

УДК 004.4

## ПОСТАНОВКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ОРГАНИЗАЦИИ БЕСШОВНОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ПО ТЕХНОЛОГИИ WIFI С ФИЛЬТРАЦИЕЙ КОНТЕНТА

Ахметшин Д.А., Ку Дык Тоан, Нуриев Н.К., Печеный Е.А.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
Казань, e-mail: toancdit@gmail.com

Целью сетей беспроводного доступа является расширение доступа с любого устройства для достижения полностью прозрачного покрытия, которое обеспечит функционирование не только клиентского доступа, но и схем инфраструктуры. Беспроводные сети являются сложными объектами с разветвленной структурой, управление которыми, или согласно общепринятой терминологии, администрирование, невозможно без тщательного анализа с помощью математического моделирования. В научных работах рассматривались модели для беспроводного соединения, в качестве ограничения рассматривали такую величину, как скорость. По результатам моделирования был построен комплекс математических моделей, который позволял администратору сети из одного состояния переводить систему в другое состояние. Данный комплекс хорошо показал свою значимость, и при помощи математических моделей был реализован программный комплекс, который в результате способствовал бесперебойной работе беспроводной сети. По результатам эксперимента мы получили критический параметр – расстояния беспроводного адаптера от точки доступа, при котором пакеты будут стабильно передаваться в условиях открытого пространства. В следующих работах будет рассмотрено, как препятствия влияют на работу радиоканала. В динамике будет отслеживаться состояние беспроводной сети, и в результате будет построен комплекс математических моделей для организации построения и работы беспроводной сети.

**Ключевые слова:** математические модели, беспроводные сети, сигнал, радиоканал, программный комплекс

## STATEMENT OF THE MATHEMATICAL PROBLEM ORGANIZING A SEAMLESS WIRELESS NETWORK ON WIFI TECHNOLOGY WITH CONTENT FILTERING

Akhmetshin D.A., Cu Duc Toan, Nuriev N.K., Pecheny E.A.

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research  
Technological University», Kazan, e-mail: toancdit@gmail.com

The goal of wireless access networks is the expansion of access from any device to achieve a completely seamless coverage that will ensure the functioning of not only client access, but also of infrastructure schemes. Wireless networks are undoubtedly complex objects with extensive structural management which, according to generally accepted terminology, administration is impossible without a thorough analysis using mathematical modeling. In scientific papers, models for a wireless connection were considered, and a quantity, such as speed, was considered as a limitation. Based on the simulation results, a complex of mathematical models was built, which allowed the network administrator to transfer the system to another state from one state. This complex showed its importance well and using mathematical models, a software package was implemented, which as a result contributed to the smooth operation of the wireless network. According to the results of the experiment, we received a critical parameter – the distance of the wireless adapter from the access point, at which packets will be stably transmitted in open space. In the following works will examine how obstacles affect the operation of the radio channel. In dynamics, the state of the wireless network will be monitored and as a result, a complex of mathematical models will be built to organize the construction and operation of the wireless network.

**Keywords:** mathematical models, wireless networks, signal, radio channel, software package

В научных работах рассматривались модели для беспроводного соединения, в качестве ограничения рассматривали такую величину, как скорость.

По результатам моделирования был построен комплекс математических моделей, который позволял администратору сети из одного состояния переводить систему в другое состояние [1]. Данный комплекс хорошо показал свою значимость, и при помощи математических моделей был реализован программный комплекс, который в результате способствовал бесперебойной работе беспроводной сети.

### Материалы и методы исследования

Данное решение успешно функционировало при условии, если пользователь находится в условиях хорошего беспроводного соединения и имеет подключение в одном месте без передвижения, но если радиоканал соединения с пользователем разрывается, то пользователь будет испытывать проблемы с доступом в интернет, это обычно происходит, если появляются дополнительные точки доступа, которые накладывают радиопомехи, также появляются дополнительные приемники (пользователи), которые находятся в радиусе радиозфера точек доступа, таким образом, приемники между собой создают коллизию. Если радиоканалы [2] в устройстве заполнены и если пользователь передвигается, то качество сигнала ухудшается. Даже если трафик

позволяет пользователю передать нужное количество пакетов, но так как уровень сигнала между пользователем и точкой доступа ухудшился, то соединение разрывается и становится невозможно в дальнейшем работать. Таким образом, строится следующая задача по построению беспроводного соединения и нахождения критических параметров переключения для успешной работы сети при условии, в котором, если пользователь передвигается, то соединение пользователя должно осуществляться автоматически, таким образом, пользователь переключается к другому устройству, где качество радиосоединения лучше, чем предыдущее.

