

АНАЛИЗ ТРАФИКА В СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА СТАНДАРТА IEEE 802.11

А.С. Викулов^{1*}, А.И. Парамонов¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,

Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: asv012016@gmail.com

Информация о статье

УДК 004.725.5

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Викулов А.С., Парамонов А.И. Анализ трафика в сети беспроводного доступа // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 3. С. 21–27.

Аннотация: Для решения задач проектирования и эксплуатации современных сетей беспроводного доступа необходимо опираться на достоверные исходные данные о доступных ресурсах сети, требованиях к качеству обслуживания, количестве и распределении пользователей, их особенностях и характеристиках и параметрах производимого ими трафика. Типовые рекомендации производителей оборудования по этой теме имеют довольно общие формулировки. В рамках настоящей работы был проведен продолжительный мониторинг действующей беспроводной сети доступа, собраны данные о параметрах трафика и приведены результаты статистического анализа собранных данных.

Ключевые слова: IEEE 802.11, характеристики трафика, Wi-Fi.

Введение

Современные сети передачи данных являются гетерогенными сетями, в которых сосуществуют различные технологии на различных уровнях иерархии. В частности в них используются и развиваются различные технологии беспроводного доступа. Эволюция технологий ведет как к росту возможностей сетей связи, так и требований к качеству со стороны пользователей. Проектирование и эксплуатация сетей связи сопряжены с необходимостью выбора технических решений, обеспечивающих приемлемый баланс между качеством обслуживания, объемом ресурсов сети и абонентским трафиком. При этом лишь объем ресурсов сети поддается сравнительно простой оценке. Требования к качеству обслуживания должны быть основаны на требованиях со стороны потребителя.

Что касается характеристик абонентского трафика, то это наиболее важная составляющая исходных данных в задаче проектирования и эксплуатации. Достаточно полное описание трафика в беспроводной локальной сети (БЛВС) дает возможность выбора или построения адекватной модели сети связи и решения с ее помощью задачи выбора требуемых ресурсов сети.

Сложность получения данных об абонентском трафике состоит в необходимости проведения наблюдений (в частности, мониторинга) в дей-

ствующей сети связи, причем результаты анализа этих наблюдений должны соответствовать тем условиям, в которых эти результаты предполагается использовать. Набор услуг, предоставляемых в современных сетях связи весьма широк, каждая из них имеет особенности в части производимого ею трафика.

Выделение трафика различных услуг в задачах мониторинга является достаточно сложным процессом и зачастую не оправдано при сборе описательного статистического материала. Поэтому имеет место задача определения некоторого, по возможности, минимального набора характеристик и параметров трафика, позволяющего достаточно точно описать трафик различных пользователей.

Укрупненно в первом приближении такими характеристиками являются время работы абонента в сети и общий объем переданных данных (за некоторый период времени). Эти характеристики позволяют судить об общей загруженности сети, среды распространения и дают возможность прогнозировать активность пользователей. Решению этой задачи должен способствовать сбор статистических данных с нагруженных трафиком БЛВС с целью анализа данных об установленных пользователями соединениях с сетью. Такому анализу и посвящена данная работа.

Потенциальные возможности технических средств БЛВС в части мониторинга и анализа параметров абонентского трафика достаточно высоки. Они позволяют производить непрерывный мониторинг основных параметров трафика. Однако гетерогенная структура современной сети вносит некоторые ограничения, связанные с особенностями абонентского трафика в различных условиях (при получении доступа через различные сети).

Например, мобильный терминал (смартфон или планшетный ПК) в одних условиях может производить трафик на сеть оператора связи 3G или 4G, а в других условиях на локальную сеть беспроводного широкополосного доступа (Wi-Fi), в том числе при использовании D2D связей между устройствами. При этом, как параметры трафика, так и качество его обслуживания в различных сетях могут быть различными.

