

УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКАМИ ДАННЫХ В ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ С РАЗНОРОДНЫМ ТРАФИКОМ

© Козелкова К. С., Торошанко Я. И., Харлай Л. О., 2016

Розроблено модифікований метод адаптивного формування потоків даних і налаштування системи управління з прямим та зворотним зв'язком за результатами поточних вимірювань швидкості заповнення буфера формувача. Проаналізовано математичні моделі телекомунікаційної мережі нового покоління, зокрема моделей самоподібного трафіку. Подано рекомендації щодо вибору параметрів формувача і системи управління залежно від інтенсивності потоків даних і зростання інтенсивності, статистичним опис структури мережі.

Ключові слова: адаптивна система, швидкість заповнення буфера, формування і регулювання трафіку, маркерне відро, багатошвидкісний формувач.

K. Kozelkova¹, Ya. Toroshanko¹, L. Kharlai²

¹State University of Telecommunications,

²Kiev college of communication

DATA FLOWS CONTROL IN DIGITAL TELECOMMUNICATION NETWORKS WITH HETEROGENEOUS TRAFFIC

© Kozelkova K., Toroshanko Ya., Kharlai L., 2016

The modified method of the adaptive forming of data flows and method of tuning of the control system with a direct feedback through current measurements of speed of shaper buffer filling is presented. The mathematical models of telecommunication new generation network, including models of self-similar traffic, are analysed. Simple and effective procedure of forming of the traffic is offered. Simulation results showed that it is possible to limit frequency of the generator marker to such value, when all of input data will be got, and then passed without losses and repeated transmissions. Influence of relative frequency of the generator markers is short enough and diminishes quickly. The congestion drop is arrived after insignificant time, therefore vibrations of loading are comparative small. Variations of the norm time-out are enough smooth because of time average of the complete rotation on the the supervision interval. With the increase of change time of rotation as a result a time-out grows quickly. The recommendations regarding the choice of parameters of shapers and control system by them are developed (including necessary order and time parameters of control system, structure of shapers, measuring devices of parameters of packets etc.) depending on intensity of data flows, and intensity growth, statistical descriptions and network structure are given. Research of characteristic properties of process forming of stream is conducted, with taking in consideration the choice of parameters and structure of control system by the multi-rate shaper of traffic with non-linearly variations parameters of load windows.

Key words: adaptive system, buffer filling speed, traffic policing and shaping, token bucket, multi-rate forming).

I. Введение

Как показано в работах [1, 2], главная цель при разработке и внедрении сетей новых поколений – передача и обработка разнородного трафика (речь, данные, видео) с качеством, достигаемым в сетях с коммутацией каналов, в которых предоставляются услуги операторского класса (с коэффициентом готовности “пять девяток”). В этом смысле можно говорить о пресловутой “конвергенции сетей”, под которой подразумевается предоставление возможностей обмена информацией между самыми разными сетями [3, 4]:

- телефонными сетями общего пользования (ТФОП);
- интеллектуальными сетями (ИС);
- сетями мобильной связи;
- IP-сетями.

В соответствии с моделью инфокоммуникационной системы, предложенной Международным союзом электросвязи (МСЭ), характерной ее особенностью является разделение уровней терминального оборудования клиента, сетей доступа и транспортных сетей, средств сигнализации и управления, средств создания услуг.

Сети новых поколений характеризуются такими принципиальными особенностями:

- многослойная инфраструктура с количеством независимых слоев от 4 до 6 (по оценкам разных специалистов), причем каждый из них может создаваться независимо от остальных по аналогии с эталонной моделью открытых систем;
- наличие открытых интерфейсов и стандартных протоколов обмена между аппаратурой доступа, коммутации, управления и сигнализации;
- поддержка старых и создание новых услуг с универсальным доступом из любой подсети того или иного вида – конвергенция услуг связи;
- независимость технологий создания аппаратуры и разработки программного обеспечения (ПО) от технологий передачи и обработки данных;
- решение проблем сигнализации и управления на качественно новом уровне;
- поддержка технологии коммутации пакетов с сохранением в течение некоторого, возможно, достаточно длительного периода, технологии коммутации каналов.

