

ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ

Л.Б. Бузюков¹, Д.В. Окунева¹, А.И. Парамонов¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация.
Адрес для переписки: darina_okuneva@mail.ru

Информация о статье

УДК 621.396

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Бузюков Л.Б., Окунева Д.В., Парамонов А.И. Проблемы построения беспроводных сенсорных сетей // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 1. С. 5–12.

Аннотация: Для планирования и построения беспроводных сенсорных сетей с заданными требованиями к качеству обслуживания требуются модели БСС с возможностью адекватной оценки параметров их функционирования. В статье приведены разработанные модели для оценки связности сети и времени доставки сообщений.

Ключевые слова: связность, время доставки сообщений, имитационное моделирование, беспроводная сенсорная сеть.

PROBLEMS OF BUILDING WIRELESS SENSOR NETWORKS

L. Buziukov¹, D. Okuneva¹, A. Paramonov¹

¹The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunication,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Article info

Article in Russian

For citation: Buziukov L., Okuneva D., Paramonov A. Problems of building wireless sensor networks // Proceedings of educational institutes of communication. 2017. Vol. 3. Iss. 1. PP. 5–12.

Abstract: For the planning and construction of wireless sensor networks with the specified requirements for quality of service required USN model with the possibility of an adequate assessment of their functioning parameters. This article presents model developed to assess network connectivity and message delivery time.

Keywords: connectivity, message delivery time, simulation, wireless sensor network.

В настоящее время область телекоммуникаций меняется с невероятной скоростью. С каждым днем появляются новые стандарты, устройства телекоммуникаций и сетей связи, новые подходы и требования качества обслуживания к оказанию телекоммуникационных услуг.

Сегодня концепция Интернета Вещей – «тренд» сетей связи. Вектор исследований беспроводных сенсорных сетей (БСС), являющихся основой данной концепции, меняется с каждым днем. Пару лет назад основным направлением исследований БСС являлось увеличение жизненного цикла сети за счет протоколов маршрутизации, энергоэффективности узлов и балансировки нагрузки. В настоящее время исследования направлены на обеспечение требований к качеству обслуживания БСС, развитию топологий, технологий связи и принципов самоорганизации.

Область применения БСС включает в себя системы мониторинга (технологические процессы производства, контроль дорожного движения, детектирование данных об окружающей среде), системы безопасности (контроль доступа, аварийная сигнализация и т. п.), обнаружение ЧС (пожарная сигнализация, сейсмическая активность и др.). Основными достоинствами БСС являются: низкая стоимость, быстрая установка, продолжительное время функционирования, низкая стоимость обслуживания. Среди основных проблем, возникающих при работе БСС можно выделить: нестабильность радиоканала (параметры канала, зависимость от вида передаваемого трафика, расстояния передачи и окружающей среды), отказы узлов сети из-за расхода энергии.

Подход к планированию БСС зависит от предметной области. Если БСС будет работать в ограниченной области и обслуживать фиксированное количество объектов, то узлы сети могут быть «привязаны» к объектам. Структура сети предопределяется в процессе планирования, но она может измениться при отказах узлов сети.

На сегодняшний день узлы БСС обеспечивают продолжительное время функционирования – несколько лет (до 10 лет). Однако, планируя сеть на длительный период, невозможно быть абсолютно уверенным, что ее структура не изменится в будущем. Основной причиной потери функциональности является потеря связности сети. Связность сети характеризует возможность доставки данных от узла источника к получателю. Поэтому необходимо разработать модели БСС, позволяющие оценить связность сети (или потенциальные возможности ее обеспечения).

Предположим, что связность сети зависит от расстояния между узлами, а радиус узла связи – это 2D диск с радиусом R , распределение узлов равномерное, т. е. узлы сети образуют Пуассоновское поле (рис. 1).