В таком случае мониторинг трафика может быть произведен только средствами этих сетей. Зачастую такими сетями являются корпоративные или частные локальные сети. Доля трафика, обслуживаемая такими сетями, непрерывно возрастает как за счет роста их проникновения (офисы, учебные заведения, общественные места и т. д.) так и за счет роста количества смартфонов и проникновения различных услуг.

Основные тенденции развития сетей связи (концепции построения сетей 5G), также предполагают широкое использование технологий построения БЛВС [1]. Как правило, привлекательность применения БЛВС состоит в возможности построении сети высокой плотности (предоставлении услуг при компактном размещении пользователей). Технологии MAN несколько уступают при построении таких сетей из-за большей стоимости оборудования и использования лицензируемого диапазона частот [2].

С другой стороны исходные данные редко удается получить на этапе составления задания на проектирование. Поэтому приходится оперировать рекомендациями, например [3–7], дающими лишь ограниченный набор инструкций. Таким образом, задачи построения БЛВС и сведения об абонентском трафике, производимом в таких сетях, будут актуальны еще в достаточно продолжительное время.

Постановка задачи и обзор исследуемых БЛВС

Целью данного исследования является описание основных параметров абонентского трафика БЛВС, характерных для большинства пользователей. Это описание делается на основе статистического анализа данных мониторинга трафика БЛВС, полученных за достаточно продолжительный период наблюдений.

Выделим следующие параметры абонентского трафика:

- общее время работы клиента в БЛВС;
- общий объем данных, переданных/принятых за все время работы;
- средняя интенсивность клиентского трафика.

Для обработки данных об установленных соединениях был произведен сбор и анализ статистических данных в двух БЛВС. В первой БЛВС, построенной на базе решения Avaya Networking, были собраны статистические данные о пользовательских соединениях с БЛВС за два периода – длительностью в один месяц (с 19.09.2016 по 19.10.2016) и в шесть месяцев (с 14.08.2016 по 14.02.2017). Исследованная БЛВС развернута в небольшой частной гостинице Санкт-Петербурга.

Характеристики сети и основные параметры мониторинга приведены в таблице 1. БЛВС состоит из 30 точек доступа (ТД), с двумя радиомодулями каждая, проводной инфраструктуры и системы управления с функционалом мониторинга. Сбор статистической информации выполнялся программным комплексом Avaya Wireless Orchestration System (WOS) версии 8.1.

ТАБЛИЦА 1. Параметры сбора данных в БЛВС № 1

Параметр	Ед. изм.	Значение за период	
		1 месяц	6 месяцев
Число точек доступа в сети WLAN	шт.	30	
Совокупное время мониторинга	час	720	4320
Время недоступности ТД за период мониторинга	мин.	53	13770
	%	0,0037	0,17
Площадь покрытия сети WLAN	кв. м	14797	
Средняя площадь покрытия на ТД	кв. м	448	
Число зарегистрированных пользователей	шт.	2100	7951

Под временем недоступности понимается совокупное время простоя $T_{пр}$ для клиентов:

$$T_{пр} = \sum_{i=1}^N T_i, \quad (1)$$

где T_i – время для каждой ТД в течение периода мониторинга, когда она по каким-либо причинам отсутствовала в сети (например, перезагружалась из-за сбоя питания).

Низкие значения $T_{пр}$ свидетельствуют о хорошем аппаратном состоянии БЛВС. Непропорционально высокое значение $T_{пр}$ для полугодового интервала связано с длительным выводом из эксплуатации двух точек доступа на период порядка пяти дней в связи с проведением ремонта в помещении. Ввиду отсутствия пользователей сети в этих зонах покрытия, данный факт не является значимым для анализа.

Вторая исследованная БЛВС была развернута в производственных и офисных помещениях крупного завода в Московской области, в связи с чем ее функционирование имело ряд особенностей. В частности еще до проведения мониторинга логично было ожидать следующие особенности:

- меньшее число уникальных клиентских устройств;
- устоявшийся состав клиентских устройств, с небольшим его изменением в течение суток;
- меньший процент клиентов с поддержкой последних версий стандарта IEEE 802.11;
- в целом большее время работы одного клиента с заметной долей клиентов подключенных круглосуточно. Такими клиентами могут быть разнообразные устройства производственного назначения.

