

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ сетей доступа и оценка создаваемого трафика

В.Зайцев, аспирант СПбГУТ / zaitsev_v@protei.ru,
Н.Соколов, д.т.н., директор по науке ООО "ПРОТЕЙ СТ"

УДК 621.391, DOI: 10.22184/2070-8963.2020.89.4.64.68

Обсуждаются тенденция продолжающегося роста пропускной способности в процессе модернизации сетей доступа и задача оценки трафика, создаваемого пользователями. Соотношение между величиной создаваемого трафика и необходимой пропускной способностью элементов телекоммуникационной системы, которая обеспечивает заданные показатели качества предоставления услуг, было хорошо изучено в эпоху доминирования телеграфии и телефонии. По мере включения данных и видео в состав нагрузки телекоммуникационных сетей, поддерживающих диалоговые услуги, возник ряд новых задач, которые потребовали пересмотра ряда положений теории телеграфика. В статье анализируются тенденции эволюции сетей доступа с точки зрения роста ее пропускной способности и приводятся результаты исследований, направленных на оценку параметров пакетного трафика.

ВВЕДЕНИЕ

На страницах журнала "ПЕРВАЯ МИЛЯ" авторы уже опубликовали несколько статей [1-4], напрямую связанных с тематикой данной работы. Задачи разработки эффективных сценариев дальнейшего развития сетей доступа остаются актуальными. Более того, ряд процессов, типичным примером которых служит рост пропускной способности сетей доступа, не вступили, против ожидания значительной части научного сообщества, в фазу насыщения, а получили новый импульс развития. Анализ тенденции дальнейшего роста пропускной способности сетей доступа представлен в первом разделе статьи.

Максимальная скорость обмена данными в сети доступа, как правило, бывает востребована в сравнительно короткие периоды времени. Для рационального построения тех фрагментов телекоммуникационной системы, которые по уровням иерархии находятся выше сети доступа, необходимо исследовать характер

обслуживаемого мультисервисного трафика, востребованного пользователями. Результаты исследования некоторых характеристик этого трафика, представляющего собой поток пакетов, приведены во втором разделе статьи.

Третий раздел данной статьи содержит ряд положений, которые уместно рассматривать как направления для дальнейших исследований. Они связаны как с системно-сетевыми вопросами, так и с новыми задачами, решаемыми методами теории телетрафика.

РОСТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ ДОСТУПА

В эпоху использования сетей доступа для телеграфной и телефонной связи вполне приемлемыми номиналами пропускной способности были канал тональной частоты (ТЧ) в спектре 0,3-3,4 кГц, а позже – основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью обмена информацией 64 кбит/с. Затем сформировался спрос на передачу данных. Для их передачи

по каналу ТЧ были разработаны модемы со скоростями 600, 1200, 2400, 4800, 9600 бит/с и выше. Переход к ОЦК позволил задействовать номиналы скоростей вплоть до 64 кбит/с, затем стали использовать пропускную способность нескольких ОЦК.

В начале 80-х годов прошлого века многие специалисты считали, что спрос на диалоговые услуги (в их состав не входила передача видеoinформации) будет полностью удовлетворен за счет использования ресурса, который предоставлялся цифровой сетью интегрального обслуживания. Она более известна по англоязычному сокращению ISDN – Integrated Services Digital Network [5]. Основной доле пользователей концепция ISDN предлагала доступ, который включал два ОЦК и один служебный канал с пропускной способностью 16 кбит/с.

Убежденность в достаточности такого ресурса на уровне сети доступа имела под собой вполне разумные обоснования. В частности, на одной из дискуссий, организованной в рамках авторитетной научной конференции, прозвучала такая оценка: даже на скорости 32 кбит/с за сутки можно передать (правда, без иллюстраций) содержание Малой советской энциклопедии, которая содержит колоссальный объем знаний. В те годы казалось, что включение видеoinформации в состав диалоговых услуг, что, кстати, позволило бы объединить сети, различные по функциональным возможностям, потребует не столь существенно повысить пропускную способность сети доступа.

