

Скопа А.А., Гринь В.А.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ЗАДАЧА АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОТКАЗОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕТЯХ НОВЫХ ПОКОЛЕНИЙ НА УРОВНЕ ОПОРНОЙ КОММУТАЦИИ И УРОВНЕ ДОСТУПА К СРЕДЕ ПЕРЕДАЧИ

Рассматривается принципиальная задача анализа и синтеза стохастической модели отказов в обслуживании на уровне опорной коммутации и уровне доступа к среде передачи в мультисервисной телекоммуникационной сети, основанная на нестационарном пуассоновском процессе и показательном распределении времени обслуживания.

Постановка проблемы и анализ исследований и публикаций. Мультисервисные телекоммуникационные сети (МСТС) на сегодняшний день не являются сетями связи в классическом понимании этого термина, поскольку предоставляют такой интегрированный спектр услуг, который принципиально отличается от ограниченных наборов услуг сетей связи предыдущих поколений. Это обуславливает дополнительные методологические особенности их анализа. Вопросы терминологии и определения основных понятий применительно к сетям, которые попадают под классификацию NGN (Next Generation Networks), определены в рекомендациях Международного союза электросвязи [1, 2]. Некоторые вопросы синтеза показателей качества отражены в работах украинских авторов [3]. Однако в полной мере для МСТС проблема контроля качества не решена. На наш взгляд, этот контроль в современных условиях должен носить прогностический характер, как это предусматривается применительно к оценке надежности более простых систем [4].

Отдельно следует отметить, что украинские ученые внесли значительный вклад в развитие методов прогнозирования случайных процессов, основанные на процедурах структурной идентификации. Так, под руководством акад. А. Ивахненко, разработан метод группового учета аргументов – МГУА. Эта большая работа отражена в трудах его научной школы [5...7] и др., а применительно к задачам связи – в работе [8]. В 80-х гг. под руководством проф. С. Левина разработан метод максимума компактности [9...12], который применительно к решаемым задачам показал высокую помехоустойчивость [13].

Как следует из выше приведенных исследований, качество предоставления услуг телекоммуникаций зависит от совершенства систем обеспечения эксплуатации, которые включают подсистемы контроля [14...16]. Очевидно, что сбор информации о состоянии контролируемого объекта и реакция на его отказы требует определенного времени. Прогнозирование технического состояния объектов контроля и другой информации, получаемой в результате обработки данных от систем контроля, компенсирует запаздывание информации и тем самым повышает эффективность управления процессами эксплуатации. Важное значение прогнозирования в процессе контроля привело к выделению его в особый вид контроля, который получил название прогнозирующего, или, прогностического контроля [14, 17, 18]. Т.о., анализ состояния проблем, связанных с исследуемым объектом, позволяет сделать однозначный вывод: проблема создания методик и систем прогностического контроля для современных МСТС и сетей следующих поколений, т.е. NGN, является актуальной задачей, а факторизация моделей отказа на уровне опорной коммутации и уровне доступа к среде передачи, которые являются их основными составляющими, являются ранее нерешенной частью общей проблемы.

В отношении связи проблемы с важными научными и практическими заданиями подчеркнем, что процесс конвергенции до настоящего времени протекает достаточно медленно. При этом проблема обеспечения необходимого качества обслуживания является одним из основных тормозящих факторов в процессе конвергенции сетей и услуг и построении единой сети на базе IP-протокола, рассматриваемой сегодня как сеть следующего поколения. Исходя из сказанного, целью статьи является синтез и анализ стохастической модели отказов в

обслуживании, которая может быть основана на нестационарном пуассоновском процессе и показательном распределении времени обслуживания, что эквивалентно факторизации модели отказа в МСТС на уровне опорной коммутации и уровне доступа к среде передачи.

Базируясь на этом, перейдем к изложению основного материала.