БЛВС № 2 построена на базе решения Cisco Systems. В этой БЛВС мониторинг производился в течение одного временного периода продолжительностью 28 дней (с 19.04.2017 по 17.05.2017). Характеристики сети и основные параметры мониторинга приведены в таблице 2. БЛВС состоит из 62 точек доступа, с двумя радиомодулями каждая, контроллеров БЛВС, проводной инфраструктуры и системы управления с функционалом мониторинга. Сбор статистических данных выполнялся программным комплексом Cisco Prime Infrastructure версии 3.1.

ТАБЛИЦА 2. Параметры сбора данных в БЛВС № 2

Параметр	Ед. изм.	Значение
Число точек доступа в сети WLAN	шт.	62
Совокупное время мониторинга	час	672
Время недоступности ТД за период мониторинга	мин.	748,7
	%	0,03
Площадь покрытия сети WLAN	кв. м	29760
Средняя площадь покрытия на ТД	кв. м	480
Число зарегистрированных пользователей	шт.	431

Обратим внимание на крайнее низкое время недоступности ТД в этой БЛВС. Отметим при этом, что абсолютно весь вклад в указанные 0,03 % составляют 4 ТД, которые были выключены одновременно примерно на 3 часа с целью замены коммутатора. Таким образом, данная БЛВС поддерживается на высоком уровне доступности, что отвечает требованиям, предъявляемым для сети производственного назначения.

Особо отметим факт различного назначения двух сетей, разного типового сценария работы пользователя, разного перечня сетевых сервисов и разной программно-аппаратной реализации инфраструктуры БЛВС. В данном контексте будем обращать особое внимание на общие тенденции в исследуемых параметрах работы БЛВС.

Также важно помнить, что, несмотря на идентичность инфраструктурной части обеих БЛВС в части поддержки IEEE 802.11n/ac, есть важное отличие между двумя БЛВС в части поддержки клиентскими устройствами последних версий стандарта IEEE 802.11. Дело в том, что в БЛВС № 1 пользовательские устройства в целом являются более современными, поскольку при большем числе клиентов и гостиничном сценарии использования доля пользователей с персональными устройствами последних моделей выше. В то время как в корпоративной производственной БЛВС № 2 устройства приобретаются и управляются централизованно и в целом несколько отстают от возможностей персональных устройств.

Подробная информация о возможностях клиентских устройств приведена в таблице 3. Распределение установленных соединений по частотным диапазонам приведено в таблице 4.

Из приведенных данных видно, что преобладающими в производственной БЛВС № 2, являются клиентские устройства с поддержкой только IEEE 802.11g. В то же время в гостиничной БЛВС № 1 преобладают устройства стандарта 802.11n с заметным участием устройств с поддержкой 802.11ac.

ТАБЛИЦА 3. Последняя поддерживаемая версия стандарта IEEE 802.11

Последняя поддерживаемая версия стандарта 802.11	БЛВС № 1	БЛВС № 2
	1 месяц	1 месяц
802.11a	–	0,01 %
802.11g	2 %	74,14 %
802.11n	72,6 %	25,83 %
802.11ac	25,4 %	0,02 %

ТАБЛИЦА 4. Активность устройств в частотных диапазонах

Диапазон	БЛВС № 1		БЛВС № 2
	1 месяц	6 месяцев	1 месяц
2,4 ГГц	70,4 %	69,0 %	76,8 %
5 ГГц	29,6 %	31,0 %	23,2 %

В обеих БЛВС радиопокрытие обеспечено с минимальным уровнем сигнала в обоих диапазонах (2,4 и 5 ГГц) равным –65 дБм. Условием хэндовера является доступность в каждой точке зоны покрытия двух ТД с уровнем приема не хуже –75 дБм. При этом максимальным уровнем излучения (ЭИИМ) для ТД является 50 мВт (17 дБм). В обеих сетях также было проведено радиообследование, подтвердившее соответствие этим требованиям. Однако рассмотрение его результатов находится за рамками данной работы. Ниже будут рассмотрены результаты анализа данных систем мониторинга этих двух сетей Wi-Fi за два временных отрезка с дальнейшим их анализом и сравнением.

