For citation:

Shuvalov V.P., Zelentsov B.P., Kvitkova I.G. (2020) Method for calculating the availability factor for a system with redundancy. Passive mode. T-Comm, vol. 14, no.8, pp. 21-25. (in Russian)

Введение

Использование волоконно-оптических линий связи позволяет обеспечить передачу в единицу времени огромных объемов информации. Поэтому даже при кратковременных отказах происходит потеря больших объемов информации. От того насколько устойчива сетевая инфраструктура к отказам и как быстро после них происходит восстановление, зависит уровень надежности сети и качество предоставляемых услуг. Фактически, гарантии надежности являются главной составляющей договоров качества обслуживания между операторами и потребителями. Обеспечить требуемую потребителем надежность – одна из главнейших задач оператора.

Для обеспечения устойчивости к отказам используют динамическое восстановление или резервирование [1-8].

Достоинством резервирования является быстрое восстановление связи после отказов, недостатком – необходимость в дополнительной, иногда очень существенной пропускной способности для организации резервного пути. Резервный путь может устанавливаться для каждого рабочего пути, который нуждается в резервировании. Можно использовать один общий резервный путь для нескольких рабочих путей. В этом случае затраты на резервирование уменьшаются. Однако при этом, при прочих равных условиях, снижается коэффициент готовности по сравнению с индивидуальным резервированием.

В данной работе рассмотрен один из вариантов общего резервирования для случая, когда на два рабочих пути (w_1 , w_2) приходится один резервный. При отказе одного из рабочих путей трафик будет переключен на резервный путь. После восстановления рабочего пути трафик соединения будет переключен с резервного пути обратно на рабочий путь. Такой режим называется режимом с возвращением. При резервировании с невозвращением трафик остается на резервном пути даже после восстановления рабочего пути. Модель с возвращением с точки зрения простоты управления сетью в ряде случаев может оказаться предпочтительнее, поэтому далее рассматривается модель резервирования с возвращением.

При использовании стратегии с возвращением различают два режима работы: активное восстановление (active recovery) и пассивное восстановление (passive recovery, lazy recovery) [9].

Механизм с активным восстановлением связи, при освождении резервного пути по причине обратного переключения трафика на рабочий путь, предполагает активное использование резервного пути для перенаправления на него трафика с другого отказавшего рабочего пути. Этот механизм рассмотрен в [9].

В случае использования пассивного восстановления связи при выходе из строя обоих рабочих путей, сначала осуществляется ремонт пути, трафик которого был переключен на резервный путь. Интенсивность восстановления рабочего пути равна μ_1 для первого пути и μ_2 – для второго пути. Затем осуществляется переключение трафика с резервного пути на восстановленный рабочий путь, и только потом восстанавливается второй рабочий путь. Это позволяет возобновить передачу трафика, которому не достался резервный путь. Назовем этот вариант пассивного восстановления

«чистым». Он соответствует случаю, когда имеется только одна ремонтная бригада. Именно об этом возможном варианте упоминается в [9].

При использовании для восстановления двух бригад вышедшие из строя рабочие пути начинают восстанавливаться одновременно. При этом время восстановления связи пути, которому не досталось резервное соединение, будет определяться временем ремонта этого пути. Назовем этот вариант пассивного восстановления «быстрым», так как при этом время восстановления связи по рабочему пути снижается примерно в два раза.

Вариант пассивного восстановления рассмотрим на примере фрагмента сети (рис. 1), где w_1 и w_2 являются рабочими путями или соединениями. При этом w_1 и w_2 совместно используют одну и ту же длину волны на линии l_1 , которая является резервной.

Рис. 1. Пример совместного использования резерва

Для фрагмента сети (рис. 1) определим коэффициенты неготовности путей w_1 и w_2 . Для этого сначала определим условную вероятность q_w того, что путь w_1 или w_2 выиграет в конкуренции за резервный ресурс, если откажут оба рабочих пути w_1 и w_2 . Назовем q_w показателем конкурентоспособности.