Такой способ переключения называется бесшовным. В качестве параметров можно выделить следующие:

- мощность сигнала устройства wifi и ее антенны;
- радиоканал;
- занятость соединения.

Бесшовное соединение (рис. 1) имеет как плюсы, так и минусы. В качестве преимущества пользователь при перемещении из первого диапазона покрытия сети перехода во второй диапазон покрытия сети 2 зона. Пересечение между ними считается переходным состоянием переключения радиоканала, в тот момент времени переходит разрыв сети и переключение к новой сети, но если во второй сети уже присутствуют больше каналов, то пользователь будет испытывать проблемы получения пакетов из второй сети из-за занятости канала и соединение будет разорвано. То есть пользователь окажется в системе поглощения.

Таким образом, появляются две задачи: каким образом должно осуществляться переключение каналов и какой комплекс это будет решать. Рассмотрим причину возникновения проблемы. При переключении беспроводного радиоканала происходит разрыв и осуществляется переключение на новую частоту и если наложение частот возникает при первом соединении, то становится невозможно быстро осуществить переключение сети на новое соединение, для решения этой задачи можно рассмотреть, каким образом можно осу-

ществить отключение первое wifi устройства от клиента для успешного соединения второго wifi устройства.

При сложившейся ситуации будет реализован программный комплекс, который будет анализировать wifi клиента: если мощность пользования снижается до предельно допустимой величины, то соединения клиента от wifi устройства будет отключено, второе устройство будет анализировать устройства расположенные рядом, в случае свободного канала, и, если устройство имеет минимальное заданное качество сигнала, устройство разрешит подключение клиента к беспроводной сети. Так же программный комплекс должен анализировать всю беспроводную сеть на анализ активности прохождения пакетов. При отсутствии в пакетах и заголовков, имеющих наименование браузера, и определении, с каких портов отправляются данные, можно будет понять, что данный ip адрес не использует сеть, а имеет только подключение к радиоканалу, значит, данное устройство занимает радиоканал, который можно заблокировать, этим самым освободить место для нового соединения.

При таких условиях выполнения бесшовное соединение станет контролироваться и надежность работы беспроводной сети станет лучше.

### Результаты исследования и их обсуждение

Проведем эксперимент и найдем пороговые значения сигнала для устройств.

Как известно, беспроводные устройства [3] в качестве распространения радиосигнала используют радиоволны, wifi-устройства используют два частотных диапазона – 2,4 и 5 ГГц. Беспроводные сети стандарта 802.11 b/g работают в диапазоне 2,4 ГГц, сети стандарта 802.2 a – 5ГГц, а сети стандарта 802.11n могут работать как в диапазоне 2,4, так и в диапазоне 5 ГГц.



Рис. 1. Бесшовное соединение

В полосе частот 2,4 ГГц для беспроводной wi-fi сети доступны 11 или 13 каналов шириной 20 МГц (802.11 b/g/n) или 40 МГц (IEEE 802.11 n) с интервалами 5 МГц между ними. Беспроводное устройство, использующее один из частотных каналов, создает значительные помехи на соседние каналы. Например, если точка доступа использует канал 6, то она оказывает сильные помехи на каналы 5 и 7, а также, уже в меньшей степени, – на каналы 4 и 8. Для исключения взаимных помех между каналами необходимо, чтобы их несущие частоты отстояли друг от друга на 25 МГц (5 межканальных интервалов).

На рис. 2 показаны 11 каналов. Цветовая кодировка обозначает группы непересекающихся каналов – {1,6,11}, {2,7}, {3,8}, {4,9}, {5,10}. Беспроводные сети, расположенные в пределах одной зоны покрытия, рекомендуются настраивать на непересекающиеся каналы, на которых будет наблюдаться меньшая интерференция (сигнал, передаваемый другими излучателями (они могут быть или не быть частью вашей сети Wi-Fi) на том же канале (или близком к нему), на котором вещает ваша точка доступа.) и коллизий (конфликтов). Номера непересекающихся каналов – 1, 6 и 11. При проектировании беспроводной

сети важно обратить внимание на расположение устройств рядом. Если устройство работает и рядом с ним имеются другие устройства, то будут присутствовать внутриканальные и межканальные помехи, которые влияют на производительность сети, так как увеличивается уровень шума, из-за чего происходит постоянная пересылка пакетов и работа беспроводной сети становится неэффективной. Единственный способ повлиять на это, расположить устройства подальше друг от друга или уменьшить их мощность, таким образом, наложение помех можно предупредить. Стоит так же учитывать различные препятствия, ниже показана табл. 1 эффективности беспроводного сигнала wi-fi при прохождении сигнала через препятствия.