Объем переданных данных

На рисунках 1 и 2 приведена активность за месяц клиентских устройств с точки зрения объема переданного трафика. Приведены графики соответственно для объемов нисходящего (DL) и восходящего (UL) потоков трафика с шагом в 2 ГБ. Для мониторинга за один месяц с целью наглядности рассматривались объемы переданного трафика менее 22 ГБ. Из анализа были исключены записи с нулевым объемом переданной информации. Таким образом, были проанализированы 83,8 % и 84,4 % от числа записей в нисходящем и восходящем потоках соответственно.

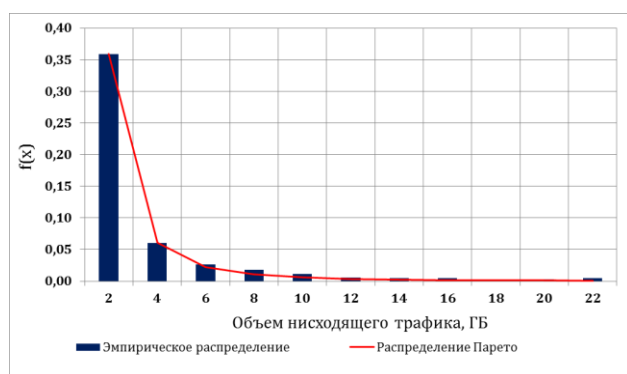


Рис. 1. Распределение общего объема переданных (DL) данных в БЛВС № 1 за месяц

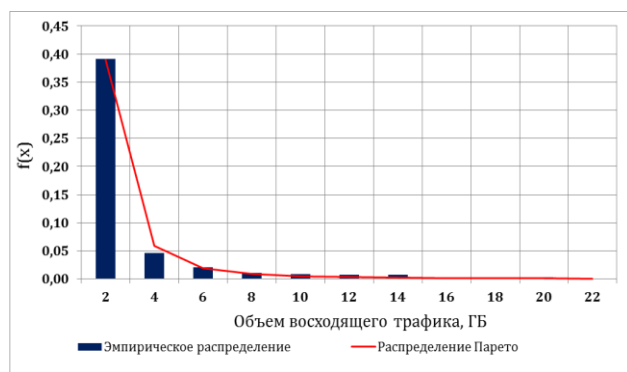


Рис. 2. Распределение общего объема переданных (UL) данных в БЛВС № 1 за месяц

На рисунках 3 и 4 приведена полугодовая активность клиентских устройств с точки зрения объема переданного трафика менее 22 ГБ с шагом в 2 ГБ (были проанализированы 70,9 % и 73,8 % от числа записей в нисходящем и восходящем потоках соответственно; записи с нулевым объемом переданной информации из анализа были исключены). На рисунках 5 и 6 приведена активность за месяц клиентских устройств с точки зрения объема переданного трафика менее 550 МБ с шагом в 50 МБ (были проанализированы 77,8 % и 90,2 % от числа записей в нисходящем и восходящем потоках соответственно; записи с нулевым объемом переданной информации из анализа были исключены).