Марковская модель непрерывного времени для вычисления показателя конкурентоспособности q_w

На рисунке 2 изображена диаграмма изменения состояний при пассивном восстановлении. Время переключения трафика с рабочего пути на резервный и обратно считаем пренебрежимо малым по сравнению с временем ремонта рабочих путей.

Рис. 2. Марковская модель для оценки показателя конкурентоспособности

Обозначения на рис. 2: $\bar{O}$ – рабочий путь работоспособен; O – рабочий путь неработоспособен; π_i – предельная вероятность i -го состояния (средняя относительная доля времени нахождения процесса в этом состоянии при бесконечно длительном протекании процесса); w_1, w_2 – соединения в тройке (x, y, z) ; x – состояние рабочего пути в w_1 ; y – состояние рабочего пути в w_2 ; z – показывает, какое из рабочих соединений использует или блокирует резервные ресурсы (w_1, w_2 , резерв); C – резервные ресурсы свободны; λ_1 и λ_2 – интенсивности отказов первого и второго рабочего пути соответственно; $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ – интенсивности восстановления рабочих путей.

Представленная на рис. 2 система находится в следующих состояниях:

1-ое: пути w_1 и w_2 работоспособны, резервные ресурсы свободны;

2-ое: путь w_1 работоспособен, путь w_2 неработоспособен, резервные ресурсы используются рабочим путем w_2 ;

3-е: путь w_2 работоспособен, путь w_1 неработоспособен, резервные ресурсы используются рабочим путем w_1 ;

4-ое: пути w_1 и w_2 неработоспособны, резервные ресурсы используются рабочим путем w_2 ;

5-ое: пути w_1 и w_2 неработоспособны, резервные ресурсы используются рабочим путем w_1 ;

6-ое: путь w_1 неработоспособен, путь w_2 работоспособен, резервные ресурсы свободны;

7-ое: путь w_2 неработоспособен, путь w_1 работоспособен, резервные ресурсы свободны.

Обозначения на рис. 2:

λ_1 – интенсивность отказа соединения w_1 ;

λ_2 – интенсивность отказов соединения w_2 ;

μ_1 – интенсивность восстановления соединения w_1 ;

μ_2 – интенсивность восстановления соединения w_2 ;

μ_3 – интенсивность восстановления соединения w_1 при свободном резервном пути;

μ_4 – интенсивность восстановления соединения w_2 при свободном резервном пути.

Математическая модель для определения q_{wi} основана на теории однородных марковских процессов в непрерывном времени. Переходы между состояниями описываются постоянными интенсивностями. Математическое описание рассматриваемых систем производится матричными методами [10]. Матричные методы привлекательны ввиду их компактности, простоты матричных преобразований и возможности расчетов с помощью современных средств.

Исходные характеристики представлены в виде квазистochasticкой матрицы, которую мы будем называть матрицей интенсивностей $\Lambda = \|\lambda_{ij}\|$, где λ_{ij} ($i \neq j$) – интенсивность непосредственного перехода из i -го состояния в j -е в непрерывном времени; $\lambda_{ij} = -\sum_{j, j \neq i} \lambda_{ij}$.

$$\begin{pmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_2 & \lambda_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_2 & -(\lambda_1 + \mu_2) & 0 & \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_1 & 0 & -(\lambda_2 + \mu_1) & 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_1 & 0 & -(\mu_1 + \mu_2) & 0 & \mu_2 & 0 \\ 0 & 0 & \mu_2 & 0 & -(\mu_1 + \mu_2) & 0 & \mu_1 \\ \mu_3 & 0 & 0 & \lambda_2 & 0 & -(\lambda_2 + \mu_3) & 0 \\ \mu_4 & 0 & 0 & 0 & \lambda_1 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_4) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Процесс переходов от состояния к состоянию является эргодическим, поэтому предельные вероятности состояний существуют.