Целью работы являются обзор и сравнительный анализ принципов построения современных устройств формирования и регулирования трафика в сетях новых поколений. Произведена оценка характеристик, которые имеют принципиальное значение для использования в телекоммуникационных сетях с разнородным трафиком, и могут оказать решающее влияние на функционирование сетей в условиях как увеличения объемов трафика, так и изменения его качественных характеристик.

II. Концепция формирования трафика

с использованием адаптивного маркерного ведра

Для новых приложений необходима более широкая функциональность *QoS*, в частности, измерение пропускной способности. Для этого требуется конкретизация профиля пропускной способности с учетом пакетов, переданных на порт коммутатора с согласованной (в среднем) скоростью передачи, и пакетов со скоростью, равной или выше предельной. Пакеты, скорость которых не превышает согласованную скорость, пропускаются в сеть и доставляются в соответствии с соглашением об уровне обслуживания или спецификацией уровня обслуживания (*Service Level Specification – SLS*). Скорость этих пакетов соответствует профилю пропускной способности.

Пакеты, скорость которых выше согласованной, но ниже предельной скорости, не отвечают профилю пропускной способности. Они также проходят в сеть, но доставляются без гарантий сервиса. Пакеты, скорость которых превышает предельную, отбрасываются.

Обычно для измерения профиля пропускной способности применяют одну из двух совокупностей количественных и качественных (сравнительных) оценок: “два разряда – три цвета” или “один разряд – три цвета”. В обоих методах пакеты окрашиваются в зависимости от их соответствия соглашению об уровне обслуживания.

Поскольку интенсивность трафика может колебаться в широких пределах и возможны кратковременные всплески, при двухразрядной трехцветной градации измерения предусматривается

возможность всплеска интенсивности выше согласованной информационной нормы (C_{IR}) и предельной информационной нормы (E_{IR}) на определенную величину без маркировки пакетов желтым или красным цветом соответственно. Назовем такую промежуточную окраску условной.

Согласованный размер группы пакетов (C_{BS}) – это максимальное число байт, на которое допускается всплеск интенсивности потока пакетов выше C_{IR} . Пакеты все еще окрашиваются в зеленый цвет.

Предельный размер группы пакетов (E_{BS}) – это максимальное число байт, на которое допускается всплеск интенсивности потока пакетов выше E_{IR} . Пакеты все еще окрашиваются в желтый цвет. Когда размер группы пакетов превышает E_{IR} , пакеты окрашиваются в красный цвет.

Адаптацию к изменению длительности поступающих пакетов можно осуществлять так:

- изменяя длительность маркера при постоянной длительности защитного интервала;
- изменяя длительность защитного интервала при постоянной длительности маркера.

И в том, и в другом случае скорости E_{IR} и C_{IR} будут меняться до пределов, которые зависят от максимальной пропускной способности коммутационного узла.

Адаптироваться к изменению средней интенсивности пакетов целесообразно путем изменения скоростей E_{IR} и C_{IR} .

На рис. 1 изображен график процесса окраски пакетов в зависимости от результатов измерения.