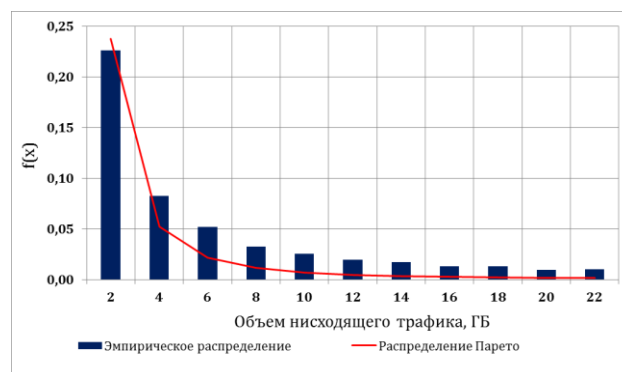


Рис. 3. Распределение общего объема переданных (DL) данных в БЛВС № 1 за полгода

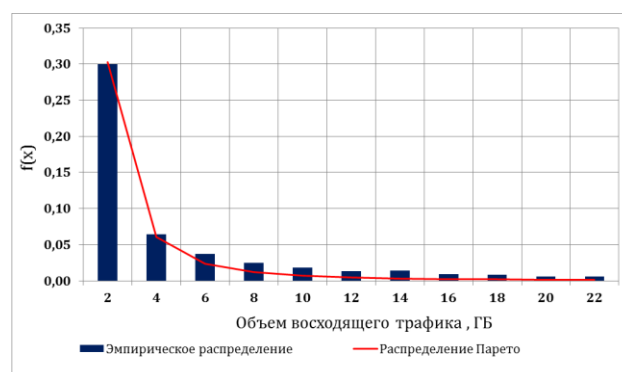


Рис. 4. Распределение общего объема переданных (UL) данных в БЛВС № 1 за полгода

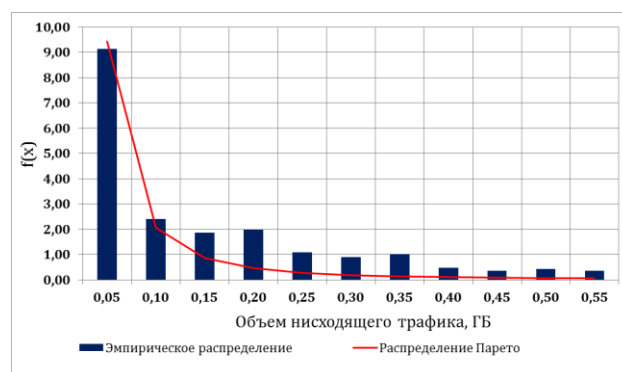


Рис. 5. Распределение общего объема переданных (DL) данных в БЛВС № 2 за месяц

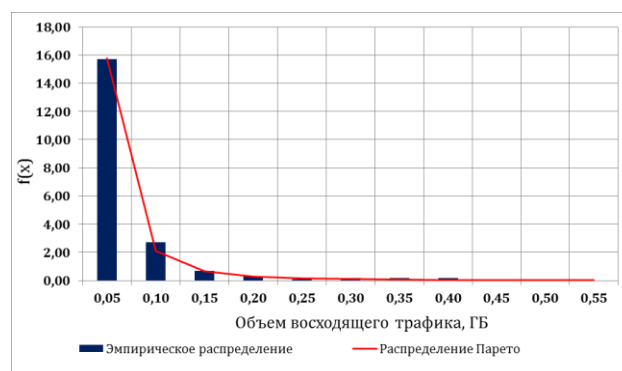


Рис. 6. Распределение общего объема переданных (UL) данных в БЛВС № 2 за месяц

Распределение объемов переданных в нисходящем и восходящем потоках данных за сессию аппроксимировано распределением Парето с плотностью вероятности:

$$f_1(x) = \begin{cases} \frac{k x_m^k}{x^{k+1}}, & x \geq x_m, \\ 0, & x < x_m \end{cases} \quad (2)$$

где k и x_m – параметры распределения, значения которых приведены в таблице 5. Там же приведены значения математического ожидания для эмпирического и теоретического распределений.

Близость характеристик распределений для данных за один месяц и за полгода для БЛВС № 1 говорит о стабильном профиле пользовательского трафика. Таким образом, с одной стороны, статистика за месяц в данных условиях является достаточной для описания данной характеристики трафика, а с другой – характеристики трафика являются стабильными на длительном промежутке времени.

