

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФАКТОРОВ ОТКАЗОВ СОВРЕМЕННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ И СЕТЕЙ NGN

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с научными и практическими задачами. Построение систем обеспечения эксплуатации современных мультисервисных сетей и NGN [1] (*объект* исследований) требует решения задач прогностического контроля. Такой контроль позволяет поддерживать качество обслуживания – *Quality of Service (QoS)* на заданном уровне, поскольку реакции системы обеспечения эксплуатации «по факту отказа» приводят к значительным экономическим потерям. Одной из первоначальных задач прогностического контроля является анализ и разработка методик прогнозирования, применимых для решения задач обеспечения эксплуатации NGN.

Анализ научной и технической литературы (например, [2...5]) показывает, что в настоящее время, с учетом многообразия используемых технологий передачи данных в мультисервисных сетях проблема эффективного прогностического контроля в полной мере не решена. **Нерешенной частью** общей проблемы является отсутствие математических моделей факторов, которые бы позволяли решать задачи их прогнозирования с приемлемой для практики точностью, имели простую физическую интерпретацию и позволяли идентифицировать их ненаблюдаемые характеристики (параметры) на основе измерения наблюдаемых параметров NGN. **Целью данной статьи** является разработка таких моделей на основе опыта эксплуатации мультисервисных сетей и выбор методов их идентификации.

Перейдем к изложению *основного содержания* статьи.

Понимая под отказом NGN непредоставление услуги должного качества (QoS), рассмотрим основные факторы, влияющие на качество предоставления услуг.

Существенный вклад в развитие различных аспектов концепции QoS внес Международный союз электросвязи (МСЭ), включая, в том числе, разработку норм и требований к показателям качества обслуживания. Концепции моделей надежности, основанные лишь на факте доставки-недоставки информации были достаточно эффективными в сетях IP для приложений, где можно передавать данные не в реальном времени (электронная почта, передача файлов). Однако, для приложений реального времени, имеется необходимость уточнения этих показателей.

Прежде всего, это объясняется основным принципом функционирования IP-сетей – передачей данных без установления соединений и без управления. С появлением новых приложений, особенно, приложений реального времени (интерактивная передача речи, видеотелефония и видеоконференции), вопрос о гарантированном качестве обслуживания в сетях IP становится одним из наиболее сложных [4].

Анализ отказов в реальных условиях (в частности, на одесской сети обмена трафиком) показывает, что для большинства услуг предоставляемых современными IP-сетями, как прообразами NGN, отдельные сервисы в большей или меньшей степени чувствительны к ширине полосы пропускания, потерям пакетов, задержкам передачи пакетов и нестабильности этой задержки (джиттеру). Кроме того, из элементарных физических соображений ясно, что отказ конкретного сервера, обеспечивающего предоставление конкретной услуги или группы услуг также означает отказ в обслуживании. При этом отказ может быть как аппаратный, так и программный.

Ориентируясь на интересы потребителя телекоммуникационных услуг, в 2002 году 13-ая Исследовательская Комиссия МСЭ опубликовала два международных стандарта Y.1540 и Y.1541 [6]. Рекомендация МСЭ Y.1541 определяет нормы для параметров, определенных в Рекомендации Y.1540, между двумя граничными сетевыми интерфейсам – точками подключения оконечных терминальных устройств. Кроме того, в этой рекомендации специфицированы шесть классов *качества* обслуживания в зависимости от приложений.

В Рекомендации Y.1540 рассматриваются следующие сетевые характеристики (табл.1) как наиболее важные по степени их влияния на сквозное качество обслуживания (от источника до получателя), оцениваемое пользователем: производительность сети, надежность сети/сетевых элементов, задержка, вариация задержки (джиттер), потери пакетов, ошибки в пакетах.

Таблица 1 – Нормы для характеристик IP-сетей с распределением по классам качества обслуживания

Сетевые характеристики	Классы QoS					
	0	1	2	3	4	5
Задержка доставки пакета IP, IPTD, мс	100	400	100	400	1000	10000 Н
Вариация задержки пакета IP, IPDV, мс	50	50	100 Н	400 Н	1000 Н	10000 Н
Коэффициент потери пакетов IP, IPLR	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$ Н
Коэффициент ошибок пакетов IP, IPER	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$ Н

Примечание: Н – не нормировано стандартами МСЭ, принято условно исходя из практики эксплуатации IP-сетей.

Рекомендация Y.1541 устанавливает соответствие между классами качества обслуживания и приложениями:

Класс 0 Приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (VoIP, видеоконференции);

Класс 1 Приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, интерактивные (VoIP, видеоконференции);

Класс 2 Транзакции данных, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (например, сигнализация);

Класс 3 Транзакции данных, интерактивные;

Класс 4 Приложения, допускающие низкий уровень потерь (короткие транзакции, массивы данных, потоковое видео);

Класс 5 Традиционные применения сетей IP (электронная почта, WWW и др.).