Опуская дальнейший исторический экскурс и анализ допущенных просчетов, перейдем к ситуации, которая сложилась к 20-м годам 21 века. Каждый рабочий день на сайте <https://www.commsupdate.com> публикуется информация о проектах развития сетей доступа в разных странах. В текущем году о планах предоставления пользователям доступа на скорости 1 Гбит/с и выше (вплоть до 10 Гбит/с) сообщили операторы связи Италии, Великобритании, Новой Зеландии, Австрии, Сербии, Нидерландов, Канады и ряда других стран.

В [2] были приведены соображения, касающиеся причин такого роста пропускной способности сети доступа, а также предложена соответствующая модель для прогнозирования этого процесса, которая основана на трактовке концепции "Окна Овертона" [6] с технической точки зрения. На рис.1 на отрезке времени t продолжительностью в двадцать лет показана экспоненциальная тенденция роста скорости обмена данными

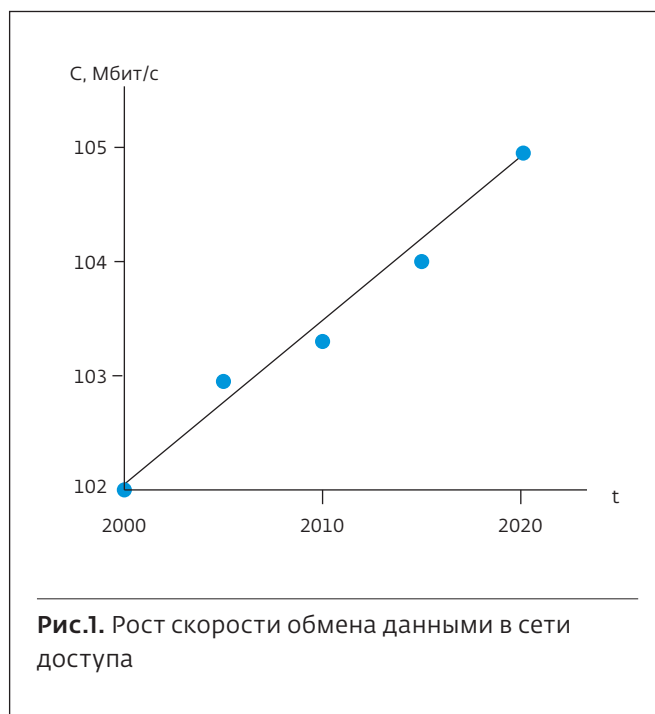


Рис.1. Рост скорости обмена данными в сети доступа

в сети доступа C , опубликованная в статье [7]. Характер этой зависимости соответствует вертикали Снукса – Панова [8].

Очевидно, что данные, публикуемые на сайте <https://www.commsupdate.com>, подтверждают оценку C на 2020 год.

Далее возникает резонный вопрос: означает ли такой рост скорости обмена данными в сети, что аналогичными темпами должна повышаться производительность узла коммутации (УК), который расположен на нижнем уровне иерархии телекоммуникационной системы? Для ответа на этот вопрос необходим анализ трафика, обслуживаемого сетями доступа. Некоторые результаты такого анализа приведены в следующем разделе статьи.

Анализ трафика, обслуживаемого сетями доступа

Скорость обмена данными в сети доступа колеблется в широких пределах. По этой причине для каждого i -го направления, включенного в УК, уместно оперировать функцией $C_i(t)$. Эта функция при заданных показателях качества обслуживания мультисервисного трафика позволяет оценить пропускную способность i -го направления в УК, обозначаемую далее как C_i , за счет использования методов теории телетрафика [9, 10].

На первый взгляд, суммарная пропускная способность УК, равная H , может оцениваться суммой