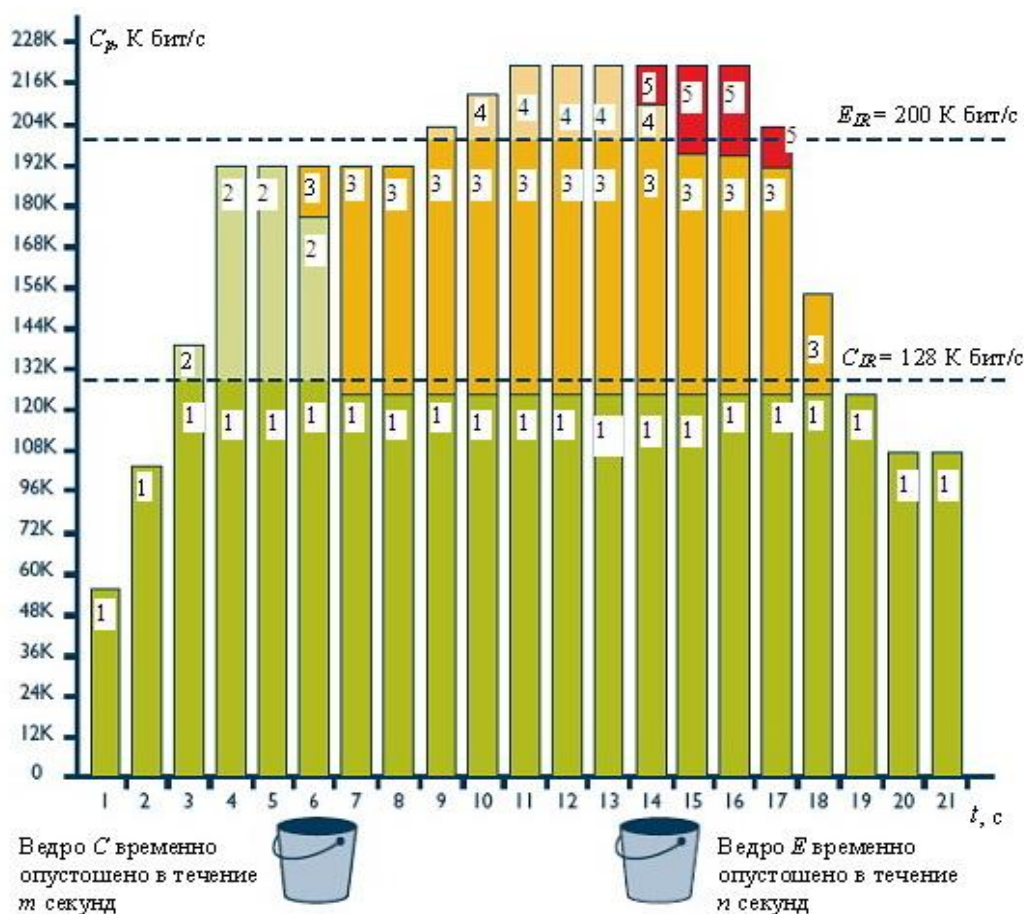


Рис. 1. График двухрядного измерения параметров потока с трехцветной окраской пакетов: C_p – пропускная способность сети; 1 – зеленые пакеты; 2 – пакеты с (условно) зеленой окраской, при кратковременном превышении C_{IR} не более чем на m секунд; 3 – желтые пакеты, интенсивность потока которых выше C_{IR} , но ниже E_{IR} ; 4 – пакеты с (условно) желтой окраской, при кратковременном превышении E_{IR} не более чем на n секунд, $n > m$; 5 – красные пакеты

Алгоритм измерения используется в модели маркерного ведра. В соответствии с алгоритмом определяют, какие пакеты имеют параметры, находящиеся в пределах допустимой пропускной способности, и для каких пакетов эти пределы превышены.

В рассматриваемой модели используются два ведра, одно с объемом, равным C_{BS} (ведро C), другое – с объемом, равным E_{BS} (ведро E). Маркеры поступают в ведра со скоростями, равными C_{IR} и E_{IR} соответственно. Одновременно каждый раз, когда отправляется очередной пакет или группа пакетов, группа маркеров, длительность которой численно равна длительности группы пакетов, уходит из ведер. Пока ведро C не опустошено, пакеты окрашиваются в зеленый цвет. Когда ведро C опустошено, а ведро E еще заполнено, хотя бы частично, пакеты окрашиваются в желтый цвет. В периоды, когда оба ведра опустошаются, пакеты окрашиваются в красный цвет.

Рассмотрим формирователь потока с переменными скоростями C_{IR} и E_{IR} (рис. 2). Они зависят как от скорости, так и от ускорения интенсивности потоков и, соответственно, изменений скорости заполнения буферов.