В табл. 1 показано, насколько уменьшится радиус сигнала при прохождении через препятствие сравнением с открытым пространством. Например, открытое пространство эффективно работает на 50 м, таким образом, через монолитное железобетонное покрытие радиус действия станет 5 м. Беспроводные сети имеют параметры, которые можно измерить, тем самым определить эффективность работы радиуса действия беспроводного радиоэфира, основные из них – децибелы и отношение сигнала к шуму.

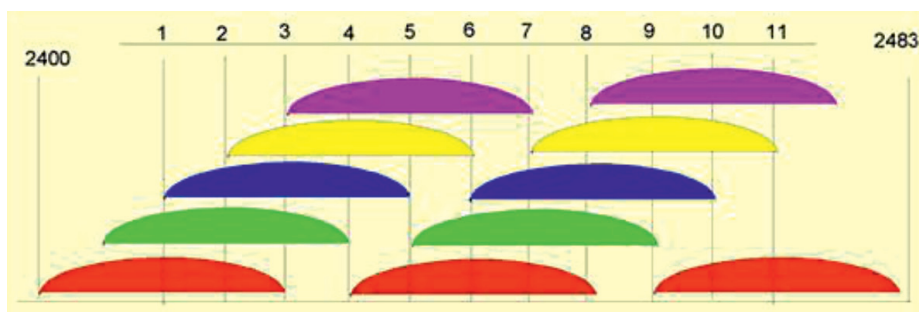


Рис. 2. Каналы на частотной сетке 2,4 ГГц

Таблица 1

Эффективность беспроводного сигнала wi-fi при прохождении сигнала через препятствия

Препятствие	Дополнительные потери (dB)	Эффективность
Открытое пространство	0	100%
Окно без тонировки (отсутствует металлизированное покрытие)	3	70%
Окно с тонировкой (металлизированное покрытие)	5–8	50%
Деревянная стена	10	30%
Межкомнатная стена (15,2 см)	15–20	15%
Несущая стена (30,5 см)	20–25	10%
Бетонный пол/потолок	15–25	10–15%
Монолитное железобетонное перекрытие	20–25	10%

Таблица 2

## Конвертирование dB в мВт

Значение в dBm	30	20	17	14	11	8	5	2	0	-1	-5	-10	-20	-30	-40	-50
Значение в mW	1000	100	50	25	12,5	6,25	3,13	1,56	1	~0,79	~0,32	0,1	0,01	0,001	0,0001	0,00001

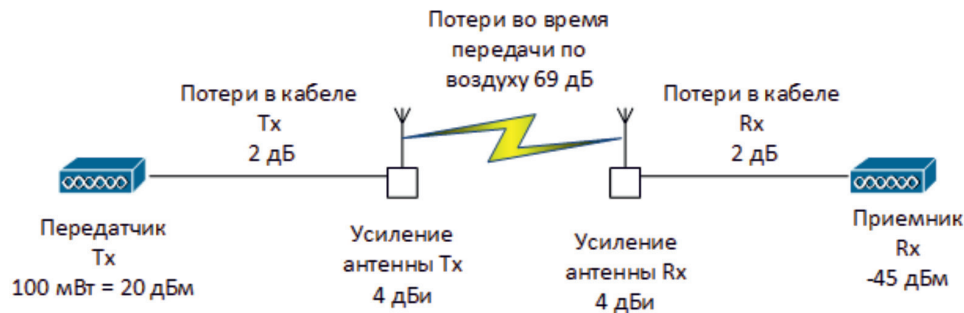


Рис. 3. Расчет итоговой мощности сигнала

$$\text{Сигнал Rx} = 20 \text{ dBm} - 2 \text{ dB} + 4 \text{ dBi} - 69 \text{ dB} + 4 \text{ dBi} - 2 \text{ dB} = -45 \text{ dBm}$$

Децибелы – это логарифмическая единица уровней, затуханий и усилений. Величина, выраженная в децибелах, численно равна десятичному логарифму безразмерного отношения физической величины к одноимённой физической величине, принимаемой за исходную, умноженному на десять.

$$dB = 10 * \log_{10}(P2/P1), \quad (1.1)$$

где  $P2$  – мощность сигнала передатчика,  $P1$  – мощность сигнала приемника.

По формуле (1.1) получаем по мере прохождения сигнала от передатчика к приемнику, на какую величину будет изменяться мощность. Производители приемников, как правило, указывают чувствительность приемника в децибелах, в среднем это значение  $-65 \text{ dB}$ , т.е. мощность получения сигнала приемника в среднем  $0,00001 \sim 0,00003 \text{ мВт}$ .

