

УДК 621.396

## Исследование характеристик беспроводных сетей при разных условиях работы

Т.В. Аветисян<sup>1</sup>, А.П. Преображенский<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия

*В данной работе рассматривается задача, связанная с исследованием характеристик работы беспроводных сетей для разных режимов работы. В ходе ее решения необходимо рассмотреть две ситуации: передачу информации между двумя узлами и от одного узла ко многим узлам. Проводилось изучение протяженности случайного рассеивания узлов по площади при равномерных и нормальных законах распределения независимых координат. На основе имитационного моделирования была установлена зависимость протяженности маршрутов от координат. Показано, что можно опираться на распределение Вейбулла. Результаты проведенного эксперимента открыли возможность оценки среднего количества скачков в условиях случайного маршрута, то есть, на маршруте, который соединяет два произвольных узла.*

*Ключевые слова: беспроводная сеть, закон распределения, моделирование, маршрут.*

## The study of the characteristics of wireless networks under different operating conditions

T.V. Avetisyan<sup>1</sup>, A.P. Preobrazhenskiy<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>College of Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

<sup>2</sup>Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia

*This paper discusses a task related to the study of the characteristics of wireless networks for different modes of operation. In the course of solving this problem, you need to consider two situations: the transfer of information between two nodes and from one node to many nodes. The extent of the random dispersion of nodes over the area was studied under uniform and normal laws of distribution of independent coordinates. Empirically, the dependence of the length of the routes on the coordinates was established. It is shown that it is possible to rely on the Weibull distribution. The results of the experiment made it possible to estimate the average number of jumps under the conditions of a random route, that is, on a route that connects two arbitrary nodes.*

*Keywords: wireless network, law of distribution, modeling, route.*

Большое количество методов реализации и сфер использования беспроводных сенсорных сетей (БСС), порождает потребность к анализу их свойств и разработке методологии для корректной оценки их параметров [1]. Сейчас глобальное внедрение и применение беспроводных сетей ставит одну из задач – это обеспечение их доступности (здесь под этим понятием выступает уровень возможности БСС предоставить услугу), без потери качественной составляющей обслуживания.

Решение этих задач в комплексе является довольно сложной научной проблемой и показывает необходимость исследований, направленных на анализ возможностей беспроводных сетей при оказании тех или иных услуг. Также существует потребность в анализе характеристик вероятно-временного плана, для того чтобы обеспечить необходимый уровень качества, требуемый для определенной целевой области и самой сетевой структуры.

Цель работы состоит в разработке моделей БСС и оценки параметров в режиме их функционирования с условием неравномерного распределения сетевых узлов.

Для топологии «точка-точка» характерным является то, что существует непосредственная связь среди двух узлов. При ней исчезает необходимость директивного направления устройств [2, 3].

Проводилось изучение особенностей случайного размещения узлов по площади, когда рассматривались равномерные и нормальные законы распределения, связанные с независимыми координатами  $x$  и  $y$ .

Мы исходили из того, что узлы в беспроводной сети были рассеяны на базе нормального закона. Значение размера дисперсии вычисляли на базе закона:

$$D_U(x) = D_U(y) = \frac{(b-a)^2}{12}, \text{ м}^2, \quad (1)$$

Здесь  $b$  и  $a$  – равны границам случайной величины. В ходе расчетов мы эти границы рассматривали в виде границ здания  $a = 0$ ,  $b = 190$  м. Чтобы осуществить поиск по прямому маршруту среди всех пар узлов необходимо было опираться на алгоритм Флойда. Его идея состоит в том, что реализуется пошаговый поиск по кратчайшему пути. Эмпирическим образом была установлена зависимость протяженности маршрутов. Оказалось, что их можно аппроксимировать на основе плотности вероятности распределения Вейбулла:

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}^\alpha}, \quad (2)$$

при этом в указанном выражении  $\alpha$  и  $\beta$  являются величинами рассеивания. Дополнительным подтверждением возможности применения представленного подхода является то, что осуществлялась проверка на пригодность через критерий согласия Колмогорова–Смирнова, когда существует уровень значимости 0,95.

Моделирование говорит о том, что есть зависимость среднего числа колебаний (транзитов) по маршруту от среднеквадратического отклонения. Рисунок 1 иллюстрирует зависимость среднего количества колебаний (скачков) внутри маршрута от отношения дисперсии к радиусу связи узла  $\sigma/R$ , где  $\sigma = \sqrt{D}$ ,  $D$  является среднеквадратическим отклонением,  $R$  рассматривается в виде радиуса связи узла [4, 5].