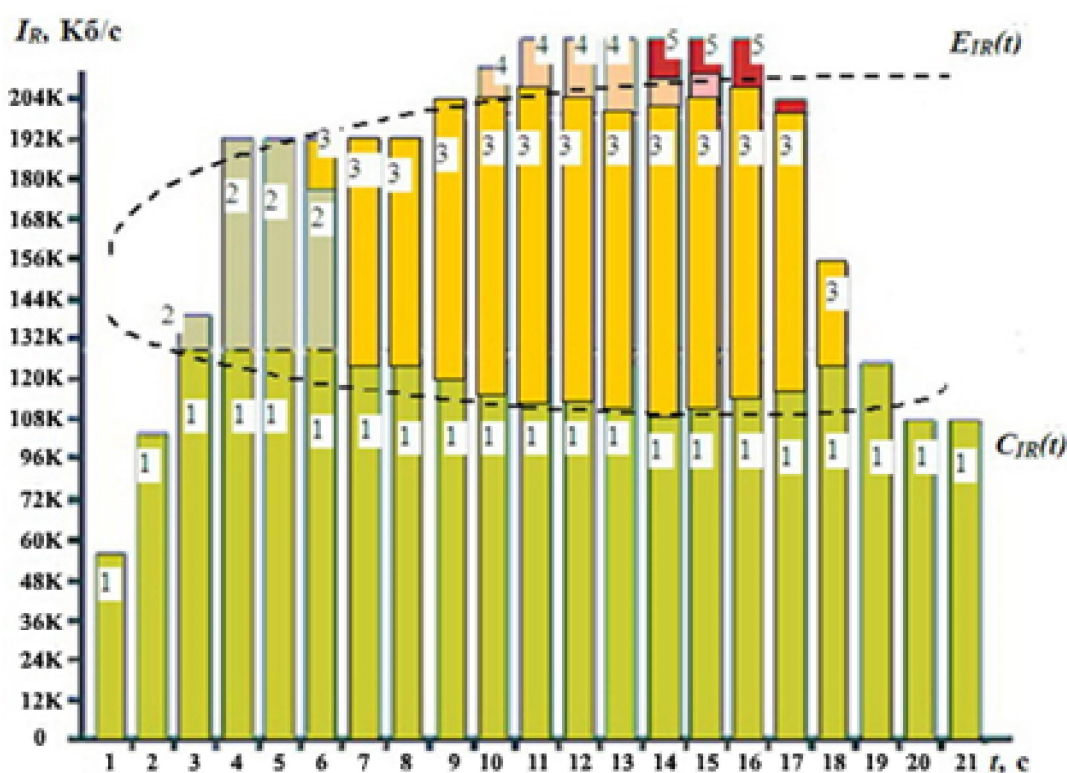


Рис. 2. Измерение нагрузки и управление спецификацией пакетов с нелинейно изменяемым размером окна "желтого диапазона"

Скорости E_{IR} и C_{IR} будут изменяться в пределах, зависящих от максимальной пропускной способности коммутатора. Поэтому целесообразно адаптироваться к средней интенсивности пакетов путем изменения скоростей E_{IR} и C_{IR} и управления размером "диапазона желтого".

Интегратор M -го порядка с переменными весовыми коэффициентами $k_1 = k_1(t)$, $k_2 = k_2(t)$, $k_m = k_m(t)$ в принципе может оценивать скорость, ускорение и высшие степени заполнения буфера. Управляющими сигналами $y_{db}(t - \tau)$, $y_b(t - \tau)$, $y_{tg}(t - \tau)$ регулируются суммарный размер данных и маркеров в буферах, а также частота поступления маркеров. Параметры этих сигналов определяются параметрами трафика, в первую очередь, степенью его самоподобия [5, 6].

На практике не имеет смысла рассчитывать производные более высокого порядка, чем второй (скорость и ускорение), поскольку точность статистического оценивания быстро ухудшается [7].

На рис. 3 изображена схема адаптивного формирователя M -го порядка. В соответствии с приведенными выше соображениями следует выбирать $M \leq 2$.