Уровень управления услугами содержит в себе логику предоставления услуг и доступа к приложениям. На этом уровне, в частности, решается задача маршрутизации трафика. Уровень доступа предоставляет широкий набор интерфейсов для подключения к услугам МСТС. С точки зрения аппаратного обеспечения эти уровни весьма схожи. На каждом из них используется достаточно большое количество устройств и еще большее количество портов. Фактически, с точки зрения пользователя, эти уровни сети практически эквивалентны и представляются группами «входящих» и «исходящих» портов.

Под входящими портами будем далее понимать интерфейс, развернутый в сторону абонентской линии, а под исходящими портами – интерфейс, развернутый в сторону сервисов высшего уровня или внешних операторских портов (т.н. порты внешних каналов провайдера, межстанционные соединения и проч.). Входящие и исходящие порты могут быть идентичными. Например, это Ethernet-порты коммутатора, к части которых подключена абонентская нагрузка, а к одному или двум – каналы передачи данных к внешним провайдерам. Для существующих сетей общего пользования характерно различие физической организации абонентских портов (типа FXO или FXS) и портов для межстанционных соединений (например, порты плат LTG).

С точки зрения решения задач надежности и качества предоставления услуг два низших уровня известной пятиуровневой модели МСТС наиболее близки к существующим телекоммуникационным сетям. Модели их функциональности достаточно полно рассмотрены в существующей научно-технической литературе, например в источниках [19...23].

Основными факторами, влияющими на качество предоставления услуг на низших уровнях МСТС, являются рассмотренные такие факторы, как ширина полосы пропускания внешних каналов, задержки и искажения передачи пакетов и др.

Вместе с тем, на данных уровнях по причине наличия весьма большого количества портов и связывающих их линий существенный вклад в общее количество отказов вносят отказы, возникающие вследствие программно-аппаратных сбоев. Существенными факторами, влияющими на качество обслуживания являются:

- общее количество портов и их надежность;
- используемое программное обеспечение;
- надежность кабельных коммуникаций;
- помехозащищенность радиоканалов передачи данных и устойчивость радиосвязи к атмосферным и иным факторам;
- надежность аппаратных или программных коммутаторов потоков пакетов;
- надежность межстанционных соединений в сетях общего пользования и т.п.

Указанные факторы влияют на субъективное восприятие абонентом качества обслуживания. Например, результаты анализа процесса отказов в цифровых коммутационных станциях [19] показывают, что допустимое число N отказавших плат в год рассчитывается по формуле:

$$N \leq 0,0025k(2L + 1,7D),$$

где L – количество абонентских линий (портов), D – число соединительных линий, k – коэффициент, равный единице для станций, емкостью свыше 2 тыс. портов.

Т.о., качество обслуживания для данных уровней МСТС можно ассоциировать с обслуживанием потоков заявок на портах. Событиями отказов в обслуживании можно считать:

- неисправность порта;
- перегрузку на входящем порту или обрыв абонентской линии;

- перегрузку на внешнем порту;
- сбой программного обеспечения и т.п.

По названным причинам подходящей методологической основой для решения задач надежности на данных уровнях является теория массового обслуживания. Исходя из нее, формализуем модель потока отказов, а также уточним модели времени непредоставления услуг, которые описываются показателем интенсивности отказов по i -му параметру в виде

$$q_i = \frac{1}{T} \int_0^T z_{\text{norm } i}(t) dt$$

нормированной по времени функцией $z_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, n$, а также интегральным показателем интенсивности отказов в обслуживании по всем параметрам в виде нормированной функции $Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$. Схематично процесс отказов-восстановлений показан на рис. 1.