На основе линейного закона будет расти среднее число колебаний по мере увеличения среднеквадратического отклонения.

На основе осуществления имитационного эксперимента возникла возможность для того, чтобы сформировать эмпирическую зависимость средней суммы скачков от значения среднеквадратического отклонения. Она представляется таким образом:

$$\bar{m} \approx \begin{cases} k_p \frac{\sigma}{R} & \text{при } \frac{\sigma}{R} < 1,5 \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $k_p = 4,38$  является коэффициентом, который получается на основе формирования и реализации модели.

Моделирование выявило, что сумма колебаний будет расти до тех пор, пока сеть не достигнет несвязного состояния, т. е. так называемого фазового перехода. Моделирование выявило, что сумма скачков увеличивается до тех пор, пока не наступит момент, когда сеть будет в несвязном состоянии. Тогда существует так называемый фазовый переход.

На рисунке 2 приведена схема работы сенсорного узла.

Результаты проведенного эксперимента открыли возможность оценки среднего количества скачков в условиях случайного маршрута, т. е. на маршруте, который соединяет два произвольных узла [6, 7]. Однако, на практике существуют ситуации, когда наличие трафика необходимо в противоположных условиях – т. е. не на маршруте между двумя точками, а на маршруте между конкретным узлом или же некоторой совокупностью узлов и остальными узлами сети. Данная ситуация рассматривается как точка-политочка или политочка-точка.

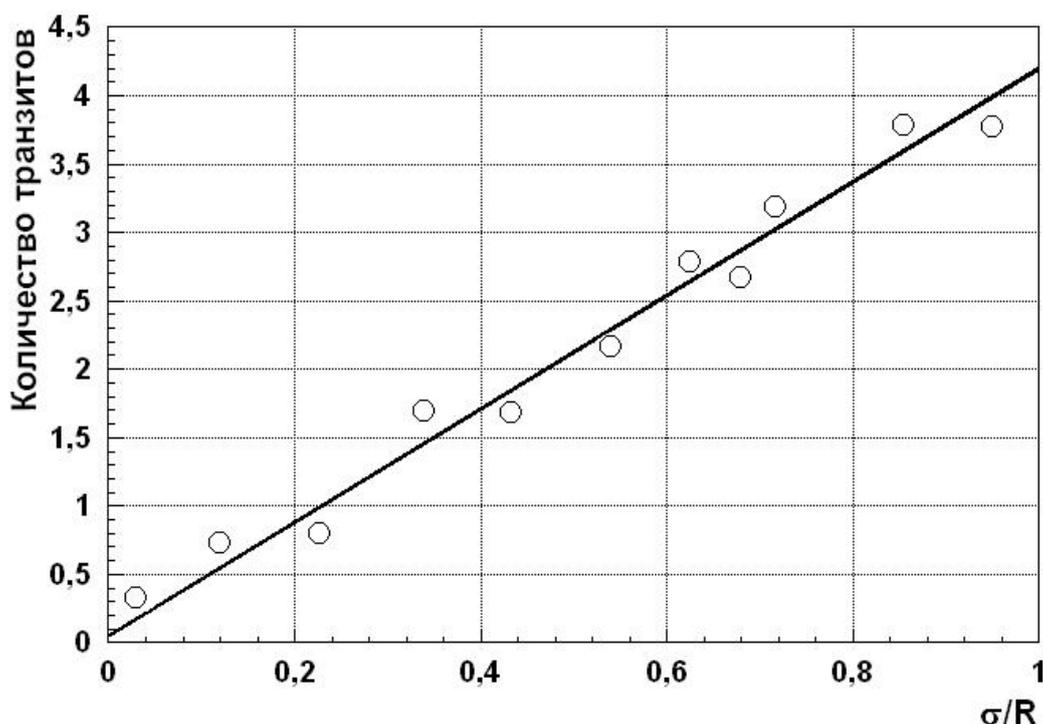


Рисунок 1. Количество транзитов в сети

На практике построение сети требуется для сбора данных, которые поступают от большого количества точек, что рассеяны произвольно на поверхности или в пространстве. При такой постановке задачи, решающую роль занимает шлюз, на который поставляют данные с узлов [8]. Затем, он передает их к другой сет или средствам обработки информации. При этом будет происходить локализация шлюза. Это большей частью осуществляется для центра зон обслуживания, который может иметь некую геометрическую форму (как в случае выше – это был квадрат 190x190 м). Подобные условия обуславливают направленность передачи данных по радиальной траектории от границ зоны обслуживания к ее центру (политочка-точка).