ТАБЛИЦА 5. Значения параметров распределений

Параметр	БЛВС	Период	Эмп. среднее	Теор. среднее	Параметры распределения	
					k	x_m
DL, ГБ	№ 1	1 мес.	2,192	2,190	1,556	1,217
UL, ГБ			1,701	1,700	1,742	1,261
DL, ГБ		6 мес.	4,676	4,692	1,197	0,924
UL, ГБ			3,413	3,418	1,324	1,107
DL, ГБ	№ 2	1 мес.	0,120	0,120	1,191	0,023
UL, ГБ			0,036	0,035	1,905	0,032

Важно отметить, что нагрузка на БЛВС № 2 заметно отличается в меньшую сторону от БЛВС № 1, однако форма распределения остается неизменной. Т. е. несмотря на существенную разницу в назначении двух БЛВС, типе их абонентов, генерируемой нагрузке и наборе пользовательских сервисов, наблюдается общая закономерность в распределении общего объема передаваемых данных в расчете на пользовательское устройство.

Общее время работы клиента

С целью описать активность клиентских устройств, мы измерили долю времени, когда клиентское устройство было проассоциировано с БЛВС по отношению ко всему периоду наблюдения. Эмпирическое распределение для данных можно аппроксимировать следующим образом:

$$f(x) = \eta_1 f_1(x) + \eta_2 f_2(x), \quad (3)$$

$$f_{1,2}(x) = \begin{cases} \frac{\alpha^k}{\Gamma(k)} x^{k-1} e^{-\alpha x}, & x \geq 0, \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Выражение (3) представляет собой суперпозицию двух Гамма-распределений с плотностями

вероятности (4), где α и k – параметры распределения, значения которых приведены в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6. Значения параметров распределений для времени работы

БЛВС	Период	Эмп. среднее		Параметр распределения					
		%	час	α_1	k_1	η_1	α_2	k_2	η_2
№ 1	1 мес.	3,9	28,7	0,212	0,066	0,5	2,637	0,013	0,5
	6 мес.	0,9	39,9	1,001	0,006	1,0			
№ 2	1 мес.	7,2	48,7	0,396	0,034	1,0			

На рисунке 7 приведена гистограмма времени работы (общего времени всех установленных сессий каждым клиентом), полученная в БЛВС № 1 по данным за период в один месяц.

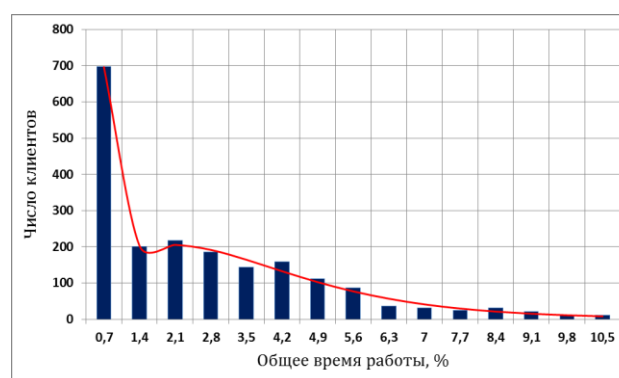


Рис. 7. Время работы клиентов БЛВС № 1 за месяц

На рисунке 8 приведена гистограмма времени работы (общего времени всех установленных сессий каждым клиентом), полученная в БЛВС № 1 по данным за полгода.