Предельные вероятности состояний могут быть вычислены по формулам двух типов [10]:

1) на основе определителей

$$\pi_i = \frac{|\Lambda_i|}{\Delta}; \quad (2)$$

2) на основе обращения матриц

$$\pi_i = \frac{1}{1 - \bar{\lambda}_i \cdot (\Lambda_i)^{-1} \cdot \bar{e}}, \quad (3)$$

где π_i – предельная вероятность i -го состояния; Λ_i – матрица, полученная из исходной матрицы Λ удалением i -ой строки и i -го столбца; $|\Lambda_i|$ – определитель матрицы Λ_i ;

$\Delta = \sum_{i=1}^n |\Lambda_i|$ – сумма определителей по всем состояниям; $\bar{\lambda}_i$ – i -я строка матрицы Λ без элемента λ_{ii} ; n – число состояний системы; $\bar{e}$ – столбец, все элементы которого равны 1.

После определения $\pi_1, \pi_2 \dots \pi_7$ найдем q_{wi} для рабочих путей w_1 и w_2

$$q_{w_1} = \frac{\pi_5}{\pi_4 + \pi_5}, \quad q_{w_2} = \frac{\pi_4}{\pi_4 + \pi_5}. \quad (4)$$

Для вычисления коэффициентов неготовности путей w_1 и w_2 , защищенных совместно используемым резервным путем, необходимо учесть, что какой-либо рабочий путь будет доступен в 2-х случаях. В первом случае рабочий путь доступен. Во втором случае рабочий путь недоступен, но доступен резервный путь, и рабочий путь может получить резервные длины волн, когда оба рабочих пути в группе совместного использования отказали. Пусть K_{Hw_i} и K_{Hb} – коэффициенты неготовности рабочего и резервного путей; p_k – вероятность того, что рассматриваемый путь и другие k рабочих путей недоступны. Тогда коэффициент неготовности рабочего пути, который первым занял резервный путь,

$$K_{Hw_i}^* = K_{Hw_i} - K_{Hw_i} \times (1 - K_{Hb}) \times \sum_{k=0}^1 q_{w_i}^{(k)} \cdot p_k, \quad i = 1, 2, \quad (5)$$

где $K_{Hw_i} = \frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i}$ – коэффициент неготовности рабочего пути w_i ($i = 1, 2$) в случае отсутствия резервирования; $K_{Hb} = \frac{\lambda_b}{\lambda_b + \mu_b}$ – коэффициент неготовности резервного пути.

Пример расчета коэффициента неготовности для фидерной части пассивной оптической сети доступа

Приведем результаты расчетов $K_{Hw_i}^*$ при $i = 1, 2$ для наиболее распространенного случая защиты пассивной оптической сети доступа, когда защищается тракт от OLT до удаленного узла (RN). Рассмотрим сеть доступа большого радиуса действия (LR-PON). Пусть расстояния OLT-RN для рабочих путей $w_1 = 100$ км, $w_2 = 50$ км, а резервный путь $l_1 = 120$ км [11].

При использовании для восстановления одной ремонтной бригады имеем $\mu_3 = \mu_1, \mu_4 = \mu_2$. При этом

$$\pi_4 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_2 + \mu_1)}{(\lambda_1 + \mu_1) \cdot (\lambda_2 + \mu_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)},$$

$$\pi_5 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot (\lambda_1 + \mu_2)}{(\lambda_1 + \mu_1) \cdot (\lambda_2 + \mu_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}.$$

Исходные для расчетов показатели, взятые из [7, 8] сведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для расчетов

Параметр	λ_1 , 1/час	λ_2 , 1/час	μ_1 , 1/час	μ_2 , 1/час	λ_b , 1/час	μ_b , 1/час	p_0	p_1	$q^{(0)}$
Значение	$1.34 \cdot 10^{-2}$	$0.67 \cdot 10^{-2}$	1/4	1/2	$1.61 \cdot 10^{-2}$	1/5	0.999	0.001	1

Тогда $\pi_4 = 2.242 \cdot 10^{-4}$, $\pi_5 = 4.485 \cdot 10^{-4}$.

Значения показателя конкурентоспособности и коэффициентов неготовности приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения показателей конкурентоспособности

Параметр	q_{wi}	K_{Hb}	K_{Hwi}	K_{Hwi}^*
Значение: - для w_1	0.667	0.075	0.051	$3.806 \cdot 10^{-3}$
- для w_2	0.333	0.075	0.013	$9.933 \cdot 10^{-4}$

На рисунках 3-4 представлены графики изменения поведения q_{wi} в зависимости от изменения параметров λ_1 , λ_2 , μ_1 , μ_2 .