Понимая под отказом в обслуживании несоответствие заявленного оператором класса качества обслуживания и реального качества сети, определяемым определяем событие «параметрический отказ» как выход определенного параметра качества сети за назначенную границу

Анализ литературных источников и данных измерений различных характеристик качества показывает, что характеристики, показанные в табл. 1, существенно зависят от интегральной характеристики – занятой ширины пропускания внешних портов провайдера.

В самом деле, если заказанная провайдером полоса занята более чем на 90%, это неизбежно будет приводить к задержкам пакетов, джиттеру и вообще затруднит решение задач в реальном времени. При этом сеть все еще будет способна предоставлять услуги 5-го класса. Если этот класс обслуживания заявлен оператором, то отказа в обслуживании нет. Если же заявлен 1-3 класс обслуживания, то такая загрузка внешних портов соответствует отказу в обслуживании. Зная среднюю полосу, занимаемую каждым абонентом, можно установить практически линейную зависимость между совокупной занимаемой полосой и количеством программно-аппаратных отказов на абонентских портах.

Из этого следует, что важнейшей задачей прогностического контроля является прогнозирование полосы пропускания внешних портов провайдера (оператора). Поскольку занятость

полосы может измеряться через весьма короткие промежутки времени, можно считать зависимость этого параметра от времени непрерывной реализацией нестационарного, вообще говоря, случайного процесса. Тогда, применяя теорему Вейерштрасса, можно представить такую зависимость в виде полинома:

$$\varphi_k(t) = a_{k0} + a_{k1}t + a_{k2}t^2 + \dots + a_{kN}t^N + \varepsilon_k, \quad (1)$$

где N – количество членов степенного ряда обеспечивающих точность и устойчивость модели фактора у вариациям данных; $k = 1, 2, \dots, K$ – условный номер фактора, влияющего на отказоустойчивость NGN; ε_k – ошибка модели или случайная составляющая процесса.

В более общем виде структурную форму зависимости факторов от времени можно представить в виде разложения по произвольной системе линейно независимых функций, в частности, по тригонометрическим функциям. Последнее удобно, если требуется моделировать периодические составляющие процессов, например имеющие место сезонные и суточные периоды изменения нагрузки в сетях. Итак, дополнительной формой модели зависимости факторов от времени принимаем разложение:

$$\varphi_k(t) = a_{k1}\psi_{k1}(t) + a_{k2}\psi_{k2}(t) + \dots + a_{kN}\psi_{kN}(t) + \varepsilon_k, \quad (2)$$

где ψ_{kN} , $n = 1, 2, \dots, N$ – система линейно независимых опорных функций.

Рассмотрим практическую задачу прогнозирования трафика в сети развивающегося провайдера (условный провайдер-2). Мультисервисная услуга данного провайдера подается по кабельным сетям. Транспортный и сетевой уровень обеспечивается протоколом Ethernet. Подключение абонентов осуществляется бригадой, которая способна обслужить до 6 заявок на подключение в день. В среднем абоненты заказывают подключение с полосой пропускания до 1 Мбит/с. Таким образом, можно предполагать, что за 5 рабочих дней, т.е. еженедельно, суммарная полоса на уровне абонентских портов будет возрастать приблизительно на 30 Мбит/с. Также путем наблюдения за трафиком на исходящих и входящих портах концентраторов абонентской нагрузки установлено, что коэффициент одновременности составляет приблизительно 10. При этом можно ожидать, что еженедельно занимаемая полоса внешних портов будет увеличиваться примерно на 3 Мбит/с.

Задача заключается в том, чтобы по результатам наблюдения за трафиком на внешних портах спрогнозировать момент времени, когда необходимо будет выполнить расширение полосы на порту внешнего провайдера от 100 Мбит/с до 200 Мбит/с. Внутренним стандартом установлено, что максимальная загрузка этой полосы должна быть не более 80% в ЧНН.

Целью прогностического контроля является установление прогнозируемого момента времени, когда необходимо будет осуществить технические мероприятия (замену оборудования) и организационные мероприятия (заказ у внешнего провайдера полосы 200 Мбит/с).

Приведенные выше соображения о характере изменения нагрузки в сети говорят о том, что процесс изменения занятой полосы пропускания следует моделировать зависимостью в форме полинома первой степени $Y_1(t_k) = b_{1,0} + b_{1,1}t_k$. Для сравнения построена также модель в виде квадратичного полинома $Y_2(t_k) = b_{2,0} + b_{2,1}t_k + b_{2,2}t_k^2$.

