

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С МУЛЬТИМОДАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ УЗЛОВ НА ПЛОСКОСТИ

RESEARCH OF THE WIRELESS SENSOR NETWORK WITH MULTIMODAL DISTRIBUTION NODES ON THE PLANE

D. Okuneva

Summary. In this paper I present the results of simulation of a wireless sensor network using multi-modal model of the normal distribution of nodes on the plane. Also it shows the results of the analysis of lengths of routes, depending on the distribution parameters. The studies revealed that the distribution of the lengths of the routes depends on the parameters of the distribution nodes on the territory and may also have a multi-modal character under certain conditions.

Keywords: wireless self-organizing network, multi-modal distribution, mixture of distributions, dispersion, mode, length of route

Окунева Дарина Владимировна

Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
г. Санкт-Петербург
darina_okuneva@mail.ru

Аннотация. В данной работе приведены результаты имитационного моделирования беспроводной сенсорной сети с использованием модели мультимодального нормального распределения узлов на плоскости. Приводятся результаты анализа длин маршрутов, в зависимости от параметров распределения. В результате проведенных исследований выявлено, что распределение длин маршрутов зависит от параметров распределения узлов по территории и при определенных условиях также может иметь мультимодальный характер.

Ключевые слова: беспроводная самоорганизующаяся сеть, мультимодальное распределение, смесь распределений, дисперсия, мода, длина маршрута.

1. Введение

Современный этап развития общества можно охарактеризовать появлением «трендов». Понятие тренда популяризировано во всех областях жизни: в политике, экономике, моде, питании и, конечно же, в сетях связи. Тренд сетей связи — это концепция Интернета Вещей [1] (в данном случае под термином «тренд» понимается «актуальное направление, развитие»).

Основная задача Интернета Вещей — это создание единой сети, включающей в себя объекты информационного (виртуального) и физического (реального) миров, которая будет обеспечивать взаимодействие объектов между собой. Поэтому, прогнозируя дальнейшее развитие сетей связи, речь идет о десятках триллионов сетевых устройств.[2]

Реализация концепции Интернета вещей выражается в проникновении телекоммуникационных технологий во все сферы деятельности человека.

В настоящее время это выражается в расширении области применения беспроводных сенсорных сетей. [1]

Беспроводные сенсорные сети (БСС) представляют собой самоорганизующиеся сети, состоящие из множества беспроводных сенсорных узлов, распределенных в пространстве и предназначенных для мониторинга и управления характеристиками окружающей среды или объектами, расположенными в ней. [3]

Существуют различные технологии, применяемые на физическом, канальном и сетевом уровнях, которые позволяют реализовывать сети различного масштаба и управлять их конфигурацией. [4]

Структура таких сетей в значительной степени зависит от их целевого назначения и окружающей инфраструктуры. Техническая реализация элементов сети, как правило, такова, что узел сети совмещен с некоторым сенсорным или исполнительным устройством и должен устанавливаться в точке, где требуется съем информации или реализация команд управления. Таким образом, структура сети будет привязана к структуре объекта мониторинга или управления [5].

Наиболее важными характеристиками сети являются связность и время доставки сообщений. Связность сети и длины маршрутов в ней также зависят от количества узлов [6], и их взаимного расположения.

В работах [7] и [8] приведены зависимости этих параметров для случаев равномерного и нормального распределений узлов по обслуживаемой территории.

Как уже отмечалось, в практических задачах узлы сети привязаны к окружающей инфраструктуре, поэтому их распределение по территории может отличаться от рассмотренных случаев. Как правило, инфраструктура, к которой «привязана» сеть имеет некоторое количество объектов мониторинга. Поэтому, реальное распределение не всегда может быть

описано равномерным или нормальным (унимодальным) законами.

В качестве примера такой инфраструктуры можно рассмотреть здания городской застройки (рис. 1). Узлы сети размещаются преимущественно внутри зданий, там их плотность достаточно высока, вне зданий плотность узлов значительно меньше.

2. Мультимодальное распределение узлов БСС

Распределение узлов в реальной сети может быть неравномерным, сеть может иметь различное число областей с различной плотностью узлов. Форма и размеры этих областей могут быть различны. Для построения модели сети необходимо описать распределение узлов по обслуживаемой территории таким образом, чтобы учесть основные особенности реальной сети.

Сделаем ряд допущений. Будем полагать, что инфраструктура, которую обслуживает сеть, имеет конечное количество объектов. Эти объекты могут иметь произвольные координаты в рамках области обслуживания. Узлы сети могут быть неравномерно распределены в рамках каждого из обслуживаемых объектов. Обслуживаемые объекты могут иметь различную форму.

Для описания подобной структуры на плоскости может быть использовано мультимодальное распределение вероятности, распределение с несколькими модами или, что тоже самое, с несколькими относительными максимумами, соответствующими этим модам. [9].

Известные математические модели распределений вероятности имеют две моды (распределение Коши, арксинуса, бета распределение) и могут быть использованы лишь для ограниченного числа случаев.