Рис. 3. Зависимость q_{wi} от λ_1 и λ_2

Рис. 4. Зависимость q_{wi} от μ_1 и μ_2

Рабочий путь с меньшей интенсивностью отказа проигрывает в конкуренции занять резервный ресурс.

Если интенсивность восстановления какого-либо рабочего пути больше, то вероятность занять резервный путь вторым рабочим путем с меньшим μ увеличивается.

На рисунках 5-6 представлены графики изменения поведения K_{Hw1}^* и K_{Hw2}^* в зависимости от изменения параметров λ_1 , λ_2 , μ_1 , μ_2 .

Рис. 5. Зависимость K_{Hw1}^* от λ_1 и K_{Hw2}^* от λ_2 соответственно

Рис. 6. Зависимость K_{Hw1}^* от μ_1 и K_{Hw2}^* от μ_2 соответственно

Поведение коэффициентов неготовности обоих рабочих путей примерно одинаково, однако, их изменение в зависимости от параметров μ и λ наблюдается в разном диапазоне значений.

Заключение

Определение коэффициента неготовности для защиты с возвращением 1:2 осуществляется в два этапа. На первом этапе определяется, с использованием марковской модели непрерывного времени, вероятность переключения рабочего пути на резервный путь при одновременном отказе двух рабочих путей (q_w). На втором этапе полученное значение q_w используется для расчета коэффициента неготовности системы 1:2. По полученным формулам выполнен расчет показателей надежности фидера пассивной оптической сети доступа с защитой 1:2.

Литература

1. Imtiaz W.A., Iqbal J., Qamar A., Ali H., Idrus S.M. Impact of fiber duplication on protection architectures feasibility for passive optical networks // Intech, 2017. № 17. P. 340-359.
2. ГОСТ 53111-2008 Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки // Стандартинформ, 2008.
3. Dixit A., Mahloo M., Lannoo B., Chen J.-J., Wolsinska L., Colle D., Pickavet M. Protection strategies for next generation passive optical networks-2 // Optical Network Design, Modeling, 2014 International Conference on, 2014. P. 13-18.
4. Шувалов В.П., Селянина И.Ю. Методика обеспечения отказоустойчивости в мультисервисных сетях связи // Проблемы информатики, 2012. № 2. С. 55-62.
5. Егунов М.М., Шувалов В.П. Анализ структурной надежности транспортной сети // Вестник СибГУТИ, 2012. № 1. С. 54-59.
6. Шувалов В.П., Егунов М.М., Минаева Е.А. Обеспечение показателей надежности телекоммуникационных систем и сетей. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 180 с.
7. Wolsinska L., Chen J. Reliability performance analysis vs deployment cost of fiber access networks // 7th Int'l Conf. Optical Internet, 2008. P. 1-2.

8. Wolsinska L.W., Chen J. Cost vs reliability performance study of fiber access network architectures // *IEEE Communications Magazine*, 2010. № 48. P. 56-65.

9. Zhang J., Zhu K., Zang H., Matloff N.S., Mukherjee B. Availability-aware provisioning strategies for differentiated protection services in wavelength-convertible WDM mesh networks // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. October, 2007. V. 15, № 5. P. 1177-1190.

10. Зеленцов Б.П. Матричные модели функционирования систем связи: учебное пособие. Новосибирск: СибГУТИ, 2016. 100 с.

11. Шувалов В.П., Фокин В.Г. Оптические сети доступа большого радиуса действия: монография. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 188 с.