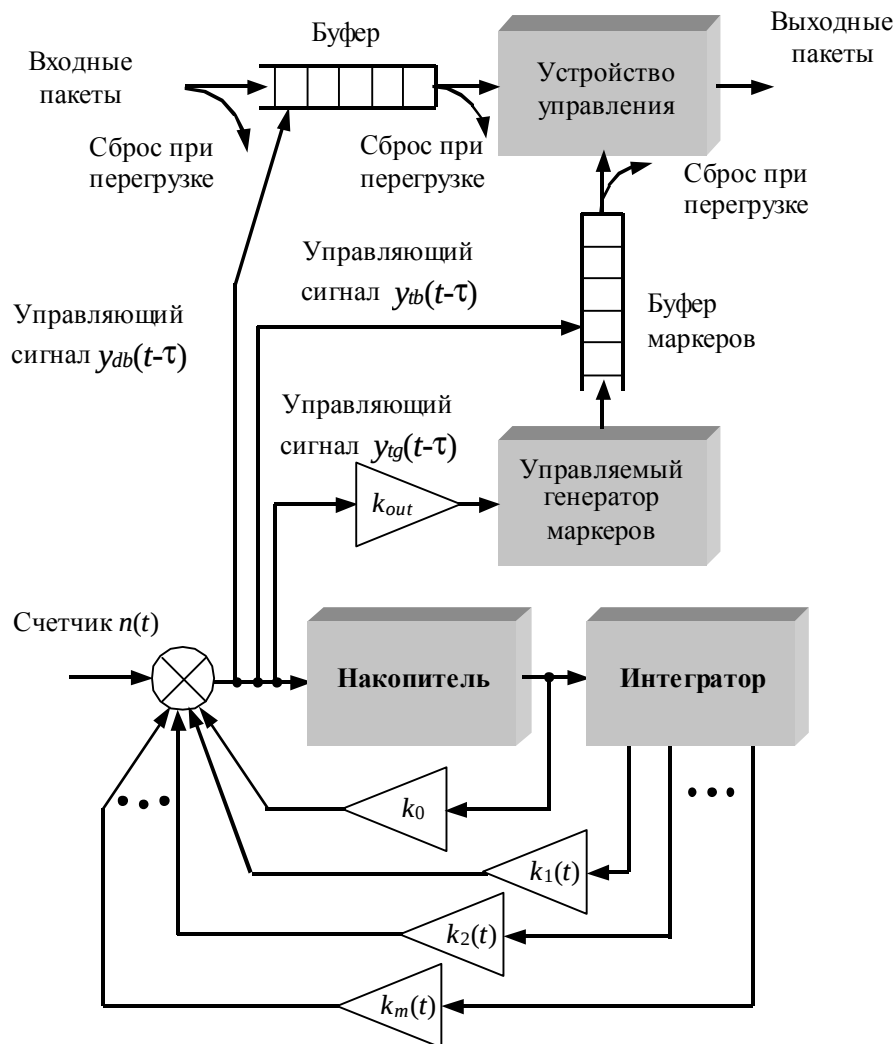


Рис. 3. Схема многомерного формирователя трафика с адаптацией к производным заполненного объема буфера

III. Функционал эффективности передачи

Текущая задержка передачи является одним из наиболее важных параметров качества обслуживания. Проблема оптимизации задержки передачи в целом и потерь пакетов при всплесках интенсивности самоподобного трафика является весьма актуальной. Рассмотрим компоненты задержки передачи.

Текущая задержка пакета измеряется как разность между моментами отправки t_s и получения квитанции t_{ack} : $t_{dc} = t_{ack} - t_s$. Введем обозначения:

– Δt_{pd} и σ_{pd} – время доставки и среднеквадратическое отклонение задержки пакетов соответственно;

– Δt_{ack} и σ_{ack} – время и среднеквадратическое отклонение времени ожидания квитанции соответственно.

Тогда $t_{dc} = \Delta t_{pd} + \Delta t_{ack}$.

В общем случае $\Delta t_{pd} \neq \Delta t_{ack}$, $\sigma_{pd}^2 \neq \sigma_{ack}^2$.

Пусть время ожидания текущей квитанции (тайм-аут) – t_{to} . Общая задержка доставки – это случайная величина со средним t_{dc} и дисперсией $\sigma_{total} = (\sigma_{pd}^2 + \sigma_{ack}^2)^{1/2}$. Для учета влияния дисперсии времени полного оборота используем коэффициент вариации $k_{tt} = \sigma_{total} / t_{dc}$.

Кроме того, используем нормализованный коэффициент потерь

$$k_l = \frac{N_{total} - N_{rec}}{N_{total}} = 1 - \frac{N_{total} - N_{rec}}{N_{total}},$$

где N_{total} – общее число переданных пакетов, N_{rec} – число успешно принятых пакетов.

Определим структуру функционала для оптимального выбора величины тайм-аута.