Связность одного узла может быть описана выражением:

$$p_n = 1 - e^{-\rho\pi R^2}.$$

Тогда вероятность связности сети можно определить как:

$$p_c \approx \frac{n^{(con)}_{ij}}{n^2}, \quad i, j = 1..n.$$

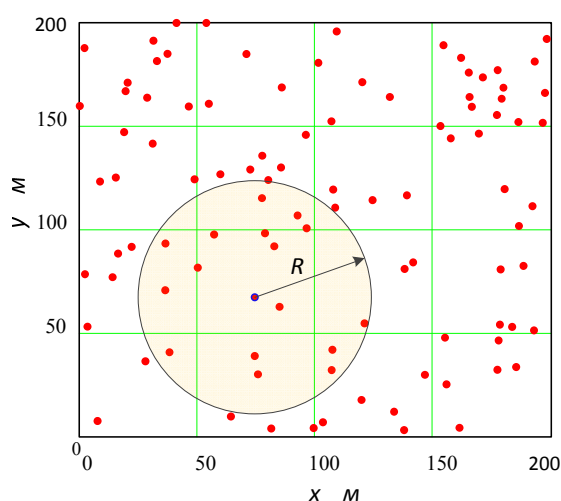


Рисунок 1. Пример сети с радиусом связи узла R и равномерным распределением узлов

В реальной сети положение узлов постоянно меняется (особенно если сеть формируется подвижными узлами), например за счет выхода некоторых узлов из строя. Поэтому распределение узлов в реальной сети носит случайный характер (даже если первоначально сеть строилась по заданным значениям связности), а соответственно и наличие связей между узлами так же носит случайный характер. Однако если зафиксировать количество узлов в сети, то в этом случае БСС может быть описана случайным графом $G(n, p)$, где p – вероятность наличия связи между узлами (рис. 2).

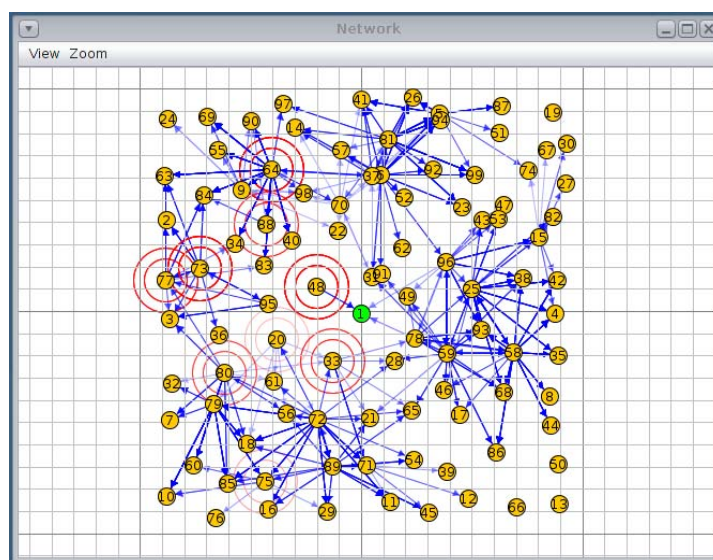


Рисунок 2. Представление модели БСС в симуляторе Contiki-3.0

В этом случае, для определения вероятности связности графа целесообразно использовать теорему Эрдеша-Реньи [2, 3].

Для того, чтобы проверить на практике результаты исследований, требуется построить ту или иную сеть натурно, что не всегда возможно. Например, если сеть состоит из большого числа узлов, распределенных на обширной территории. В таких случаях целесообразно использовать имитационное моделирование. Имитационное моделирование – это метод исследования, при котором исследуемая система заменяется ее моделью, которая достаточно точно описывает ее свойства. Модель используется для проведения экспериментов. В результате эксперимента получают данные, которые являются результатами измерений и подлежат статистической обработке для получения оценок численных значений исследуемых параметров. Пример алгоритма имитационного моделирования и результаты его работы для оценки связности БСС, разработанной в [1], приведен на рис. 3.