В табл. 2 представлено конвертирование dB в мВт.

По вышеуказанной информации можно выделить следующее: беспроводное соединение осуществляет передачу пакетов по радиовещанию, в качестве передающей стороны ставят устройство – точку доступа wi-fi [4], максимальная мощность, согласно законам многих стран, в том числе и России, составляет  $20 \text{ dB}$ , что, соответственно, при переводе в ватты равно  $100 \text{ мВт}$ . В качестве принимающей стороны используется приемник, мощность приемника в среднем равна к нулю, что в переводе в dB получает отрицательное значение, как правило, эту величину называют чувствительность,

и в технической документации мы часто можем встретить такой параметр, как чувствительность равная  $-65 \text{ dB}$ . На качество передачи сигнала могут влиять антенны, которые имеют положительное значение в dB, так же при прохождении сигнала через различные препятствия ухудшается и при прохождении сигнала по кабелю идет потеря мощности. Можно наглядно представить расчет итоговой мощности сигнала на рис. 3.

Таким образом, мы получаем величину, называемую RSSI-показатель уровня принимаемого сигнала, измеряется приёмником по логарифмической формуле (1.1) в dB. Стоит обратить внимание, RSSI и dB это разные единицы измерения, которые по факту представляют одно и то же, разница в том, что RSSI – это относительный индекс полученного сигнала при усилении антенны и потери через препятствия, в dB – это относительное значение, представляющее уровень мощности в мВт.

Рассмотрим [5] табл. 3 усредненных данных, оценки эффективности по показателю уровня принимаемого сигнала RSSI.

Таблица 3

## Уровень сигнала

Оценка	Сигнал (дБм)
Отличный	$> -35$
Очень хороший	от $-51$ до $-35$
Хороший	от $-81$ до $-51$
Плохой	от $-101$ до $-81$
Нет соединения	$< -101$

Как было ранее сказано, уровень сигнала измеряется приемником по логарифмической шкале. То есть величина качества сигнала положительно сказывается на работе, но как было ранее сказано, также существуют и поглощающие состояния, которые напрямую воздействуют на качество передаваемого сигнала – это препятствия, коллизия и уровень шума. Препятствия, влияющие на работу беспроводного сигнала в процентном соотношении, представлены в табл. 1. Коллизия – это наложение радиопомех самим приемниками, по сути все радиоприемники получают пакеты от передатчика, но на уровне приемников и протоколов TCP-IP и ARP, принимающая сторона видит, что пакеты адресованы по заданному ip адресу и конкретному мак адресу, а остальные приемники получат пакеты, игнорируют эти данные, но все же, как только увеличивается количество принимающих устройств, происходит наложение сигнала и, таким образом, скорость передачи пакетов сокращается или теряется, далее будет проведен эксперимент и установлено, как влияют дополнительные приемники на качество работы беспроводной сети. Уровень шума – это величина, которая показывает наличие помех от других устройств, высокий уровень шума заглушает, искажает основной сигнал, вплоть до того, что принимающее устройство не сможет его «выделить» из общего потока и расшифровать. Таким образом, появляются величины, которые непосредственно влияют на качество работы уровня сигнала, в телекоммуникациях для определения качества сигнала и, как следствие, необходимости использования, если качество сигнала выше определённого для стандарта, используют величину, называемую Signal-to-Noise Ratio (SNR) – отношение уровня сигнала к уровню шума, равно отношению мощности полезного сигнала к мощности шума, и из формулы (1.1) получаем

$$SNR(dB) = 10 * \log_{10} \left( \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right), \quad (1.2)$$

где  $P_{signal}$  – Средняя мощность сигнала;  
 $P_{noise}$  – Средняя мощность шума.

Чем выше SNR, тем качество сигнала будет лучше, то есть получается мощность сигнала должна стремиться к 0, а мощность шума наоборот. На рис. 4 между пунктирной линией и сплошной как раз представлено отношение уровня сигнала к уровню шума.

Получив значение RSSI – показать уровень сигнала, узнав количество препятствий, так как отдаление приемника от передатчика влияет на уровень показателя сигнала,

мы можем из формулы передачи Фрииса для распространения радиосигнала в свободном пространстве вычислить расстояние между передатчиком и приемником в динамике.

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2, \quad (1.3)$$

где  $G_t$  – коэффициент усиления передающей антенны;  
 $G_r$  – коэффициент усиления приемной антенны;  
 $P_t$  – мощность передающей антенны (Вт) (без учета потерь);  
 $P_r$  – мощность принимаемой антенны (Вт) (без учета потерь);  
 $R$  – расстояние между антеннами в метрах;  
 $\lambda$  – длина волны в метрах, соответствующая частоте передачи.