Результаты расчетов и прогноз на контрольную выборку выполнен методом группового учета аргументов и показан на рис. 1

В качестве оптимальной выбрана линейная модель $Y_1(t_k) = 19,6 + 3,31t_k$, для которой эмпирическая дисперсия на контрольной выборке со-



Рис. 1 – Прогнозирование линейной и квадратичной функцией

ставила $\bar{D}_1 = 42,0$, тогда как для квадратичной модели $\bar{D}_2 = 439,2$ (в 10 раз больше!). Прогноз по более сложной модели оказался менее корректным, чем прогноз по более простой линейной модели, которая изначально предполагалась как достаточно адекватная на основе физических соображений.

В других случаях более адекватными являются частные случаи модели (2). Рассмотрим графики загрузки внешнего порта другого провайдера, предоставляющего услугу по различным транспортным сетям – кабельным, радио, а также по коммутируемым каналам передачи данных.

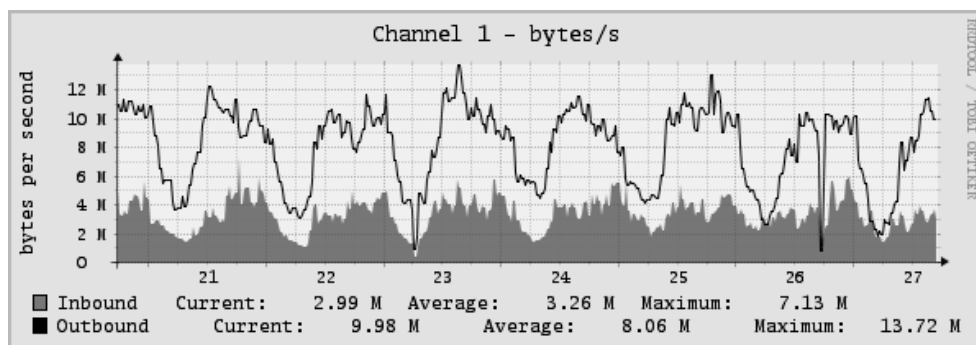


Рис. 2 – График загрузки порта «условного провайдера 2» за неделю

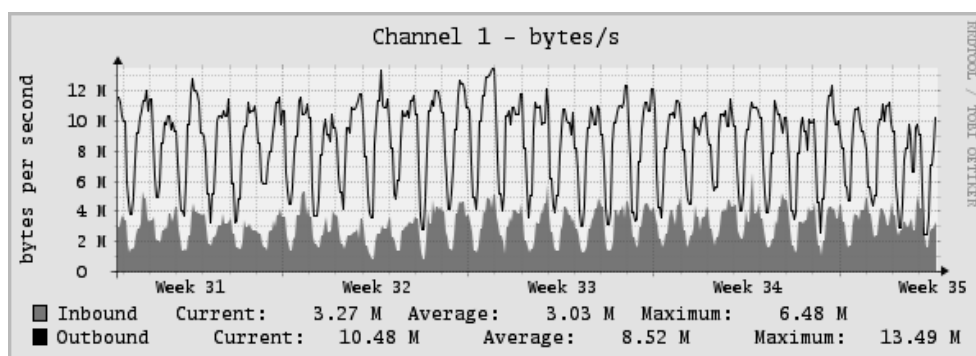


Рис. 3 – График загрузки порта «условного провайдера 2» за месяц

Приведенные графики сгенерированы программой «САСТІ». По оси абсцисс откладывается время. Единицы времени понятны из графика. По оси ординат откладывается нагрузка на порту в мегабайтах в секунду. Чтобы получить эту нагрузку в более привычных единицах – битах (килобитах, мегабитах и т.д.) в секунду, надо значения, показанные на графике, умножить на 8. Также заметим, что термины *Inbound* и *Outbound* относятся к рассмотрению порта со стороны ответного интерфейса. Поэтому входящему трафику соответствует верхняя линия, а исходящему – заштрихованная фигура.

Эти замечания справедливы и для других графиков загрузки портов, рассматриваемых в настоящем разделе.

Анализ графиков (рис.2 и 3) позволяет сделать следующие выводы:

1. Входящий трафик превалирует над исходящим. Из этого можно сделать вывод, что «условный провадер 2» вряд ли является контент-провайдером;
2. Имеется ярко выраженный «провал» загрузки порта приблизительно в с 2-х до 8-ми часов (ночное время);
3. Загрузка порта имеет пульсирующий нерегулярный характер. При этом имеется некоторая регулярная часть процесса;

4. Наличие суточных периодичностей видно отчетливо на графике рис. 2. Менее заметны, но все же присутствуют периодические недельные флуктуации трафика. Нагрузка снижается в выходные дни.

В данной статье на приведен график загрузки порта за год, который показывает, что и на продолжительных интервалах наблюдений имеются некоторые закономерности. В частности, имеется выраженный спад нагрузки в период новогодних праздников и вплоть до середины февраля. Также имеются тенденции изменения трафика приблизительно линейного характера на интервалах продолжительностью 2...4 месяца.