METHOD FOR CALCULATING THE AVAILABILITY FACTOR FOR A SYSTEM WITH REDUNDANCY. PASSIVE MODE

Vyacheslav P. Shuvalov, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Professor, Novosibirsk, Russia, shvp04@mail.ru

Boris P. Zelentsov, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Professor, Novosibirsk, Russia, zelentsovb@mail.ru

Irina G. Kvitkova, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Senior Lecturer, Novosibirsk, Russia, irin.creme@yandex.ru

Abstract

The use of fiber-optic communication lines allows for the transfer of huge amounts of information per unit of time. Even short-term failures significantly affect the quality of services provided. The level of network reliability depends on how resilient the network infrastructure is to failures and how quickly recovery occurs after them. Reliability guarantees are the main component of quality of service agreements between operators and consumers. Most often, redundancy is used to ensure the required level of reliability indicators. The disadvantage of this approach is the high cost of network bandwidth, the advantage - is a short time to switch at the reserve after a failure is detected. In order to reduce costs, in some cases, the 1:N backup option is used (one backup path is allocated for N working paths). In this paper, we consider the case of 1:2, when one backup path is allocated for two working paths. In this case active and passive switching modes are possible. When switching is active, if both working paths fail, the traffic of one of them switches to the backup path. After restoring the working path, traffic switches to the restored path, i.e. the backup path is freed. It is replaced by traffic from another failed path. A special feature of passive mode consists in that after the backup path is released, it does not deal with the traffic of the second failed path. There are several ways to restore traffic over a failed work path: the second working path starts to recover after the first one is restored; the second working path starts to recover simultaneously with the first one. In either case, the traffic of the first path is switched back from the backup to the working path after it is restored. This paper presents a method for calculating the conditional probability that the backup path will be used for transmitting traffic from one of the working paths if both paths fail. The formula for calculating the unavailability factor of working paths is given.

Keywords: availability factor, unavailability factor, failure rate of working paths, recovery rate of working paths, homogeneous Markov process, redundancy by substitution, active and passive modes, competitiveness indicator.

References

1. Imtiaz W.A., Iqbal J., Qamar A., Ali H. and Idrus S.M. (2017), "Impact of fiber duplication on protection architectures feasibility for passive optical networks", *Intech*, no. 17, pp. 340-359.
2. ROSSTANDART (2008), GOST 53111-2008: Stability of functioning of the public communications network. Requirements and check methods, STANDARTINFORM, Moscow, Russia.
3. Dixit A., Mahloo M., Lannoo B., Chen J.-J., Wolsinska L., Colle D. and Pickavet M. (2014), "Protection strategies for next generation passive optical networks-2", *Optical Network Design, Modeling, 2014 International Conference*, pp. 13-18.
4. Shuvalov V.P. and Selyanina I.U. (2012), "Methods for ensuring fault tolerance in multiservice communication networks", *Problems of Informatics*, no. 2, pp. 55-62.
5. Egunov M.M. and Shuvalov V.P. (2012), "Structural reliability analysis of transport network", *Vestnik SibGUTI*, no. 1, pp. 54-59.
6. Shuvalov V.P., Egunov M.M. and Minina E.A. (2015), Providing reliability indicators for telecommunications systems and networks. Moscow: Goryachaya liniya –Telecom.
7. Wolsinska L. and Chen J. (2008), "Reliability performance analysis vs deployment cost of fiber access networks", *7th Int'l Conf. Optical Internet*, pp. 1-2.
8. Wolsinska L.W. and Chen J. (2010), "Cost vs reliability performance study of fiber access network architectures", *IEEE Communications Magazine*, no. 48, pp. 56-65.
9. Zhang J., Zhu K., Zang H., Matloff N.S. and Mukherjee B. (2007), "Availability-aware provisioning strategies for differentiated protection services in wavelength-convertible WDM mesh networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 15, no. 5, pp. 1177-1190.
10. Zelentsov B.P. (2016), Matrix models of communication systems functioning, SIBSUTIS, Novosibirsk, Russia
- Shuvalov V.P. (2018), Long-Reach passive optical access networks: monography, in Shuvalov V.P. and Fokin V.G. (ed.). Moscow: Goryachaya liniya –Telecom.

Information about authors:

Vyacheslav P. Shuvalov, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Professor, Novosibirsk, Russia

Boris P. Zelentsov, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Professor, Novosibirsk, Russia

Irina G. Kvitkova, Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, Senior Lecturer, Novosibirsk, Russia