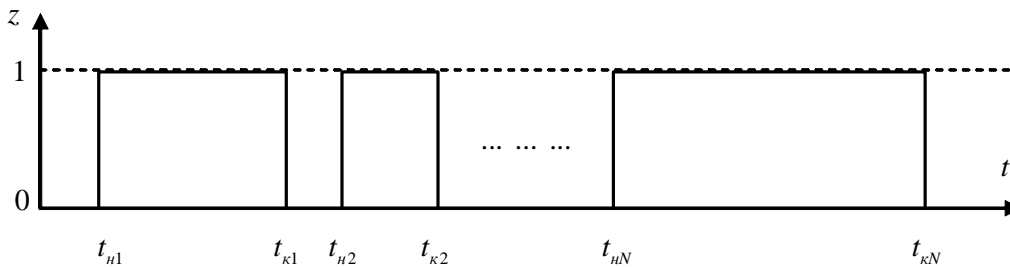


Рис. 1. Поток отказов-восстановлений

На рис. 1: $t_{нn}$ – моменты возникновения отказа; $t_{кn}$ – моменты восстановления услуги, $n = 1, 2, \dots, N$; N – общее количество отказов за некоторый выбранный период времени T .

Очевидно, при возникновении n -го отказа время непредоставления услуги составит:

$$\Delta t_n = t_{кn} - t_{нn}, n = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

Общее время непредоставления услуг за этот период вычисляется как сумма слагаемых (1) или как интеграл от нормированного показателя $z_{\text{norm}}(t)$:

$$t_{\Sigma} = \int_0^T z(t) dt = \sum_{n=1}^N \Delta t_n.$$

Временно сделаем ряд предположений, отражающих особенности функционирования низших уровней NGN, а именно:

1. Стационарность. Будем полагать, что вероятности отказов на интервале времени $[0, T]$ зависят только от длительности T этого интервала и не зависят от абсолютного момента времени его начала.
2. Отсутствие последствия. Количество отказов на последующих интервалах времени не зависит от количества отказов на предыдущих интервалах времени.
3. Ординарность. Можно выбрать столь малый временной интервал Δt , что за время никогда не произойдет более одного отказа в обслуживании.

Первое предположение отнесем к подсетям, которые определенный период времени имеют приблизительно постоянную организацию, и которые решают приблизительно одинаковые задачи. Примером таких сетей являются крупные корпоративные сети, предназна-

ченные для решения производственных задач. В их составе течение достаточно продолжительного времени (5...10 лет) находится почти один и тот же состав оборудования. Кроме того, трафик в таких сетях также имеет приблизительно одинаковую интенсивность, поскольку не изменяется существо решаемых задач. Примеры – компьютерные сети морских портов и крупных предприятий с неизменным производственным циклом.

Второе предположение характерно для сетей с эффективной системой обеспечения эксплуатации. Провайдер или оператор, единожды установив «узкое место» обслуживания такой сети стремится в кратчайшие сроки выполнить необходимые операции модернизации с целью недопущения повторения отказов по одним и тем же причинам. Будем полагать далее, что речь идет только о таких сетях. Провайдеры и операторы, не обеспечившие корректной модернизации сетей, или по каким либо причинам приостановили свою деятельность, или вскоре придут к такому финалу.

Последнее предположение вообще характерно для всех сетей, поскольку по анализу предыстории всегда можно найти интервал Δt столь малый, что в течение этого времени происходило не более одного отказа. Сделаем одно уточнение: допустим, отказ в обслуживании вызван тем, что вышел из строя один входящий порт коммутатора, выполняющего функцию концентратора абонентской нагрузки. Наряду с этим рассмотрим событие, когда весь данный коммутатор вышел из строя. В первом случае отказ в обслуживании получил один абонент, во втором – все абоненты, подключенные к данному коммутатору. Чтобы не выходить за границы допущения ординарности, во втором случае можно поступить следующим образом: полагать отказ единичным событием, а продолжительность отказа умножить на количество абонентских портов, на которых было невозможно транслировать трафик.

Приведенные предположения, как нетрудно видеть, формализуют поток отказов как пуассоновский поток [21]. Для такого случайного процесса распределение вероятностей отказов не зависит от момента времени в который начато исследование системы, а количество отказов m на интервале времени $[0, T]$ подчиняется вероятностной модели:

$$P_m(T) = \frac{(IT)^m}{m!} e^{-IT},$$

где $P_m(T)$ – вероятность того, что за время T произойдет ровно m отказов в обслуживании.