Для решения задач текущего управления сетями требуется системный подход. Критерии оптимизации ключевых параметров функционирования сети и текущего управления сетью неоднозначны и противоречивы. Учет этих противоречий и поиск компромиссных решений возможны при использовании статистических методов, оценки достоверности и анализа данных с точки зрения физического смысла решаемых задач.

Процессы изменения ключевых параметров, с одной стороны, существенно нестационарны, а с другой, тенденции их изменения очень похожи. Поэтому необходимо описание их стохастической взаимосвязи. Эта задача имеет не только теоретическое, но и практическое значение. В качестве основного метода описания стохастической взаимосвязи используется коэффициент множественной корреляции и множественной пошаговой регрессии [7].

Оптимальная величина тайм-аута – это функционал параметров t_{dc} , t_{ack} , k_{tt} и k_l , которые могут быть представлены как компоненты вектора $\mathbf{V}_{to} = \|\Delta t_{pd} \Delta t_{ack} k_{tt} k_l\|^T$ (T – символ транспонирования):

$$t_{to} = \Psi \left(\|\Delta t_{pd} \Delta t_{ack} k_{tt} k_l\|^T \right) \rightarrow_{\mathbf{V}_{to}} \min, t_{to} \geq t_{dc}. \quad (1)$$

Строго говоря, мы сталкиваемся с проблемой векторной оптимизации. Однако ясно, что t_{dc} , t_{ack} , k_{tt} и k_l – взаимно независимые случайные величины. Поэтому можно заменить векторную оптимизацию взвешенной скалярной суммой

$$v = a_1 \Delta t_{pd} + a_2 \Delta t_{ack} + a_3 k_{tt} + a_4 k_l,$$

где a_i , $i = \overline{1, 4}$ – весовые коэффициенты, выбираемые из практических соображений [8]:

$$t_{to} = \Psi \left(a_1 \Delta t_{pd} + a_2 \Delta t_{ack} + a_3 k_{tt} + a_4 k_l \right) \rightarrow_v \min, t_{to} \geq t_{dc}. \quad (2)$$

На рис. 4 изображены графики изменений нормализованного тайм-аута t_{norm} в зависимости от времени полного оборота для разных величин k_{tt} .

Анализируя результаты оптимизации, приходим к выводу, что проблема текущей оптимизации в реальном времени ключевых параметров в независимом сегменте сети или в сети в целом на самом деле является проблемой адаптации [9] или, в широком смысле, проблемой управления сетью.

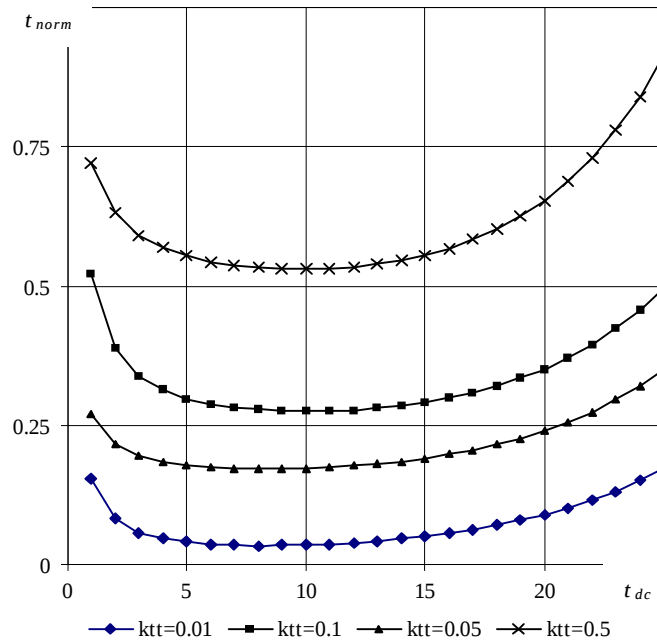


Рис. 4. Вариации нормализованного тайм-аута

IV. Заключение

Предлагаемая процедура формирования трафика является довольно простой и эффективной. Результаты моделирования показывают, что можно ограничить частоту маркера генератора до такого значения, когда будут получены все входные данные, а затем переданы без потерь и повторных передач. Воздействие относительной частоты генератора маркеров является достаточно коротким и быстро уменьшается. Устранение перегрузки достигается за малое время, поэтому колебания нагрузки являются сравнительными малыми, хотя и перегрузки, и потери управляемости трафика могут иметь место, если длительность и интенсивность всплесков превышает запас динамической устойчивости формирователя. Например, если основной и дополнительный буферы заполняются в течение времени, большего, чем допустимое время ожидания, этот маршрут или сетевой сегмент в целом становится недоступным. Такие ситуации необходимо обрабатывать с утилитами транспортного или более высоких слоев.

