

# МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ ТУННЕЛИ

Беляев Д.Л.<sup>1</sup>, Нгуен М.Х.<sup>2</sup>

В статье рассмотрена необходимость использования возможностей управления качеством обслуживания в коммуникационном оборудовании при применении криптографических туннелей. Предложена методика прогнозирования параметров трафика, определяющих качество обслуживания на основе математического аппарата временных рядов. Определены этапы методики, представлены аналитические выражения, позволяющие построить адаптивную комбинированную модель для получения прогнозных оценок изменения параметров трафика. Предложен подход к повышению качества обслуживания за счет динамического изменения политик QoS в коммуникационном оборудовании.

**Ключевые слова:** сетевой трафик, класс обслуживания, очередь, временной ряд, период упреждения, экспоненциальное сглаживание.

## Введение

Возможности коммуникационного оборудования по передаче информационных потоков непосредственно влияют на качество предоставляемых информационных услуг, например задержки пакетов ip-телефонии снижают качество телефонной связи. К настоящему времени известно множество работ [1–6], посвященных проблеме управления качеством обслуживания в ip-сетях, однако в них недостаточно полно раскрыты вопросы, определяющие соответствие числа предоставляемых мультисервисных услуг количеству классов обслуживания и их приоритету.

Информационная безопасность в мультисервисных сетях обеспечивается комплексом мер, включающих в себя технические способы защиты информации, основными из которых являются способы формирования криптографических VPN-туннелей. При применении криптографических туннелей повышаются требования к производительности коммуникационного оборудования, что уменьшает доступность сетевого ресурса для пользователей. Инкапсуляция пакетов в крипто-туннелях серьезно затрудняет функционирование механизмов качества обслуживания (Quality of Service – QoS) в составе сетевых протоколов и прикладных приложений пользователей. Особенностью коммуникационного оборудования, применяемого в современных мультисервисных сетях (МСС), является совмещение функций марш-

рутизации, управления качеством обслуживания и формирования криптотуннелей.

Анализ совместной реализации механизмов управления очередями и криптозащиты в маршрутизаторах Cisco (рис. 1) позволил установить, что применение криптографической защиты приводит к значительному сокращению пропускной способности выходных интерфейсов. На рисунке 1 приведены следующие обозначения: Input interface – входной интерфейс; Output interface – выходной интерфейс; CBWFQ classification – обслуживание очередей на основе классов; LLQ – очередность с низкой задержкой; Best effort – негарантированная доставка; Crypto engine – криптоядро.

Данный подход предусматривает совместное применение различных механизмов формирования очередей для разных видов трафика. Высокоприоритетный трафик обрабатывается с учетом требований к задержке и резервированием полосы пропускания для других типов трафика. Трафик, циркулирующий в ведомственных мультисервисных сетях, классифицируется в зависимости от типа приложений (реального времени, потокового вещания, передачи файлов) и приоритета абонентов, который может быть указан с помощью разрешающих списков контроля доступа. Физическое перемещение абонентов, обладающих высоким статусом, между различными сегментами МСС требует корректировки политик QoS в коммуникационном оборудовании.

1 Беляев Дмитрий Леонидович, кандидат технических наук, Академия ФСО России, г. Орёл, dbelyaew@mail.ru

2 Нгуен Мань Хоп, г. Орёл, Академия ФСО России, г. Орёл, hopnm90@gmail.com

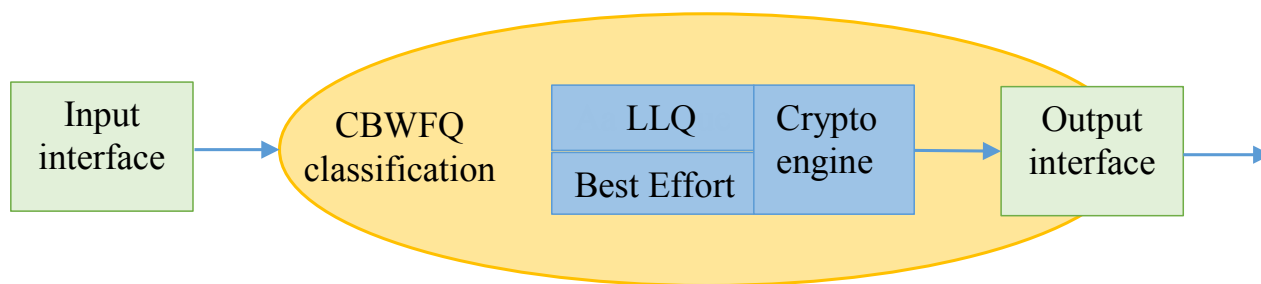


Рис. 1. Реализация совместного применения механизмов QoS и криптографической защиты в коммуникационном оборудовании Cisco