Применяя соответствующее моделирование были получены характеристики расстояний маршрутов от точек к шлюзу, локализованному в центре пространства, подлежащему обслуживанию.

В результате применения алгоритма для кластеров определено, что некая часть узлов сети в определенный отрезок времени может обеспечить транзит данных. Когда данное временное окно (раунд) закрывается, то функции узлов изменяются в случайном порядке. Применение временных узлов и сторонних узлов обуславливает время функционирования и расход энергии при передаче и приеме информации.



Рисунок 2. Схема работы сенсорного узла

Сравнительному анализу суммы транзитных узлов будет предшествовать применение постоянных узлов. Расстояние между узлами, которое достаточно для полного охвата всей зоны обслуживания составляет 50 м. Из расчета становится известным, что для выполнения этого примера необходимо иметь сеть в 23 узла.

Моделирование данного построения требует применить узлы типа сенсорный и транзитный, где первый тип узлов не выполняет функций возложенных на головные узлы по передачи трафика.

По результатам построения модели и ее выполнения стало известно, что рассеивание суммы транзитов и средние показатели суммы транзитов статистически одинаковы по результатам, характерным для ситуации с одним типом узлов в сети. Это говорит о наличии зависимости от среднеквадратичного отклонения и отсутствии зависимости между характеристикой протяженности маршрута провалов трафика и видом рассеивания узлов по испытываемой поверхности. Следует оговорить, что на протяженность маршрута (случайные или детерминированные узлы) тип организации передачи данных влияния не оказывает.

В проведенном моделировании применялось 23 транзитных узла для полного задействования всей зоны, подлежащей обслуживанию. Далее, была изучена совокупность транзитных узлов в сети с одним типом узлов и шлюзом, локализованным в эпицентре плоскости обслуживания, что позволит дать полную характеристику маршрутам. Для осуществления этого полагается установить совокупность узлов сети, применяемых для передачи данных, количество траекторий трафика, обслуживаемых транзитными узлами.

Оговорим, что траектория трафика определяет трафик, который поступает от сенсорного узла или от другого транзитного узла. Путем выполнения имитационного моделирования выявлено, что при определенных условиях моделирования, а это – 100 узлов, рабочая поверхность 190×190 м, с радиусом в 50 м и при наличии шлюза в эпицентре области, в качестве транзитных применяем  $25 \pm 2$  узла.

Причем, это справедливо для разного рассеивания передающих узлов. То есть, это верно для равномерного и нормального закона.

Важно понимать, что полученный результат является статистически близким к случаю, когда есть детерминированное положение 23 транзитных узлов. На рисунке 3 продемонстрирована зависимость тех узлов, которые будут транзитными, от среднеквадратического отклонения, то есть отношения  $\sigma/R$ .

Результаты, полученные в ходе моделирования, свидетельствуют об увеличении среднего количества узлов, осуществляющих передачу данных, когда наблюдается рост среднеквадратического отклонения. Далее, мы приведем эмпирическую линейную зависимость, к которой близка полученная зависимость при моделировании, она имеет вид:

$$\bar{\eta} \approx \begin{cases} k_T \frac{\sigma}{R} & \text{при } \frac{\sigma}{R} < 1,5, \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \quad (4)$$

где  $k_T = 4,38$  – величина, полученная в ходе моделирования.

Также в ходе реализации моделирования было выявлено, что средняя совокупность транзитных узлов увеличивается до фазы перехода, о которой мы упоминали ранее.

Подчеркнем, что увеличение транзитной нагрузки в исследуемой структуре осуществляется хаотично, в этом процессе не прослеживается устоявшегося роста. Для исследования этого явления глубже был проведен анализ рассеивания узлов по совокупности обслуживаемых траекторий. Данные по сумме траекторий, которые вверены транзитным узлам в обслуживание при равномерном и нормальном распределении являются неодинаковыми. Следует понимать, что применение транзитных узлов (значение интенсивности обслуживаемых нагрузок) в анализируемой сетевой структуре будет неодинаковым.