В отличие от унимодальных распределений, для мультимодального распределения наиболее приемлемым вариантом является использование смеси распределений:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \xi_i p_i(x), \tag{1}$$

где

$p_i(x)$ — плотность вероятности;

$$0 \leq \xi_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n \xi_i = 1$$

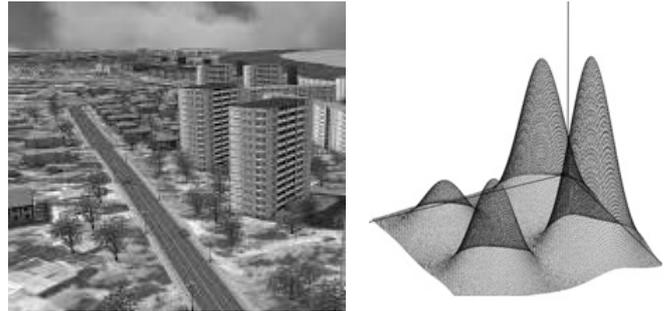


Рис 1. Пример распределения сенсорных узлов для городской инфраструктуры.

— независимые случайные величины, имеющие стандартное гауссовское (нормальное) распределение.

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 $f(x_1, x_2)$. [10]

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

где ρ — коэффициент корреляции случайных величин, (x_1, x_2) — независимые случайные координаты, σ_1, σ_2 — среднеквадратические отклонения, μ_1, μ_2 — центры рассеяния (математические ожидания).

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

$$f_M(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^K \eta_i f(x_1, x_2, \mu_{1i}, \mu_{2i}, \sigma_{1i}, \sigma_{2i}, \rho_i), \tag{3}$$

где $0 \leq \eta_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^K \eta_i = 1, K$ — количество мод распределения.

Количество мод, значения дисперсий по каждой из координат и коэффициентов корреляции для каждой из мод распределения позволяют получить разнообразные формы распределения, которые могут быть использованы для моделирования реальной сети (рис. 2).

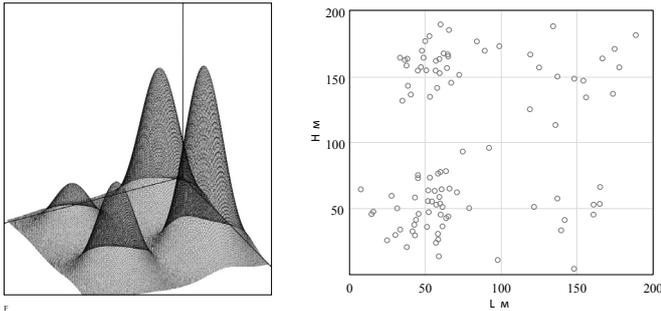


Рис.2.Плотность вероятности мультимодального (4-хмодального) распределения и соответствующее распределение узлов в области 200x200 м

3. Исследование зависимости длины маршрутов от мультимодального распределения узлов

Длина маршрута в сети влияет на качество обслуживания трафика, а именно на время доставки сообщений (пакетов) [8].

Средняя длина маршрута в сети, а также распределение длины маршрута позволяют характеризовать потенциальные возможности рассматриваемой структуры в части обеспечения качества обслуживания трафика. Разумеется, что средняя длина маршрута и ее распределение будет зависеть от конкретного вида мультимодального распределения и ограничений на выбор конечных узлов маршрута. В данной работе будем полагать, что конечными точками маршрута могут быть любые узлы сети связи.

Для исследования длин маршрутов используем имитационную модель, реализованную в Mathcad. Общий алгоритм моделирования приведен на рис. 3.

При моделировании используется ограниченная область обслуживания (200x200 м), вводятся величины n — количество узлов, R — радиус узла, K — количество мод распределения, α — центры рассеяния (мат.ожидание), σ — среднеквадратическое отклонение, ρ — коэффициент корреляции; с помощью генератора случайных чисел генерируются случайные координаты 100 узлов согласно выбранной модели мультимодального распределения.

В модели задан радиус связи узла сети R , который равен 50 м. Согласно полученному множеству координат вычисляются расстояния между узлами. С помощью алгоритма Флойда [11], производится поиск всех кратчайших путей между узлами сети. Затем по найденным кратчайшим путям строится распре-



Рис. 3. Алгоритм имитационного моделирования

деление длин маршрутов (в количестве транзитов — скачков).

На рис. 4 приведено полученное в результате имитационного моделирования распределение длин маршрутов для 4-х модального распределения узлов.

На рис. 5 приведены результаты имитационного моделирования для 4-х модального распределения с координатами центров рассеяния равными (50;50), (50; 150), (150; 50), (150; 150). Среднеквадратические отклонения для всех мод одинаковы и равны 30 м.

Исходя из полученных результатов, можно предположить, что распределение длин маршрутов, в данном случае, близко к биномиальному распределению или распределению Пуассона.

На рис. 6 приведены результаты имитационного моделирования, полученного для тех же условий, за исключением того, что среднеквадратическое отклонение для всех мод равно 8 м.