Тогда вероятность безотказного предоставления сервисов за время T составит [24]:

$$P_0(T) = e^{-IT},$$

а вероятность хотя бы одного отказа в предоставлении сервисов за время T :

$$P_{\text{отк}}(T) = 1 - e^{-IT}.$$

Математическое ожидание количества отказов в обслуживании за время T будет при этом равно $\overline{m} = IT$, также как и дисперсия – $D_m = IT$.

На самом деле большинство телекоммуникационных сетей являются развивающимися системами, как в части технического совершенствования, так и в части масштабирования. Допустим, что некоторая сеть изменяется так, что ее сетевое оборудование (коммутаторы, маршрутизаторы и др.) остаются примерно на одном технологическом уровне, а количество абонентов сети и, следовательно, количество входящих абонентских портов возрастает. При этом очевидно, что приведенная выше вероятностная модель остается в общем адекватной, однако интенсивность отказов I будет сильно коррелирована с количеством абонентских линий. Такая ситуация является типичной для современных телекоммуникационных сетей на достаточно продолжительных временных отрезках, когда не прои-

сходит технического перевооружения этих сетей. В этом случае адекватной моделью потока отказов представляется нестационарный пуассоновский поток с интенсивностью отказов, пропорциональной количеству абонентских портов $M_{аб}$:

$$I(t) = \beta M_{аб}(t), \quad (2)$$

где β – коэффициент, определяемый по опытным данным.

Количество отказов за период времени – это лишь один из показателей качества обслуживания. Для абонента важно, чтобы при возникновении аварийной ситуации на сети подача услуги была восстановлена в минимально короткие сроки. Поэтому выше упомянутые временные характеристики отказов q_i и Q важны с психологической и экономической точки зрения.

Достаточно простым образом можно моделировать среднее время непредоставления услуги на временном интервале $[0, T]$, а именно: оно равно среднему количеству отказов на данном отрезке времени, умноженному на среднее время восстановления после отказа.

Заметим, что среднее время восстановления также зависит от количества абонентских портов, но нелинейно. В эффективной системе обеспечения эксплуатации мощности аварийно-восстановительных служб масштабируются в соответствии с потоком заявок на восстановление связи. Однако масштабирование это происходит не плавно, а ступенчато. В то же время на достаточно больших временных отрезках (порядка 1...4 месяцев) можно полагать, что время восстановления является не процессом, а величиной с фиксированным законом распределения.

В большинстве случаев восстановление услуг выполняется по технологическим регламентам в заданное время или быстрее нормативов. В редких случаях система обеспечения эксплуатации затрачивает излишнее время на установление причины отказа, вызов субподрядчиков и т.п. Т.о. можно считать, что распределение времени восстановления описывается моделью «редких событий». Подходящей аппроксимационной моделью для этого случая является показательное распределение с плотностью распределения вероятностей:

$$g(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad t > 0, \quad (3)$$

где μ – величина, обратно пропорциональная среднему времени восстановления $M_{восст}$.

На основании зависимостей (2) и (3) среднее время непредоставления услуг может быть выражена зависимостью:

$$q(T) = M_{восст} \beta M_{аб}(T),$$

$$M_{восст} = \int_0^T t e^{-\mu t} dt$$

где

Выводы. Синтезирована и проанализирована стохастическая модель отказов в обслуживании, основанная на нестационарном пуассоновском процессе и показательном распределении времени обслуживания. Приведенный процесс, по сути, является факторизацией модели отказа в мультисервисной телекоммуникационной сети на уровне опорной коммутации и уровне доступа к среде передачи. Предметом дальнейших исследований может быть проблема согласования уровней в известной модели Альтшуллера [25] с учетом полученных данных по факторизации модели отказа в МСТС на уровнях управления услугами, управления сетью, опорной коммутации и уровне доступа к среде передачи.