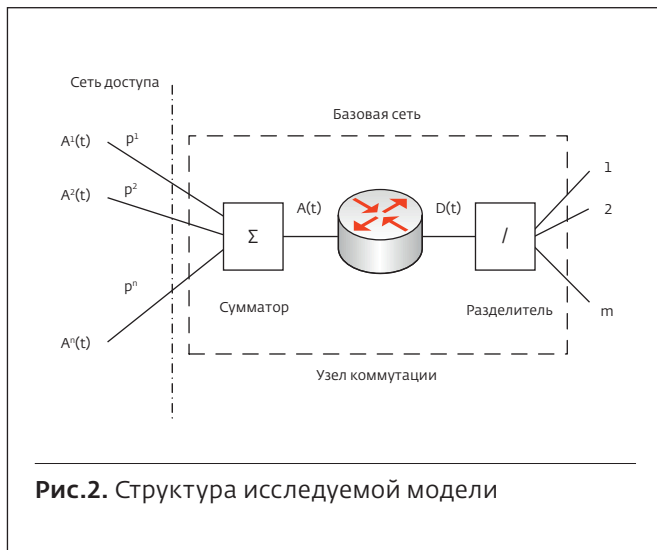


Рис.2. Структура исследуемой модели

всех значений G_i . Такое решение приводит к заметному росту инвестиций, необходимых для построения сети доступа. Однако периоды времени, в течение которых наблюдаются пиковые значения $C_i(t)$, как правило, не совпадают [9, 10]. Данный факт позволяет выбирать решения, для которых справедливо следующее неравенство:

$$N < \sum_{i=1}^n G_i.$$

Насколько значение N меньше правой части этого неравенства, можно определить по результатам анализа входящего трафика. Модель, позволяющая провести такой анализ, показана на рис.2. В современных телекоммуникационных сетях трафик можно рассматривать как последовательность IP-пакетов, которая в терминах теории телетрафика трактуется как поток заявок. На вход системы телетрафика, которая является математической моделью УК, поступает n потоков заявок. Зависимость $A_i(t)$ представляет собой функцию распределения длительности интервалов между моментами поступления заявок. Величина p_i определяет долю заявок, поступающих из i -го направления.

Если измерены или оценены иным способом значения интенсивности потока для каждого i -го направления $\lambda(i)$, то величины p_i рассчитываются из очевидного соотношения:

$$p_i = \frac{\lambda(i)}{\sum_{j=1}^n \lambda(j)}.$$

Функциональные блоки, названные сумматором и разделителем, в составе УК отсутствуют.

Они выделены искусственно – для пояснения процессов, происходящих в математической модели. Сумматор формирует поток $A(t)$, знание характеристик которого позволяет найти величину N . Разделитель осуществляет обратную операцию – распределяет обработанные заявки по m направлениям.

Разделитель работает с выходящим потоком, для которого задана зависимость $D(t)$. Она представляет собой функцию распределения длительности интервалов между моментами, в которые заявки покидают обслуживаемое устройство. Функции обслуживаемого устройства выполняет маршрутизатор. Он обрабатывает IP-пакеты (заявки) аппаратными средствами.

Рис.3а иллюстрирует процесс поступления IP-пакетов $r_1(t)$ от одного источника. Предполагается, что IP-пакеты приходят через постоянное время T . Ниже приведены варианты процесса $r_3(t)$, который описывает результаты суммирования трех потоков IP-пакетов. Каждый из суммируемых потоков представим процессом $r_1(t)$.

Варианты (б) и (в) на рис.3 соответствуют детерминированному входящему потоку заявок. Для такого потока коэффициент вариации длительности интервалов между моментами поступления заявок S_A равен нулю. Для вариантов (б) и (в) легко определить минимальное время обработки IP-пакетов t_{min} , при котором очередь во входящем буферном накопителе отсутствует: $t_{min} = T/3$.

Вариант (г) иллюстрирует ситуацию, более интересную с практической точки зрения. Минимальное время между входящими IP-пакетами составляет T/h . Очевидно, что выбор значения $t_{min} = T/h$ не будет эффективным решением по экономическим соображениям, так как приведет к выбору УК с избыточной производительностью. Для n направлений в составе сети доступа справедливо такое неравенство: $T/h \leq t_{min} \leq T n$. Учитывая, что величина h может оказаться весьма близкой к нулю, диапазон изменения значений t_{min} будет слишком широким и не позволит выбрать УК с оптимальной производительностью.

По этой причине важной задачей анализа трафика становится выбор вида распределения $A(t)$, а также его параметров. Во многих случаях достаточно знать интенсивность входящего потока λ и коэффициент вариации длительности интервалов между моментами поступления IP-пакетов S_A . Расчет величины λ не вызывает проблем: необходимо просуммировать все значения $\lambda(i)$. Оценка

же величины C_A представляет собой весьма сложную задачу.