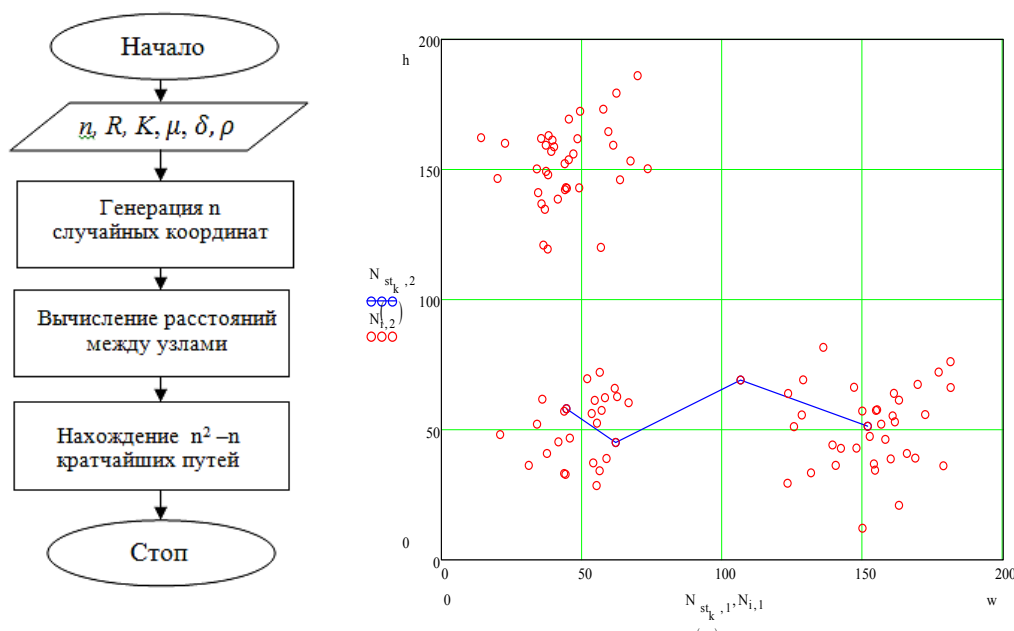


Рисунок 3. Алгоритм имитационного моделирования и результаты его работы для оценки связности БСС

При разработке аналитической модели для оценки связности БСС было выявлено, что радиус связи узла R влияет на вероятность связности сети p_c , и с увеличением вероятности связности сеть стремится к полной связности через фазовый переход. Наглядно зависимость вероятности связности от радиуса узла связи приведена на рис. 4.

Численно результаты имитационного и аналитического моделирования равны, что позволяет сделать вывод о корректности разработанной модели оценки связности и о возможности ее применения для адекватной оценки связности сети при ее планировании и проектировании.

Как уже отмечалось, в практических задачах узлы сети привязаны к окружающей инфраструктуре, поэтому их распределение по территории может отличаться от унимодального распределения узлов по территории, рассмотренного выше [2, 4].

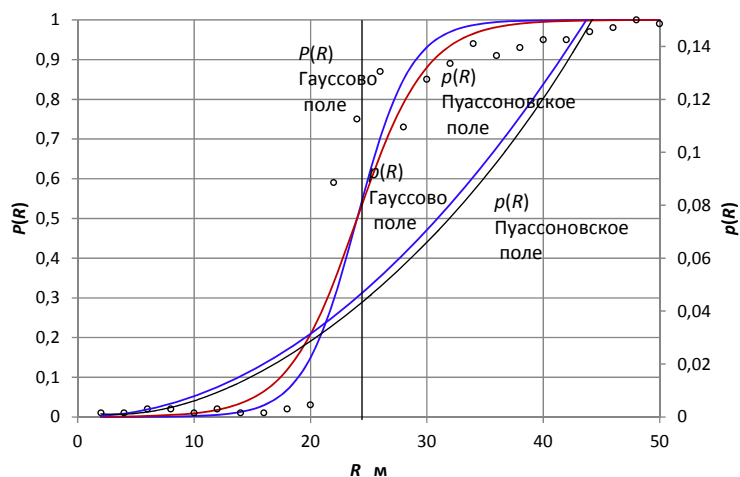


Рисунок 4. Зависимость вероятности связности сети от радиуса узла связи

В качестве примера такой инфраструктуры можно рассмотреть здания городской застройки. Узлы сети размещаются преимущественно внутри зданий, там их плотность достаточно высока, вне зданий плотность узлов значительно меньше [5, 6]. Для описания подобной структуры на плоскости может быть использовано мультимодальное распределение вероятности, распределение с несколькими модами или, что то же самое, с несколькими относительными максимумами, соответствующими этим модам [7].

Задача построения такой модели заключается в выборе закона распределения, с помощью которого можно с достаточной для практических целей точностью описать реальную сеть. В качестве распределения узлов по территории выберем мультимодальное распределение, построенное на основе двумерного нормального распределения $f(x_1, x_2)$ [8]:

$$f(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{(x_1-\mu_1)^2}{\sigma_1^2} - \rho\frac{2(x_1-\mu_1)(x_2-\mu_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(x_2-\mu_2)^2}{\sigma_2^2}\right)},$$

где ρ – коэффициент корреляции случайных величин;

(x_1, x_2) – независимые случайные координаты;

σ_1 и σ_2 – среднеквадратические отклонения;

μ_1 и μ_2 – центры рассеяния (математические ожидания).