С учетом выявленных закономерностей тенденций изменения трафика и с учетом сильной корреляции между занятостью полос пропускания NGN и оператора, функцию изменения загрузки порта можно представить в виде:

$$\varphi(t) = \varepsilon(t) + a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_N t^N + a_{N+1} \cos(\omega_1 t + \beta_1) + a_{N+2} \cos(\omega_2 t + \beta_2) + a_{N+3} \cos(\omega_3 t + \beta_3) \quad (3)$$

где $\varepsilon(t)$ – нерегулярная (случайная) составляющая наблюдаемого процесса; последние три слагаемых моделируют периодические составляющие тренда с периодами соответственно сутки, семь суток, 365 суток.

Задача структурной идентификации параметров модели (3) выходит за рамки настоящей статьи, поскольку даже при известных периодах гармонических составляющих, она оказывается нелинейной по фазам. Вместе с тем, рассмотренные материалы позволяют сделать ниже приведенные выводы.

Выводы

1. С учетом рекомендаций международного союза электросвязи отказоустойчивость NGN следует понимать более широко, нежели отказоустойчивость сетей связи предыдущих поколений. Под качеством обслуживания понимается степень удовлетворенности абонента (потребителя услуг) качеством предоставляемого сервиса.
2. Основными факторами, влияющими на качество предоставления сервисов NGN в соответствии с рекомендациями МСЭ и практикой эксплуатации следует отнести: ширину полосы пропускания портов различных уровней NGN; потери пакетов при пакетной коммутации сообщений, а также искажения в передаче пакетов; фактор надежности аппаратной части сетей и др.
3. Нестационарные (регулярные) составляющие процессов целесообразно моделировать функциями, содержащими степенные и гармонические компоненты.
4. На основе экспериментальных данных установлены основные периодичности загрузки портов: суточная, недельная, годовая.
5. Модели зависимостей факторов, влияющих на отказы, от других факторов и от времени следует соотносить с конкретной сетью и ее особенностями, а ее общую структуру уточнять методами структурной идентификации.

Список литературы: 1. Wilkinson N. Next Generation Network Services. Technologies and Strategies. – John Wiley & Sons, Ltd., 2002. 2. Крупномасштабные мультисервисные сети связи. NGN технологии / [Электронный ресурс]: http://www.informsviaz.ru/inform_tech/multiserv.html. 3. Гольдштейн Б.С. Системы коммутации. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. – 314 с. 4. Виноградов А. Ю. Оценка качества передачи речи по низкоскоростным каналам связи. // Сети и системы связи, 2001, №4. – С. 24-30. 5. Гольдштейн Б.С., Маршак М.Д., Мишин Е.Д. и др. Контроль показателей качества обслуживания с учетом перехода к сети связи следующего поколения // Техника связи, 2009, №1. – С. 14-21. 6. Соколов Н.А. Эволюция коммутационных станций в телефонии // Технологии и средства связи // [Электронный ресурс]: http://www.tssonline.ru/articles2/tmop/evoluc_kommutac_stanc_telefonii. 7. Ивахненко А.Г., Степаншко В.С. Помехоустойчивость моделирования. – К.: Наук. думка, 1985. – 342 с.

УДК 519.876.5; 004.738.5

Прогностические модели факторов отказов современных телекоммуникационных сетей и сетей NGN / *А.Н. Кушер, Н.А. Одегов, А.А. Скопа // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 200_. Вып. ___. С. __-__.*

Разработана группа моделей основных факторов отказов современных мультисервисных телекоммуникационных сетей, как прообраза сетей NGN. Предложены методы идентификации свободных параметров и структуры таких моделей.

Библиогр.: 7 назв.

УДК 519.876.5; 004.738.5

Прогностичні моделі чинників відмов сучасних телекомунікаційних мереж та мереж NGN / *О.М. Кушер, М.А. Одегов, О.О. Скопа // Радіотехніка: Всеукр. міжвід. наук.-техн. сб. 200_. Вып. ___. С. __-__.*

Розроблена група моделей основних чинників відмов сучасних мультисервісних телекомунікаційних мереж, як прообразу мереж NGN. Запропоновані методи ідентифікації вільних параметрів та структури таких моделей.

Бібліогр.: 7 назв.

UDK 519.876.5; 004.738.5

Prognoses models of factors of refusals of modern telecommunications networks and networks of NGN / *A.N. Kusher, M.A. Odegov, O.O. Skopa // Radiotekhnika: All-Ukr. Sci. Interdep. Mag. 200_. № ___. P __-__.*

The group of models of basic factors of refusals of modern multiservices telecommunications networks is developed, as prototype of networks of NGN. The methods of authentication of free parameters and structure of such models are offered.

Ref.: 7 items.