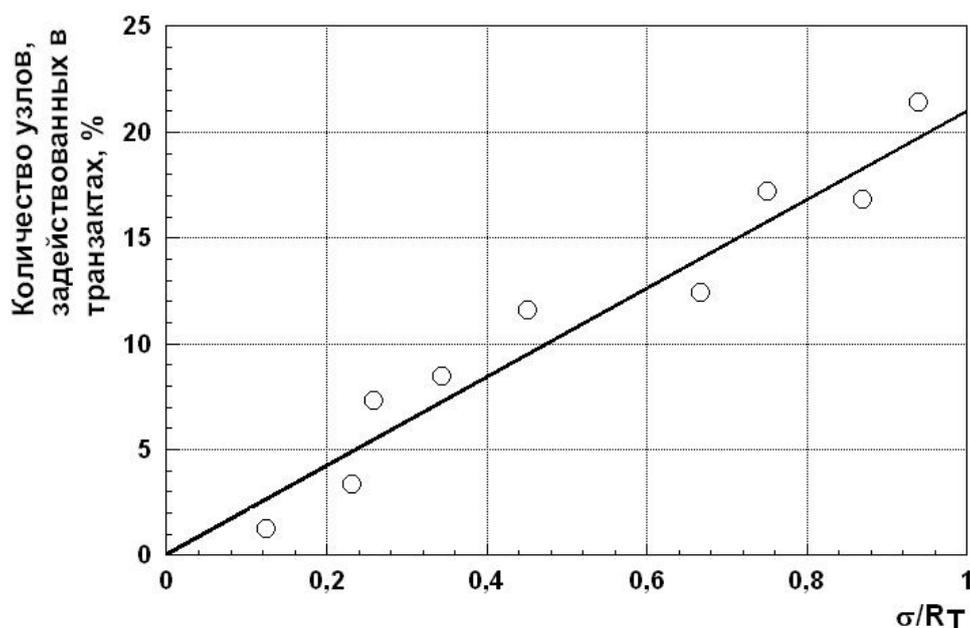


Рисунок 3. Количество узлов, которые задействованы в транзактах

Выводы. В результате анализа имитационного моделирования сети с наличием шлюза, можно заключить:

1. Средневзвешенное количество транзитов в маршруте зависит от среднеквадратичного отклонения и не зависит от типа рассеивания.

2. Средневзвешенная сумма транзитов в маршруте при применении однотипных узлов равна среднестатистическому количеству транзитов в ходе использования узлов двух типов и при обозначенном расположении транзитных узлов, когда есть условие полного покрытия территории и созданной связи среди транзитных узлов.

3. Число транзитных узлов по сетям с однотипными узлами взаимозависит от среднеквадратичного отклонения положения узлов и не зависит от рассеивания.

Транзитные узлы находят широкое применение, а совокупность обслуживаемых ими траекторий варьируется от узла к узлу.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Киричек Р.В. Обеспечения связи движущихся узлов VANET с помощью БПЛА на основе подбора их однонаправленных траекторий движения / Р.В. Киричек, П.А. Шилин // Материалы 72-ой Всероссийской научно-технической конференции, посвященной Дню радио. – 2017. – С. 205-207.

2. Ермолова В.В. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации / В.В. Ермолова, Я.Е. Львович, Ю.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11. – № 2.

3. Мельникова Т.В. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах / Т.В. Мельникова, М.В. Питолин, Ю.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 1.

4. Попов А.В. Модель функционирования защищаемой корпоративной информационной системы / А.В. Попов, О.Н. Чопоров, Ю.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 4.

5. Попов А.В. Системная классификация угроз информационной безопасности информационно-телекоммуникационной сети / А.В. Попов, О.Н. Чопоров, Ю.П. Преображенский // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2022. – Т. 10. – № 4.

6. Львович Я.Е. Исследование методов оптимизации при проектировании систем радиосвязи / Я.Е. Львович, И.Я. Львович, А.П. Преображенский, С.О. Головинов // Теория и техника радиосвязи. – 2011. – № 1. – С. 5-9.

7. Преображенский А.П. О применении расчетно-экспериментального подхода при исследовании распространения волн wi-fi внутри помещения / А.П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2014. – № 12. – С. 71-72.

8. Суворов А.П. Особенности развития современных телекоммуникационных сетей / А.П. Суворов, А.С. Лесников // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2020. – № 1 (32). – С. 46-48.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Аветисян Татьяна Владимировна**, преподаватель, Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [vtatyana\\_avetisyan@mail.ru](mailto:vtatyana_avetisyan@mail.ru)

**Преображенский Андрей Петрович**, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [app@vvt.ru](mailto:app@vvt.ru)