Мультимодальное двумерное распределение для независимых случайных величин может быть получено, как:

$$f_M(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^K n_i f(x_1, x_2, \mu_{1i}, \mu_{2i}, \sigma_{1i}, \sigma_{2i}, \rho_i), \quad 0 \leq n_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^K n_i = 1,$$

где K – количество мод распределения.

Для разработки математической модели сети задается ограниченная область обслуживания (200x200 м). Используя алгоритм имитационного моделирования (см. рис. 3), получаем аналитическую модель БСС (рис. 5) для 4-х модального распределения.

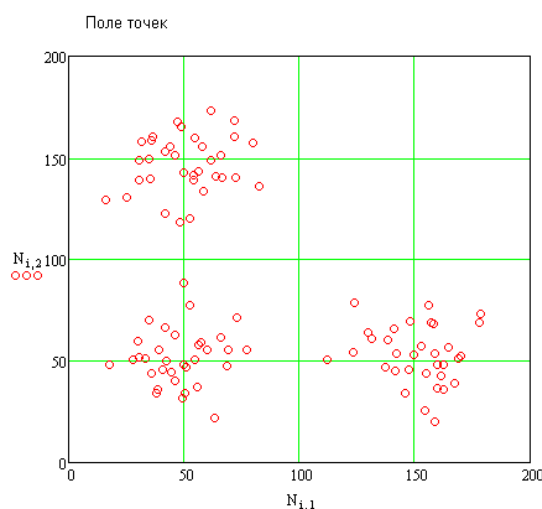


Рисунок 5. Графическое представление 4-х модального распределения

По результатам исследований [9] получаем, что сеть является связной, т. к. между всеми вершинами графа, которым она описана, есть связи. По результатам имитационного моделирования доказано, что полученная плотность вероятности для 4-х модального распределения узлов соответствует плотности вероятности распределения узлов реальной сети.

Таким образом, варьируя количество мод, значения дисперсий по каждой из координат и коэффициентов корреляции для каждой из мод распределения, можно получить разнообразные формы распределения узлов сети, которые могут быть использованы для адекватной оценки связности реальной сети при планировании и проектировании БСС. Однако, говоря о планировании и проектировании БСС важно помнить, что основная задача сети не просто возможность предоставления услуги, а обеспечение требуемого качества обслуживания при ее предоставлении. В качестве параметра качества обслуживания БСС можно определить время доставки сообщений.

В общем случае, маршрут передачи данных может быть представлен как многофазная система массового обслуживания (СМО). При этом каждая из фаз обслуживания представляет собой участок маршрута. Таким образом, число фаз СМО равно числу скачков в маршруте, а каждая из фаз представляет собой СМО вида $G/G/1/k$ (рис. 6).

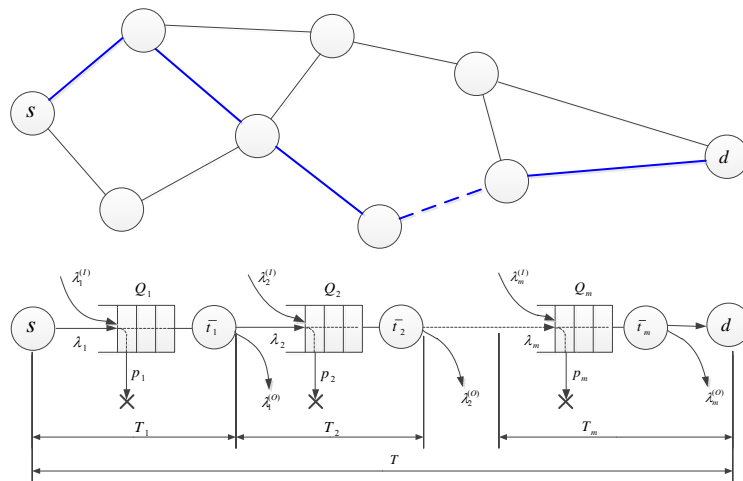


Рисунок 6. Модель маршрута как многофазной СМО

Время доставки сообщения между источником и получателем зависит от параметров фаз обслуживания и их количества. Количество фаз обслуживания определяется числом транзитов в маршруте. Время доставки пакета от источника до шлюза будет определяться, как сумма времени доставки на каждой из фаз обслуживания:

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^m \bar{W}_i + \bar{W}_g + (m + 1)\bar{t}.$$

На рисунке 7 приведен график зависимости времени доставки пакета от сенсорного узла до шлюза. На графике приведены теоретические результаты и результаты имитационного моделирования для двух видов распределения координат узлов по территории: равномерного и нормального. В обоих случаях выбраны одинаковые значения дисперсии координат узлов [10].