Однако настройка политик QoS в коммуникационном оборудовании выполняется на долгосрочной основе и не учитывает ни динамического изменения потребностей пользователей в получении мультисервисных услуг, ни загруженности криптографических туннелей. Существующее противоречие заключается в сложности обеспечения заданных показателей качества предоставляемых услуг в условиях криптографической защиты заголовков и содержимого передаваемых пакетов. Указанные факторы обуславливают необходимость разработки методики прогнозирования параметров качества обслуживания в мультисервисных сетях и математической модели как составной части данной методики.

**Этапы методики прогнозирования параметров качества обслуживания:**

1. Оценка параметров качества обслуживания на оконечном оборудовании МСС.
2. Передача измеренных значений характеристик трафика и запись в базу данных мониторинга состояния МСС.
3. Построение временных рядов для основных классов обслуживания и идентификация математических моделей для них.
4. Прогнозный расчет изменения параметров качества обслуживания в будущие моменты времени.
5. Сравнение прогнозных значений с требуемыми.

Первый и второй этапы методики предполагают генерацию уведомлений на терминалах МСС, используемых в качестве оконечного оборудования, о скорости передачи, времени получения и вероятности потерь трафика, помеченного в поле DSCP в соответствии со спецификацией RFC 4594. Для мониторинга параметров качества в МСС

должен присутствовать координационный центр, осуществляющий ведение базы данных текущего состояния сети.

Изменение во времени характеристик качества обслуживания для каждого класса может быть представлено в виде временного ряда на третьем этапе методики. Ряд, основанный на значениях параметров качества обслуживания, является нестационарным и может содержать тенденции и циклические явления аддитивного или мультипликативного характера в зависимости от динамики доступа пользователей к мультисервисным услугам. Математическая модель, генерирующая временной ряд  $x_t$ , представляется в виде двух компонентов [7–9]:

$$x_k(t) = \xi_t + \varepsilon_t, \tag{1}$$

где величина  $\xi_t$  генерируется трендом, описывающим закон эволюции уровня во времени, а величина  $\varepsilon_t$  может быть генерирована либо детерминированной функцией, либо случайным процессом, либо любой их комбинацией.

В связи с тем, что уровень и динамические свойства ряда варьируются в течение времени, прогнозные значения могут быть получены на четвертом этапе методики на основе адаптивной комбинированной модели. Она представляет собой базовый набор из моделей, для которых осуществляется автоматический выбор по заданному критерию, при этом адаптация может происходить на двух уровнях: по структуре или типу модели и по параметрам. Будущие значения ряда должны вычисляться одновременно по всем моделям из базового набора, а прогнозируемому значению соответствует величина, полученная по той из моделей, которая дает минимальную абсолютную ошибку прогноза текущего члена ряда при заданном периоде упреждения  $\tau$ . Выбор параметров адапта-

ции в пределах 0...0,5 позволяет придать больший вес прошлым значениям временного ряда, а от 0,5 до 1 – значениям, близким к периоду упреждения. Для повышения точности прогнозирования следует присваивать значения параметрам сглаживания в зависимости от автоковариации процесса.

В базовый набор должны быть включены модели, которые учитывают периодические изменения и тенденцию роста параметров трафика, связанные с особенностями получения доступа к мультисервисным услугам, поэтому в качестве базового набора могут применяться адаптивная полиномиальная модель, использующая метод экспоненциального сглаживания, и адаптивная модель сезонности Тейла–Вейджа.