Из формулы (1.3) получим уравнение для вычисления расстояния к беспроводным сетям, работающих на частоте 2,4 ГГц.

$$P_d = P_0 - 10 * n * \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right), \quad (1.4)$$

где  $d$  – расстояние от приемника до передатчика в метрах;  
 $d_0$  – начальное расстояние от устройства до точки, 1 м от приемника;  
 $P_0$  – мощность сигнала приемника, измеренная на расстоянии  $d_0$ , RSSI dBm;  
 $n$  – коэффициент потерь мощности сигнала при распространении в среде (для воздуха составляет 2);  
 $P_d$  – текущий уровень сигнала, RSSI dBm.

Следовательно, коэффициент потери мощности зависит от препятствий и по умолчанию потеря мощности сигнала в воздухе составит 2, отсюда получим уравнение вычисления расстояния при известном RSSI при прохождении сигнала через препятствие:

$$P_d = P_0 - 10 * P_{let}(n) * \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right), \quad (1.5)$$

где  $P_{let}(n)$  – параметр потери мощности сигнала при прохождении через препятствие.

Проведем эксперименты при различных ситуациях.

Ситуация 1. Открытое пространство, без преград, радиус действия 10 м.

На рис. 5, согласно результатам измерения, получилось следующие данные:

– Максимальный уровень сигнала RSSI = -25 dBm, средний уровень сигнала RSSI = -26dBm.

– Максимальный уровень шума равен -85 dBm, средний уровень шума = -92dBm.