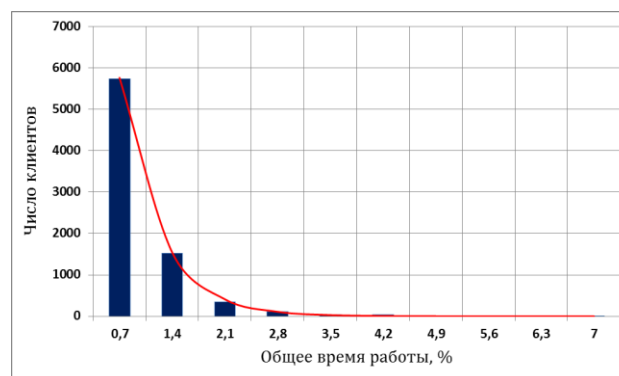


Рис. 8. Время работы клиентов БЛВС № 1 за полгода

Интересно отметить, что для БЛВС № 1 на временном промежутке в полгода эмпирические данные аппроксимируются одним распределением, что можно объяснить недостаточностью экспериментальных данных собранных за один месяц.

На рисунке 9 приведена гистограмма времени работы (общего времени всех установленных сессий каждым клиентом), полученная в БЛВС № 2 по данным за один месяц.

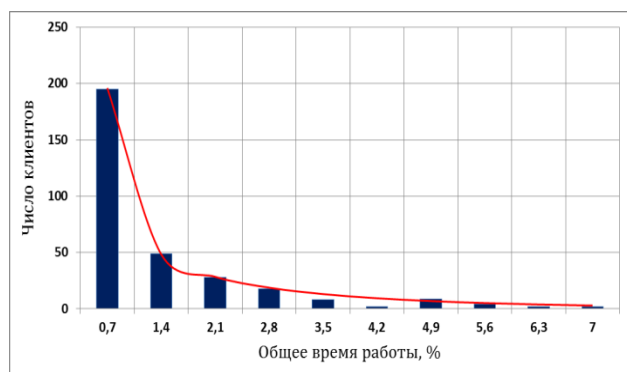


Рис. 9. Временная диаграмма работы клиентов БЛВС № 2 за месяц

Общее время работы клиента в БЛВС № 2 также может быть аппроксимировано Гамма-распределением, как показано в таблице 6.

Отметим, что, как и в случае с общим объемом переданных данных, несмотря на заметное различие в абсолютных значениях, форма распределения данного параметра (время работы клиентов) для обеих БЛВС одна и та же.

Средняя интенсивность клиентского трафика

На рисунках 10, 11 и 12 приведены интенсивности за один месяц и за полгода переданного трафика в обеих БЛВС. Ниже рассмотрим среднюю интенсивность трафика в обоих направлениях из расчета на каждое клиентское устройство.



Рис. 10. Средняя интенсивность трафика в БЛВС № 1 за месяц



Рис. 11. Средняя интенсивность трафика в БЛВС № 1 за полгода



Рис. 12. Средняя интенсивность трафика в БЛВС № 2 за месяц

Средняя интенсивность трафика рассчитана как:

$$\bar{\lambda} = \frac{A_{TX} + A_{RX}}{t} \text{ (байт/с)}, \quad (5)$$

где A_{TX} и A_{RX} – объем данных, переданных в каждом направлении (байт), t – время работы (с).

Из анализа были исключены записи с нулевым объемом переданных данных. В БЛВС № 1 с целью наглядности рассматривались интенсивности пользовательского трафика $< 0,5$ МБ/с. В БЛВС № 2 за такой порог было принято значение $0,1$ МБ/с.

Оба распределения могут быть аппроксимированы распределением Парето с плотностью вероятности (2). Значения математического ожидания для эмпирического и теоретического распределений, а также параметры распределений приведены в таблице 7.

ТАБЛИЦА 7. Значения параметров распределений для интенсивности трафика, КБ/с

БЛВС	Период	Эмп. сред.	Теор. сред.	Параметры распределения	
				k	x_m
№ 1	1 мес.	58,25	58,28	1,507	29,547
	6 мес.	102,59	102,46	1,245	25,102
№ 2	1 мес.	9,74	9,78	1,611	5,997

Полученные результаты показывают, что интенсивность клиентского трафика значительно ниже пропускной способности обеих БЛВС. Это означает, что распределение трафика в пределах одной клиентской сессии очень неравномерно.