Метод экспоненциального сглаживания позволяет вычислить коэффициенты предсказывающего полинома через экспоненциальные средние соответствующих порядков. Увеличение степени полинома приводит к повышению точности прогноза, но требует больших вычислительных затрат [10]. На практике степень полинома выбирается не выше 2, при этом величина  $\xi_t$  из выражения (1) представляется в квадратичном виде:

$$\xi_t = a_1 + a_2 t + \frac{a_3}{2} t^2. \quad (2)$$

Текущие оценки  $\hat{a}_{1,t}, \hat{a}_{2,t}, \hat{a}_{3,t}$  коэффициентов адаптивного полинома могут быть получены с помощью метода наименьших квадратов. Модель прогнозирования описывается выражением

$$\begin{aligned} \hat{x}_t^* = & [6\beta^2 + (6 - 5\alpha)\alpha\tau + \alpha^2\tau^2] \frac{S_{t-\tau}}{2\beta^2} - \\ & - [6\beta^2 + 2(5 - 4\alpha)\alpha\tau + 2\alpha^2\tau^2] \frac{S_{t-\tau}^{[2]}}{2\beta^2} + \\ & + [2\beta^2 + (4 - 3\alpha)\alpha\tau + \alpha^2\tau^2] \frac{S_{t-\tau}^{[3]}}{2\beta^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\alpha, \beta$  – параметры сглаживания,  $\beta = 1 - \alpha$ ;

$S_t, S_t^{[2]}, S_t^{[3]}$  – экспоненциальные средние 1-го, 2-го и 3-го порядков, вычисляемые из соотношений

$$S_t = \alpha x_t + \beta S_{t-1}, \quad (4)$$

$$S_t^{[2]} = \alpha S_t + \beta S_{t-1}^{[2]}, \quad (5)$$

$$S_t^{[3]} = \alpha S_t^{[2]} + \beta S_{t-1}^{[3]}. \quad (6)$$

Включение модели Г. Тейла и С. Вейджа в базовый набор комбинированной модели обусловлено возможностью прогнозирования рядов, содержащих комбинацию линейного роста и

аддитивных сезонных (циклических) эффектов. При этом линейная тенденция и аддитивная сезонная составляющая могут быть получены из экспоненциальной и мультипликативной соответственно посредством замены первоначальных значений ряда их логарифмами [11, 12]:

$$x_t = a_{1,t} + g_t + \varepsilon_t, \quad (7)$$

$$a_{1,t} = a_{1,t-1} + a_{2,t}, \quad (8)$$

где  $a_{1,t}$  – величина уровня процесса после элиминирования сезонных колебаний;  $a_{2,t}$  – аддитивный коэффициент роста от момента  $t - 1$  к моменту  $t$ ;  $g_t$  – аддитивный коэффициент сезонности;  $\varepsilon_t$  – белый шум.

Прогноз, сделанный в момент  $t$  на  $\tau$  временных тактов вперед, рассчитывается по формуле

$$\hat{x}_t^* = \hat{a}_{1,t-\tau} + \tau \hat{a}_{2,t-\tau} + \hat{g}_{t-l+\tau} \quad (9)$$

где  $l$  – число временных тактов в сезонном цикле,  $\hat{a}_{1,t}, \hat{a}_{2,t}$  и  $g$  – коэффициенты, вычисляемые по формулам

$$\hat{a}_{1,t} = \alpha_1(x_t - \hat{g}_t) + (1 - \alpha_1)(\hat{a}_{1,t-1} + \hat{a}_{2,t-1}); \quad (10)$$

$$\hat{a}_{2,t} = \alpha_2(\hat{a}_{1,t} - \hat{a}_{1,t-1}) + (1 - \alpha_2)\hat{a}_{2,t-1}; \quad (11)$$

$$\hat{g}_t = \alpha_3(x_t - \hat{a}_{1,t}) + (1 - \alpha_3)\hat{g}_{t-1}. \quad (12)$$

В этих соотношениях  $\alpha_1, \alpha_2$  и  $\alpha_3$  – параметры сглаживания (адаптации), удовлетворяющие условию  $0 < \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 < 1$ . Начальные значения коэффициентов  $\hat{a}_{1,0}$  и  $\hat{a}_{2,0}$  могут быть получены аналогично методу полиномиального сглаживания.