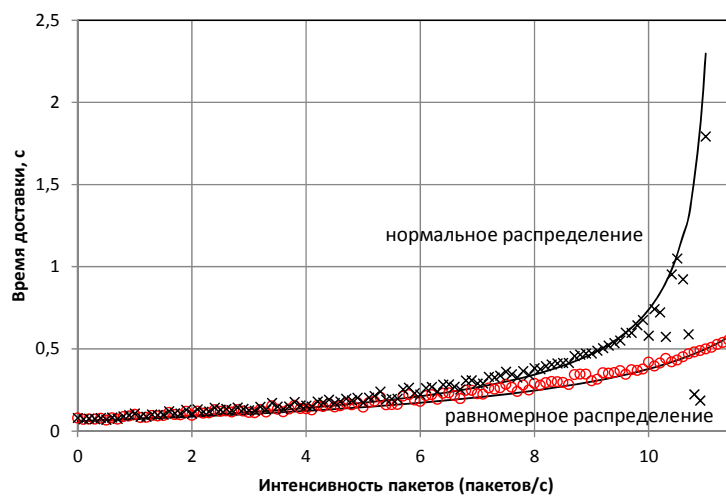


Рисунок 7. Зависимость задержки доставки от интенсивности трафика для равномерного и нормального распределений координат узлов (средняя длина – число транзитов 3)

Сравнительный анализ результатов для различных видов распределения координат узлов показал, что в случае нормального распределения, при относительно высоких значениях нагрузки, имеет место большая задержка доставки пакета. Это является следствием большей нагрузки на последних участках маршрута и в наибольшей степени проявляется на уровне шлюза.

Большая по сравнению с равномерным распределением координат интенсивность нагрузки объясняется неравномерной плотностью узлов в случае нормального распределения координат, которая имеет наибольшее значение в центре зоны обслуживания, т. е. в точке размещения шлюза.

Таким образом, использование модели многофазной СМО при адекватном выборе ее параметров, позволяет с достаточной для практических целей точностью оценить время доставки данных маршрутом в БСС с достаточно большим числом узлов. Основной проблемой при проектировании БСС является отсутствие возможности для расчета заданных параметров функционирования в зависимости от практического назначения сети.

Список используемых источников

1. Бузюков Л.Б., Окунева Д.В., Парамонов А.И. Анализ связности самоорганизующейся беспроводной сети при различном распределении узлов по территории // Электросвязь. 2016. № 9. С. 58–62.
2. Бузюков Л.Б., Окунева Д.В., Парамонов А.И. Исследование характеристик самоорганизующейся беспроводной сети при различных способах размещения узлов // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 1. С. 28–32.
3. Koucheryavy A., Nurilloev I., Paramonov A. Connectivity Estimation in Wireless Sensor Networks // NEW2AN. 2016. С. 269–277.
4. Окунева Д.В. Исследование беспроводной сенсорной сети с мультимодальным распределением узлов на плоскости // Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики». Серия «Естественные и технические науки». 2017. № 01. С. 9–13.
5. Окунева Д.В., Прошутинский К.В. Повышение эффективности балансировки трафика в сети на основе оценки концентрации внимания пользователя // Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN-2016). С. 363–370.
6. Grishin I., Kirichek R., Okuneva D., Falin M. Development of a node-positioning algorithm for wireless sensor networks in 3D Space // 18th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). 2016. С. 279–282.
7. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб.: Наука, 2001. 293 с.
8. Buziukov L., Okuneva D. Impact of node placement on the connectivity of wireless Ad Hoc networks // Proceedings of the FRUCT'19. 2016. PP. 365–369.
9. Бузюков Л.Б., Окунева Д.В., Парамонов А.И. Анализ временных параметров обслуживания трафика беспроводной самоорганизующейся сети // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 10. С. 66–75.
10. Бузюков Л.Б., Окунева Д.В. Анализ влияния алгоритмов выбора головного узла на параметры функционирования БСС при различном распределении узлов по территории // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 3. № 4. С. 40–48.