Вариации нормированного тайм-аута являются довольно гладкими из-за усреднения времени полного оборота на интервале наблюдения. С увеличением изменения времени оборота в результате тайм-аут быстро растет. Таким образом, постоянный контроль параметров и состояния сети для предотвращения задержки доставки и джиттера пакетов является актуальной проблемой.

1. Виноградов Н. А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений // *Зв'язок*. 2004. № 4. С. 10–17.
2. Виноградов Н. А., Дрововозов В. И., Лесная Н. Н., Зембицкая А. С. Анализ нагрузки на сети передачи данных в системах критичного применения // *Зв'язок*. 2006. № 1. С. 9–12.
3. Kharlay Lyudmyla, Skrypnychenko Andriy, Shu Chang, Toroshanko Yaroslav. Adaptive control of traffic flows and congestions in computer corporate networks // *East European Scientific Journal*. 2016. № 9. P. 67–72.
4. Stallings W. *Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. 538 p.
5. Chang Shu, Nick A. Vinogradov. The Method of Adaptive Shaping of the Traffic Flows of Calculating Networks // *Proceedings the Fourth Congress "Aviation in the XXI Century" (Safety in Aviation and Space Technologies)*. V.1. Kiev. National Aviation University. 2010. Sept. 21–23. P. 18.13–18.16.
6. Skrypnychenko Andriy. Control of Quality of Service in High-Speed Computer Networks // *Proc. of Int'l Conf. "Computer Science & Information Technologies" (CSIT'2013)*, 14–16 Oct. 2013. Lviv. Ukraine. 2.
7. Afifi A. A., Azen S. P. *Statistical Analysis: A computer Oriented Approach*, 2nd ed. Academic Press,

New York, San Francisco, London. 1979. 442 p. 8. Tanenbaum A. S., Wetherall D. J. *Computer Networks*. 5th ed. Prentice Hall, Cloth, 2011. 960 p. 9. Widrow B., Stearns P. N. *Adaptive Signal Processing*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J. 1985. 528 p.

Reference

1. Vinogradov N. A. Analysis of potential descriptions of commutation and control devices of the new generations networks // *Zvyazok*. – 2004. – № 4. – P. 10–17. 2. Vinogradov N. A., Dromovozov V. I., Lesnaya N. N., Zembitskaya A. S. Analysis of loading on the network of telecommunications in the systems of critical application // *Zvyazok*. – 2006. – № 1 (61). – P. 9–12. 3. Lyudmyla Kharlay, Andriy Skrypnychenko, Chang Shu, Yaroslav Toroshanko. Adaptive control of traffic flows and congestions in computer corporate networks // *East European Scientific Journal*. – 2016. – № 9. – P. 67–72. 4. Stallings W. *Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. – Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. – 538 p. 5. Chang Shu, Nick A. Vinogradov. The Method of Adaptive Shaping of the Traffic Flows of Calculating Networks // *Proceedings the Fourth Congress “Aviation in the XXI Century”, (Safety in Aviation and Space Technologies)*, V.1, Kiev, National Aviation University, 2010, Sept. 21–23. – P. 18.13–18.16. 6. Andriy Skrypnychenko. Control of Quality of Service in High-Speed Computer Networks // *Proc. of Int’l Conf. “Computer Science & Information Technologies” (CSIT’2013)*, 14–16 Oct. 2013, Lviv, Ukraine. – 2 P. 7. Afifi A.A., Azen S.P. *Statistical Analysis: A computer Oriented Approach*, 2nd ed. – Academic Press, New York, San Francisco, London, 1979. – 442 p. 8. Tanenbaum A. S., Wetherall D. J. *Computer Networks*, 5th Ed./ Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 pp. 9. Widrow B., Stearns P. N. *Adaptive Signal Processing*. – Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1985. – 528 p.