Вычисление ошибок прогнозирования значений  $\hat{x}_t^*$ , полученных по адаптивной полиномиальной модели, и значений  $\hat{x}_t^*$  по модели Тейла–Вейджа позволяет использовать для расчета ту из них, которая лучше отражает динамику исследуемого процесса, т.е. получить адекватный прогноз изменения параметров качества для конкретного класса обслуживания.

**Пятый этап методики** заключается в сопоставлении прогнозных оценок качества обслуживания для принятых классов с требуемыми. В качестве пороговых значений показателей качества могут применяться требования, содержащиеся в Рекомендации МСЭ-Т Y.1541. В случае несоответствия прогнозных и пороговых значений для какого-то класса администратором сетевого оборудования могут быть скорректированы политики QoS.

В политиках QoS для каждого класса обслуживания назначаются механизм обработки очереди (LLQ, CBWFQ или Fair-queue) и процентное

соотношение приоритета или полосы пропускания к общей ширине канала. В маршрутизаторах Cisco суммарное значение ресурса, задействуемое различными классами обслуживания, не должно превышать 75 % от максимально возможного, при этом улучшение показателей качества для класса обслуживания, не удовлетворяющего требованиям к соответствующим показателям, может быть достигнуто за счет увеличения приоритета или полосы пропускания при одновременном уменьшении аналогичных значений для классов, полностью удовлетворяющих данным требованиям.

### Вывод

Проведенный анализ условий функционирования коммуникационного оборудования в МСС позволил установить необходимость совмещения функций формирования криптотуннелей и

обеспечения качества обслуживания. При этом возможна ситуация невыполнения требований по качеству для отдельных классов обслуживания и значительного превышения необходимого уровня для других классов. Математический аппарат временных рядов дает возможность получать прогнозные значения задержки, вариации задержки (джиттера) и вероятности потери пакетов с заданным периодом упреждения. Прогнозирование целесообразно осуществлять при помощи адаптивной комбинированной модели, позволяющей учесть нестационарность и тенденции изменения параметров качества во времени. На основе рассчитанных прогнозных значений могут быть скорректированы политики QoS некоторых классов обслуживания, при этом полезный эффект будет достигнут за счет перераспределения ресурсов коммуникационного оборудования.

*Рецензент: Борисенко Николай Павлович, кандидат технических наук, доцент, сотрудник Академии ФСО России, г. Орел, nrbor@yandex.ru*

### Литература:

1. Деарт В.Ю., Кожухов И.С. Исследование параметров качества обслуживания (QOS), определяющих качество восприятия пользователем (QOE) потокового видео при передаче через интернет // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2013. Т. 7. № 7. С. 28-31.
2. Лим Л.К., Хомоненко А.Д. Поддержка управления качеством обслуживания клиентов ОАО РЖД на основе нечеткого вывода // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2013. № 3 (36). С. 43-48.
3. Симонина О.А. Качество восприятия и качество обслуживания в мультисервисных сетях. В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании II Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. 2013. С. 218-220.
4. Ушанев К.В., Макаренко С.И. Преобразование структуры трафика с учетом требований по качеству его обслуживания // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. № 2 (18). С. 74-84.
5. Кожанов Ю.Ф. Качество обслуживания в сетях связи. Монография. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, 2014. – 159 с.
6. Савицкий О. К., Сорокина Е. А. Обоснование метода для расчета показателей качества обслуживания мультисервисной сети // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Т. 3. № 3. С. 64-69.
7. Зайченко Ю.П., Гасанов А.С. Сравнительный анализ методов прогнозирования макроэкономических показателей Украины // Системні дослідження та інформаційні технології. 2013. № 1. С. 67-78.
8. Гетманчук А. В., Ермилов М. М. Модель обработки данных квазипериодических процессов // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2013. № 5. С. 120-123.
9. Бунтова О. С. Временные ряды и прогнозирование. В сборнике: Вклад молодых ученых в аграрную науку материалы Международной научно-практической конференции. 2015. С. 373-379.
10. Дикусар Н. Д. Полиномиальная аппроксимация высоких порядков // Математическое моделирование. 2015. Т. 27. № 9. С. 89-109.
11. Ярушкина Н. Г. Интеллектуальный анализ временных рядов : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. Ульяновский государственный технический университет. – Ульяновск, 2012. – 159 с.
12. Антонова А. А., Иващенко Н. Ю. Математические модели сложных систем с использованием временных рядов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2012. № 1 (2). С. 126-130.