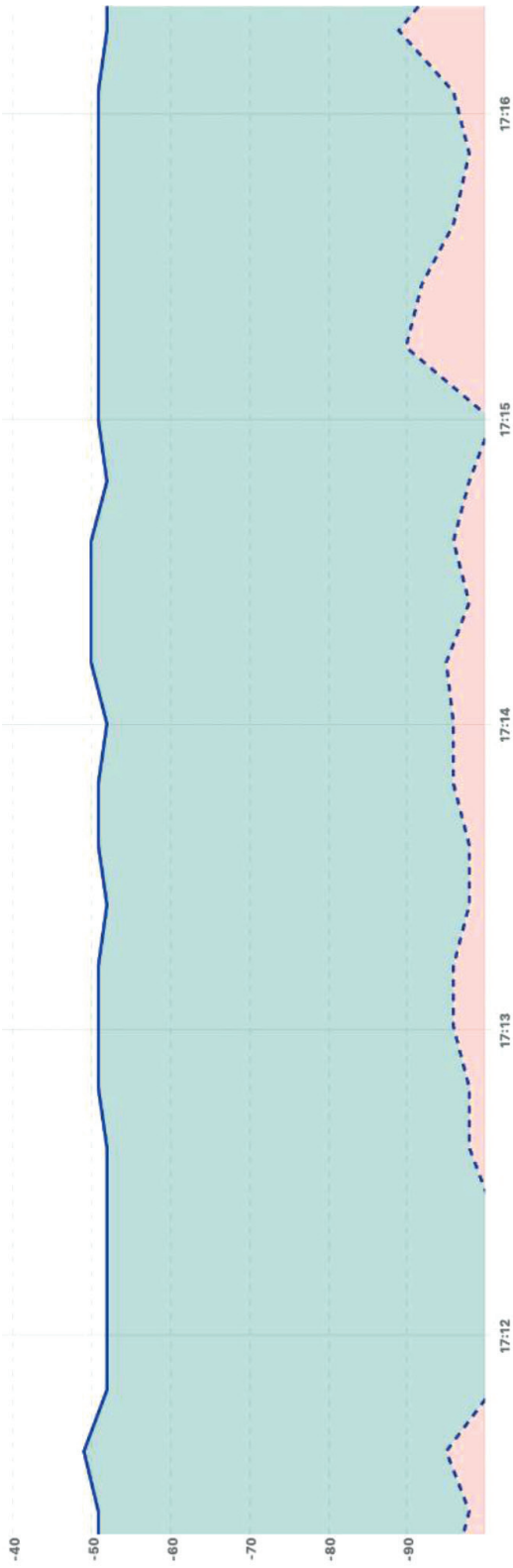


Рис. 4. SNR. Отношение уровня сигнала к уровню шума

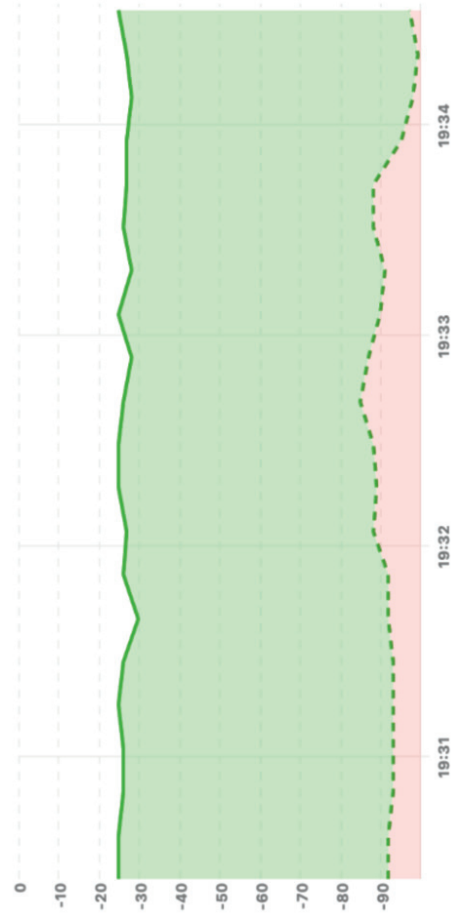


Рис. 5. Ситуация 1, расстояние между приемником и передатчиком 1 м

Согласно шкале уровня сигнала, максимальный уровень сигнала  $-10$  dBm, минимальный  $-96$  dBm. Согласно этому промежутку и получим следующее уравнение:

$$(P_d - P_{\max}) / (P_{\min} - P_{\max}) * 100, \quad (1.6)$$

где  $P_d$  – текущий уровень сигнала RSSI;  
 $P_{\max}$  – максимальный уровень сигнала согласно беспроводному стандарту  $-10$  dBm;  
 $P_{\min}$  – минимальный уровень сигнала согласно беспроводному стандарту,  $-96$  dBm.

По формуле (1.6) уровень сигнала на расстоянии  $1$  м составляет  $81\%$  из  $100\%$ , шум ухудшает сигнал на  $4,65\%$ . При расчете можно сделать вывод, что на расстоянии  $1$  м качество сигнала максимально может составлять без воздействия шума и коллизий порядка  $86\%$ , т.е. фактически потеря сигнала на этом расстоянии составляет примерно  $15\%$ .

Произведем следующий замер, отделимся на  $3$  м.

На рис. 6, как и с первой ситуацией, получим следующие данные.

– Максимальный уровень сигнала RSSI =  $-29$  dBm, средний уровень сигнала RSSI =  $-33$  dBm.

– Максимальный уровень шума равен  $-89$  dBm, средний уровень шума =  $-93$  dBm.

По формуле (1.6) уровень сигнала на расстоянии  $3$  м составляет  $78\%$  из  $100\%$ , шум ухудшает сигнал на  $3,5\%$ . При элементарном расчете можно сделать вывод, что на расстоянии  $3$  м качество сигнала максимально может составлять без воздействия шума и коллизий порядка  $81,5\%$ . т.е. расстояние увеличилось на  $2$  м, уровень сигнала уменьшился на  $5\%$ .

Произведем следующий замер, отделимся на  $5$  м (рис. 7).

– Максимальный уровень сигнала RSSI =  $-31$  dBm, средний уровень сигнала RSSI =  $-36$  dBm.

– Максимальный уровень шума равен  $-90$  dBm, средний уровень шума =  $-93$  dBm.