Отметим, что средние значения интенсивности трафика для двух периодов наблюдения БЛВС № 1 различаются примерно в два раза. Это можно объяснить заметной долей пользователей, которые пользовались сервисами БЛВС в течение обоих периодов наблюдения, чем обусловили рост средней интенсивности трафика с ростом времени мониторинга. Также важно, что аналогично анализу общего объема переданных данных, несмотря на значительно меньшую нагрузку на БЛВС № 2, вид распределения средней интенсивности трафика остается таким же, что и для БЛВС № 1.

Выводы

1) Распределение продолжительности времени работы с достаточной для практических целей точностью может быть описано Гамма-распределением, при этом для достаточно загруженной БЛВС на меньшем временном интервале удобно пользоваться суммой двух Гамма-распределений.

2) Распределение общего объема переданных данных с достаточной для практических целей точностью может быть описано распределением Парето. При этом объемы трафика, переданные как в восходящем, так и в нисходящем канале, имеют близкие законы распределения.

3) Распределение интенсивности трафика с достаточной для практических целей точностью может быть описано распределением Парето.

4) Для каждого из рассмотренных параметров одной БЛВС распределения для двух периодов наблюдения имеют общий вид и весьма близко описываются одними и теми же законами.

5) Различие видов распределения для времени работы и для объемов данных говорит о разнородности клиентов по интенсивности трафика.

6) Несмотря на серьезное различие в назначении и пользовательской нагрузке, характеристики пользовательского трафика в двух рассмотренных БЛВС описываются законами распределения одного вида.

С целью дальнейшего уточнения и обобщения поднятых вопросов предполагается сделать анализ следующих данных:

- сбор статистики на более нагруженной БЛВС большего масштаба,
- анализ количества и размера переданных кадров с данными,
- анализ трафика в зависимости от радиочастотных условий,
- построение аналитической модели пользовательского трафика.

Список используемых источников

1. Asadi A., Mancuso V. Network-assisted Outband D2D-clustering in 5G Cellular Networks: Theory and Practice // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2017. Vol. 16. Iss. 8. PP. 2246–2259.
2. Andreev S., Pyattaev A., Johnsson K., Galinina O., Koucheryavy Y. Cellular Traffic Offloading onto Network Assisted Device-to-Device Connections // IEEE Communications Magazine. 2014. Vol. 52. No. 4. PP. 20–31.
3. Von Nagy A. Aerohive High-Density Wi-Fi Design & Configuration Guide v2. Aerohive Networks. 2013.
4. Lukaszewski C. Aruba VHD 802.11ac Networks VRD. Engineering and Configuration Guide. 2015.
5. Meru Networks Best Practices Guide for High-Density Design and Deployment. 2012.
6. Meraki High Density Wi-Fi Deployment Guide (Cisco Validated Design). AID 4567. 2016.
7. Lavrukhin V., Lezhepekov A., Vladko A. Experimental Testbed for Access Point Selection in IoT WiFi Networks // Proceedings of Educational Institutes of Communication. 2017. Vol. 3. Iss. 2. PP. 102–112.

* * *

IEEE 802.11 WLAN TRAFFIC ANALYSIS

A. Vikulov¹, A. Paramonov¹

¹The Bonch-Bruевич State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Article info

Article in Russian

For citation: Vikulov A., Paramonov A. IEEE 802.11 WLAN Traffic Analysis // Proceedings of Telecommunication Universities. 2017. Vol 3. Iss. 3. PP. 21–27.

Abstract: *In modern Wi-Fi networks, design and service challenges require accurate estimation of available network resources, quality of service requirements, user quantity and user traffic characteristics. This needs to understand the client device abilities as well as the characteristics of generated traffic. This is not trivial because vendors' recommendations are quite rough. Here is this work, a continuous monitoring of Wi-Fi access network has been carried out, traffic parameters have been gathered and the results of statistical analysis have been presented.*

Keywords: IEEE 802.11, traffic characteristics, Wi-Fi.