# FORECASTING TECHNIQUE OF QUALITY OF SERVICE PARAMETERS IN THE MULTISERVICE NETWORKS USING CRYPTOGRAPHIC TUNNELS

*Belyaev D.L.<sup>3</sup>, Nguen M.H.<sup>4</sup>*

*This paper considers issue of quality of service management for the communication equipment at application of cryptographic tunnels. The forecasting technique of the traffic parameters defining quality of service based on mathematical apparatus of time series. Technique stages involves the analytical expressions, allowing to construct the adaptive combined model for obtaining of look-ahead estimations of a traffic parameters modification. The approach to improvement of service quality is rested upon the dynamic modification of policies QoS in the communication equipment.*

**Keywords:** *the network traffic, a service class, queue, a time series, anticipation phase, exponential smoothing.*

## References:

1. Deart V. Yu., Kozhukhov I. S. Issledovanie parametrov kachestva obsluzhivaniya (QoS), opredelyayushchikh kachestvo vospriyatiya pol'zovatelem (QOE) potokovogo video pri peredache cherez internet, T-Comm: Telekommunikatsii i transport. 2013. T. 7. No 7, pp. 28-31.
2. Lim L. K., Khomonenko A. D. Podderzhka upravleniya kachestvom obsluzhivaniya klientov OAO RZhd na osnove nechetkogo vyvoda, Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya. 2013. No 3 (36). pp. 43-48.
3. Simonina O. A. Kachestvo vospriyatiya i kachestvo obsluzhivaniya v mul'tiservisnykh setyakh. V sbornike: Aktual'nye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii II Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferentsiya. 2013, pp. 218-220.
4. Ushanev K. V., Makarenko S. I. Preobrazovanie struktury trafika s uchetoм trebovaniy po kachestvu ego obsluzhivaniya, Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy. 2015. No 2 (18), pp. 74-84.
5. Kozhanov Yu. F. Kachestvo obsluzhivaniya v setyakh svyazi. Monografiya. – Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet telekkommunikatsiy im. prof. M. A. Bonch-Bruevicha, 2014. – 159 P.
6. Savitskiy O. K., Sorokina E. A. Obosnovanie metoda dlya rascheta pokazateley kachestva obsluzhivaniya mul'tiservisnoy seti, Voprosy radioelektroniki. 2012. T. 3. No 3. pp. 64-69.
7. Zaychenko Yu. P., Gasanov A. S. Sravnitel'nyy analiz metodov prognozirovaniya makroekonomicheskikh pokazateley Ukrainy, Sistemni doslidszhennya ta informatsiyi tekhnologii. 2013. No 1. pp. 67-78.
8. Getmanchuk A. V., Ermilov M. M. Model' obrabotki dannykh kvaziperiodicheskikh protsessov, Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya kooperativnogo sektora ekonomiki. 2013. No 5, pp. 120-123.
9. Buntova O. S. Vremennye ryady i prognozirovanie. V sbornike: Vklad molodykh uchenykh v agrarnuyu nauku materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2015, pp. 373-379.
10. Dikusar N. D. Polinomial'naya approksimatsiya vysokikh poryadkov, Matematicheskoe modelirovanie. 2015. T. 27. No 9, pp. 89-109.
11. Yarushkina N. G. Intellekтуal'nyy analiz vremennykh ryadov : uchebnoe posobie dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy. Ul'yanovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet. – Ul'yanovsk, 2012. – 159 P.
12. Antonova A. A., Ivashchenko N. Yu. Matematicheskie modeli slozhnykh sistem s ispol'zovaniem vremennykh ryadov, Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve. 2012. No 1 (2), pp. 126-130.



<sup>3</sup> Dmitriy Belyaev, Ph.D., The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation, Orel, dbelyaew@mail.ru

<sup>4</sup> Man' Hop Nguen, The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation, Orel, hopnm90@gmail.com