Литература

1. ITU-T. Recommendation E.800 «Terms and definitions related to quality of service and network performance including dependability».
2. ITU-T. Recommendation Y1541 «Network Performance Objectives for IP-Based services».
3. Щербина Ю.В., Казакова Н.Ф. Проблемы объективной оценки параметров защищенных автоматизированных систем // Матер. IV наук.-техн. конф. «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні», Київ: НТУУ «КПІ», 2006. – С. 60-61.
4. Васильев Б.В. Прогнозирование надежности и эффективности радиоэлектронных устройств. – М.: Сов. Радио, 1970. – 336 с.
5. Ивахненко А.Г. Кибернетические системы автоматического управления, способные к обучению. – К.: КДНТП, 1962.
6. Ивахненко О.Г. Кібернетичні системи з комбінованим керуванням. – К.: Держ. вид. техн. літератури УРСР, 1963.
7. Ивахненко О.Г., Зайченко Ю.П. Машины починають мислити. – К.: Тов. «Знання» УРСР, 1967.
8. Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. – М.: «Радио и связь», 1987.
9. Левин С.Ф. Метод максимума компактности и комплексные измерительные задачи // Измерительная техника. – 1995. – №7.
10. Левин С.Ф. Теория измерительных задач идентификации // Измерительная техника. – 2001. – №7.
11. Левин С.Ф. Основные понятия метрологии. – М.: МИЭИ, 2001.
12. Левин С.Ф. Измерительные задачи структурной идентификации математических моделей физических объектов // РОСТЕСТ-Москва, Госстандарт РФ.
13. Левченко А.О. Розроблення адаптивної системи технічної діагностики з прогнозуванням // Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Одес. нац. політехн. ун-т., 2004. – 19 с.
14. Глазунов Л.П., Грабовецкий В.П., Щербаков О.В. Основы теории надежности автоматических систем управления. – Учебн. пособ. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1984.
15. Дятлов В.А., Кабанов А.Н., Милов Л.Т. Контроль динамических систем. – Л.: Энергия, 1978. – 88 с. – ил. (Б-ка по автоматике. Вып. 592.)
16. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. литературы, 1979.
17. Есаулов С.М., Бабичева О.Ф., Иванской С.И. Автоматизация контроля исправности оборудования на объектах электротранспорта // Коммунальное хозяйство городов. – [Электронный ресурс]: <http://www.artstayl.ru/upravlenie-stankami/avtomatizaciya-kontrolya-i-podnaladki-oborudovaniya.htm>.
18. Герман-Галкин С. Анализ и синтез мехатронной системы // Силовая электроника. – 2006. – №1. – С.82-87.
19. Шалаев А.Я. Система сбора и анализа информации о работе цифровых АТС // Информ-Курьер-Связь, 2004, №9. – С.37-44.
20. Яновский Г.Г. Современные проблемы науки в области телекоммуникаций (Эволюция и конвергенция) // СПб: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2008. – 162 с.
21. Ломовицкий В.В., Михайлов А.И., Шестак К.В., Щекотихин В.М. Основы построения систем и сетей передачи информации. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 382 с.
22. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
23. Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф. Телекоммуникационные системы и сети: Том 1 – Современные технологии. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 647 с.
24. Ветцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Физматгиз, 1969. – 576 с.
25. Альтшуллер Г.С. Найти идею. – Новосибирск: Наука, 1986 // [Электронный ресурс]: <http://www.trizminsk.org/r/4117.htm#09>.

Надійшла до редколегії 30.04.2010

Рецензент: д.т.н., проф. Положаєнко С. А., зав. кафедрою "КСУ", ОНПУ.

Анотація

Розглядається принципове завдання аналізу та синтезу стохастичної моделі відмов в обслуговуванні на рівні опорної комутації та рівні доступу до середовища передачі в мультисервісній телекомунікаційній мережі, яка базується на нестационарному пуассонівському процесі та показниковому розподілі часу обслуговування..

Annotation

The of principle task of analysis and synthesis of stochastic pattern of failures is examined in service at the level of supporting commutation and level of access to the environment of transmission in a multiservice telecommunication network, based on a Poisson transient and model distributing of time of service.