В качестве зависимостей $A_i(t)$ теоретический и практический интерес представляет несколько видов функций распределения. Одной из весьма полезных зависимостей считается бета-распределение [4, 11, 12]. Для i -го потока заявок коэффициент вариации $C_A(i)$ может достигать весьма существенных значений. Для оценки величины C_A можно использовать следующую приближенную формулу [13]:

$$C_A^2 \approx \sqrt{1 + \sum_{i=1}^n p_i [C_A^2(i) - 1]}.$$

В табл.1 приведены результаты оценки величины C_A для трех суммируемых потоков при шести различных сочетаниях значений p_i и $C_A(i)$.

Вычисленные оценки C_A позволяют сделать ряд выводов. Во-первых, величина C_A всегда меньше, чем максимальное значение $C_A(i)$, что соответствует базовым положениям теории телетрафика [9, 10]. Во-вторых, при идентичных интенсивностях суммируемых потоков (три первых примера в таблице) величина C_A близка к среднеарифметическому значению всех слагаемых $C_A(i)$. В-третьих, при доминировании интенсивности потока, для которого характерно самое большое значение $C_A(i)$ (четвертый пример), величина C_A также будет максимальной.

Столь высокие значения величин C_A позволяют утверждать, что при случайном объединении потоков – вариант (г) на рис.3 – потребуется более производительный УК по сравнению с теми ситуациями, когда входящие потоки представимы детерминированными процессами разной природы. Правда, следует отметить, что

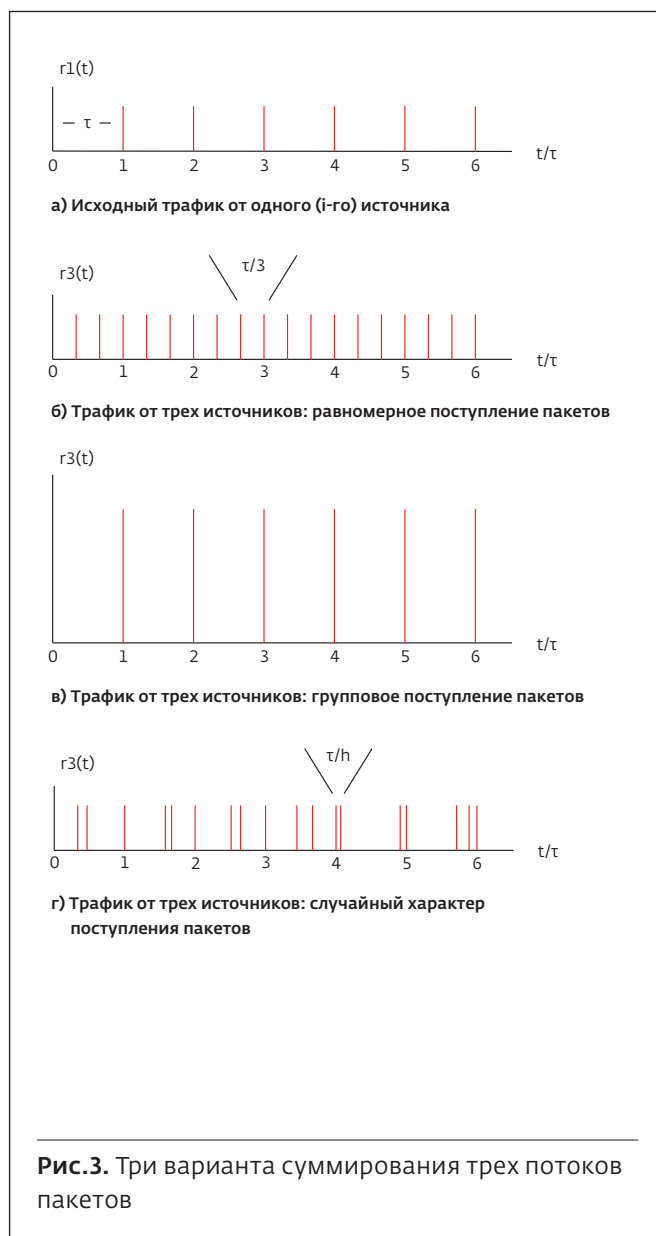


Рис.3. Три варианта суммирования трех потоков пакетов

Таблица 1. Результаты оценки коэффициента вариации C_A

№ п/п	p1	p2	p3	CA(1)	CA(2)	CA(3)	CA
1	0,33	0,33	0,34	2,00	3,00	4,00	3,12
2	0,33	0,33	0,34	2,00	4,00	6,00	4,34
3	0,33	0,33	0,34	2,00	6,00	10,00	6,87
4	0,10	0,30	0,60	2,00	6,00	10,00	8,44
5	0,30	0,60	0,10	2,00	6,00	10,00	5,73
6	0,60	0,10	0,30	2,00	6,00	10,00	6,00

приближения, предложенные в [13], не содержат оценки точности вычисления значения S_A . Это актуализирует задачу моделирования работы УК, чтобы, используя подходящий критерий согласия [14], выбрать адекватное распределение $A(t)$.