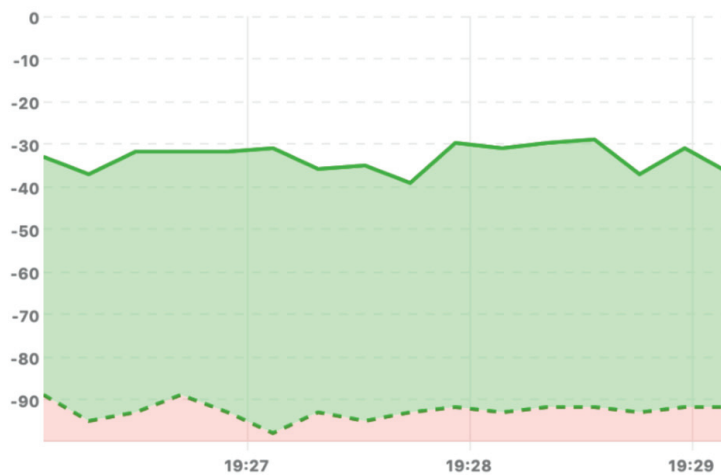


Рис. 6. Ситуация 2, расстояние между приемником и передатчиком  $3$  м

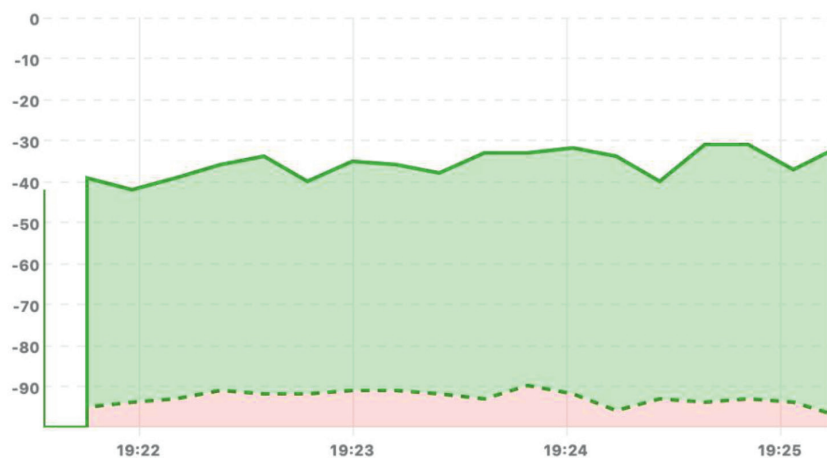


Рис. 7. Ситуация 3, расстояние между приемником и передатчиком  $5$  м

По формуле (1.6) уровень сигнала на расстоянии 5 м составляет 70% из 100%, шум ухудшает сигнал на 3,5%. При элементарном расчете можно сделать вывод, что на расстоянии 5 м качество сигнала максимально может составлять без воздействия шума и коллизий порядка 73,5%. т.е. расстояние увеличилось на 4 м по сравнению с первой ситуацией, уровень сигнала уменьшился на 15%, со второй ситуацией уровень сигнала уменьшился на 10%. Произведем следующий замер, отдалимся на 7 м (рис. 8).

– Максимальный уровень сигнала RSSI = -35 dBm, средний уровень сигнала RSSI = -41dBm,

– Максимальный уровень шума равен -91dBm, средний уровень шума = -93dBm.

По формуле (1.6) уровень сигнала на расстоянии 7 м составляет 64% из 100%, шум ухудшает сигнал на 3,5%. При элементарном расчете можно сделать вывод, что на расстоянии 7 м качество сигнала максимально может составлять без воздействия шума и коллизий порядка 67,5%. т.е. расстояние увеличилось на 6 м по сравнению с первой ситуацией, уровень сигнала уменьшился на 21%, со второй ситуацией уровень сигнала уменьшился на 17%, с третьей на 8%. Произведем следующий замер, отдалимся на 9 м (рис. 9).

– Максимальный уровень сигнала RSSI = -44 dBm, средний уровень сигнала RSSI = -46dBm.

– Максимальный уровень шума равен -91dBm, средний уровень шума = -93dBm.