Направления дальнейших исследований

Соображения, изложенные в двух предыдущих разделах статьи, позволяют сформулировать актуальные направления дальнейших исследований. По мнению авторов, следует выделить три важные задачи.

Во-первых, необходимо разработать сценарии дальнейшей эволюции сетей доступа, которые будут касаться не только роста их пропускной способности. Очевидно, что такие сценарии могут быть составлены только после появления концепции дальнейшего развития телекоммуникационной системы в целом. Более того, необходимо учесть и тенденции модернизации других отраслей экономики, а также социальной сферы, которые формируют спрос на телекоммуникационные и информационные услуги. Таким образом, разработка полноценных сценариев дальнейшей эволюции сетей доступа будет базироваться на результатах междисциплинарных исследований [15].

Во-вторых, следует провести измерения трафика в различных сетях доступа с целью выявления типичных групп пользователей. В данном случае под типичной группой пользователей понимается та, для которой интенсивность потока пакетов $\lambda(i)$ и вид функции распределения $A_i(t)$ близки друг к другу. Результаты измерения трафика в различных сетях доступа позволят экономично создавать и модернизировать телекоммуникационную систему в целом, обеспечивая при этом соблюдение нормируемых показателей качества обслуживания мультисервисного трафика.

В-третьих, требуется разработать научно обоснованную методику оценки характера потока пакетов, образуемых за счет суммирования нагрузки из разных фрагментов сети доступа. Такая методика позволит корректно выбирать характеристики узлов коммутации, устанавливаемых на границе сети доступа. Кроме того, данная методика будет полезной для прогнозирования роста трафика, создаваемого при возникновении чрезвычайных ситуаций [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Н. Эволюция сетей доступа. Три аспекта // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2015. № 2. С. 56–61.
2. Соколов Н. Сценарии реализации концепции "Интернет вещей" // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2016. № 4. С. 50–54.
3. Пинчук А., Соколов Н. Пять направлений развития сетей доступа // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2017. № 5. С. 30–35.
4. Зайцев В., Соколов Н. Особенности мультисервисного трафика с учетом сообщений, создаваемых оконечными устройствами IoT // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2017. № 6. С. 28–31.
5. Kessler G.C., Southwick P.V. ISDN: Concepts, Facilities, and Services. – McGraw-Hill Osborne Media, 1998. 784 p.
6. Beck G. The Overton Window. – Mercury Radio Arts, 2010, 321 p.
7. Куликов Н., Пинчук А., Соколов Н. Особенности разработки инновационных решений на длительную перспективу // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2019. № 5. С. 48–53.
8. Панов А.Д. Сингулярность Дьяконова // Журнал Русской физической мысли. 2011. № 1–12. С. 68–78.
9. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. – М.: Горячая линия–Телеком, 2015. 867 с.
10. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи. – СПб: Техника связи, 2012. 432 с.
11. Levakov A.K., Sokolov A.N., Sokolov N.A. Using a Step Distribution Function to Describe the Incoming Packet Flow // Proceedings of XXII International Scientific Conference "Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications". Moscow, 2019. P. 469–476.
12. PP TR 37.868 V11.0.0 (2011-09) Technical Report 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on RAN Improvements for Machine-type Communications. (Release 11). – Sophia Antipolis, 2011. 28 p.
13. Allen O.A. Queueing models of computer systems // Computer. 1980. V. 13. № 4. P. 13–24.
14. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Мир, 1975. 648 с.
15. Моисеев Н.Н. Избранные труды. В 2-х т. Т. 2. Междисциплинарные исследования глобальных проблем. Публицистика и общественные проблемы. – М.: Тайдекс Ко, 2003. 264 с.
16. Леваков А.К. Сеть связи следующего поколения в чрезвычайных ситуациях. Анализ моделей телетрафика. – М.: ИРИАС, 2019. 124 с.