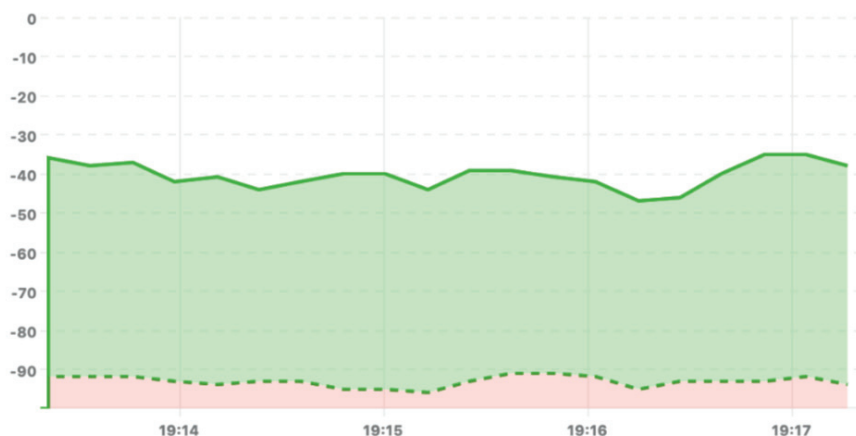


Рис. 8. Ситуация 4, расстояние между приемником и передатчиком 7 м

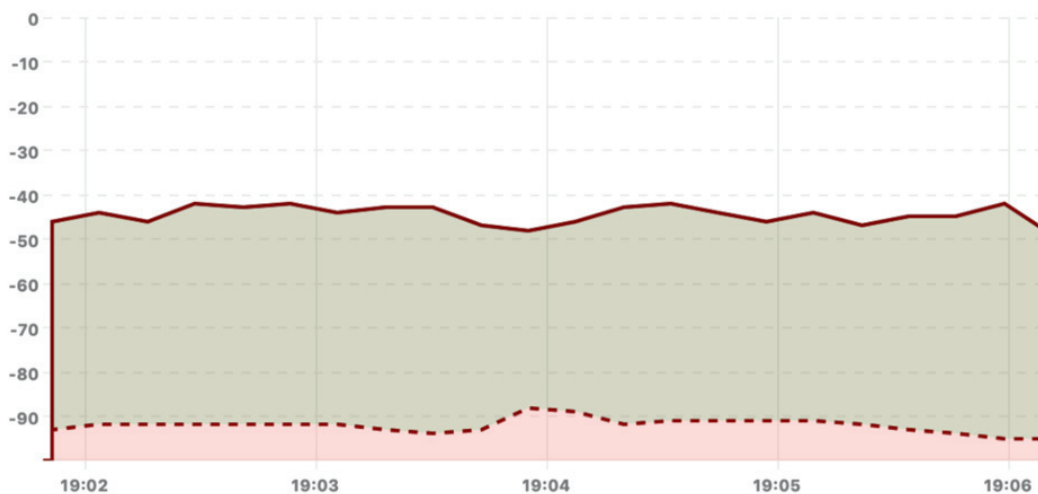


Рис. 9. Ситуация 5, расстояние между приемником и передатчиком 9 м



Таблица 4

Эксперимент	Среднее RSSI, dBm	Шум	Уровень сигнала в процентах с шумом	Уровень сигнала в процентах исключая шум	Отклонение с шумом	Отклонение без шума	Качество сигнала
1 м	-26	-92	81%	86%			Отличный
3 м	-33	-93	78%	81,5%	3%	5%	Отличный
5 м	-36	-93	70%	73,5%	10%	10%	Очень хороший
7 м	-41	-93	64%	67,5%	9%	8%	Очень хороший
9 м	-46	-93	58%	61,5%	9%	9%	Очень хороший

По формуле (1.6) уровень сигнала на расстоянии 9 м составляет 58% из 100%, шум ухудшает сигнал на 3,5%. При элементарном расчете можно сделать вывод, что на расстоянии 9 м качество сигнала максимально может составлять без воздействия шума и коллизий порядка 61,5%. т.е. расстояние увеличилось на 8 м по сравнению с первой ситуацией, уровень сигнала уменьшился на 29%, со второй ситуацией уровень сигнала уменьшился на 25%, с третьей на 16%, с четвертой 9%. Получим сводную табл. 4 по данным расчетам.

Получив данные, проведем аппроксимацию для получения ключевых параметров. Для наших данных система уравнений имеет вид

$$5a + 25b = -182,$$

$$25a + 165b = -1006.$$

Получаем уравнение

$$y = -2,4t - 24,4.$$

Получаем критическую точку – 25 м, это критическое расстояние, при котором беспроводная сеть может работать стабильно в условиях открытого пространства.

#### Выводы

По результатам эксперимента мы получили критический параметр – рассто-

яния беспроводного адаптера от точки доступа, при котором пакеты будут стабильно передаваться в условиях открытого пространства.

В следующих работах будет рассмотрено, как препятствия влияют на работу радиоканала. В динамике будет отслеживаться состояние беспроводной сети, и в результате будет построен комплекс математических моделей для организации построения и работы беспроводной сети.

#### Список литературы

1. Ахметшин Д.А., Печеный Е.А., Нуриев Н.К. Математическое и имитационное моделирование работы системы беспроводной передачи данных с вырожденным потоком обслуживания // Вестник КГТУ. 2014. № 10. С. 216–221.
2. Польшинкин А.В., Ле Х.Т. Исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 7. Ч. 2. С. 98–107.
3. Корчагин В.А. Электромагнитная совместимость беспроводных устройств малого радиуса действия // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6. № 1. С. 3–10.
4. Останина Е.В. Проектирование и разработка интерактивного учебного модуля «беспроводная точка доступа wi-fi» на платформе Adobe flash // Вестник ПГТТУ. 2014. Вып. 10. С. 123–134.
5. Cu Duc Toan, Viktoriya V. Ling, Olga V. Ledneva, Sergey A. Kochkin, Gulnara A. Saparbekova. Mathematical Models for Wireless Access Networks. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). June 2019. Vol. 8. Issue 5. P. 2383–2387.