Как видно из результатов моделирования, внешний вид данного распределения отличается от полученных ранее.

Для данного частного случая можно сделать следующие пояснения: разделив множество узлов на кла-

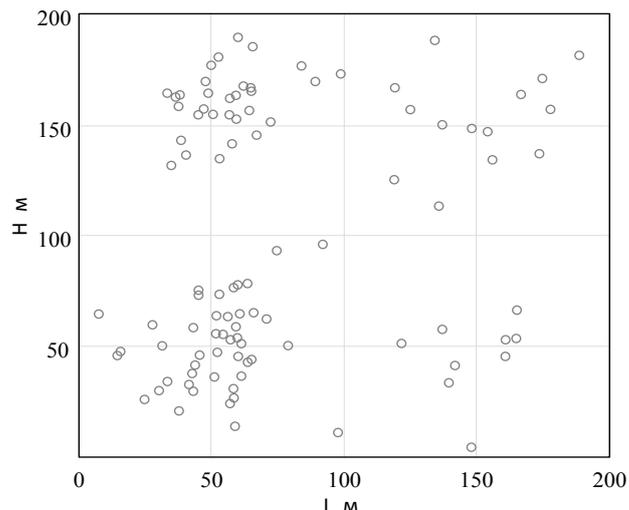
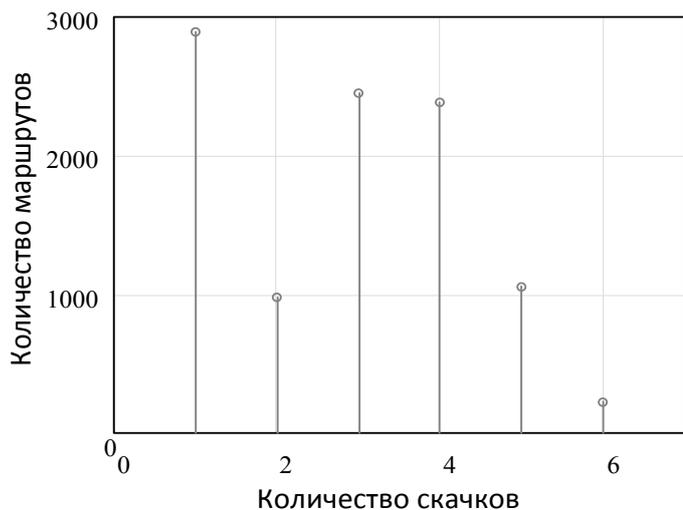


Рис. 4. Распределение длин маршрутов для мультимодального (4-х модального распределения узлов)

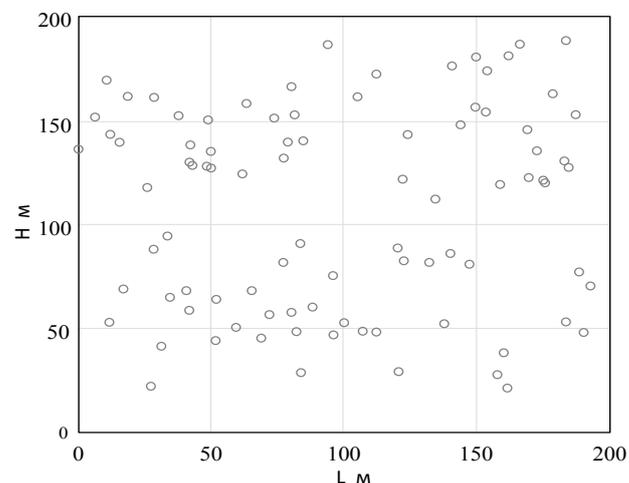
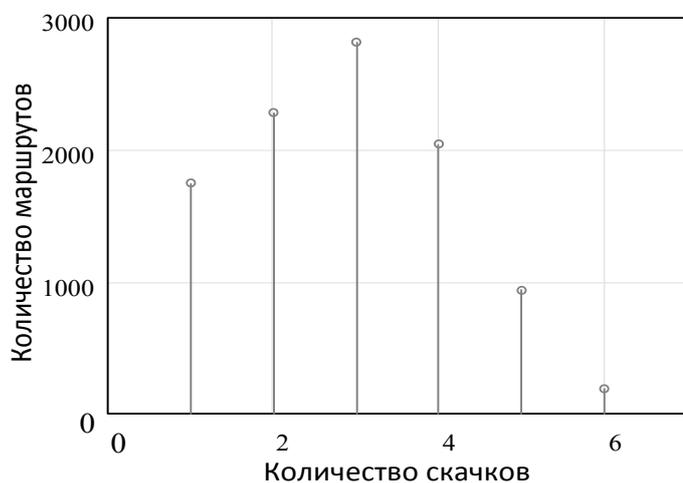


Рис.5. Распределение длин маршрутов для мультимодального (4-х модального распределения узлов) со среднеквадратическим отклонением всех мод равным 30 м.

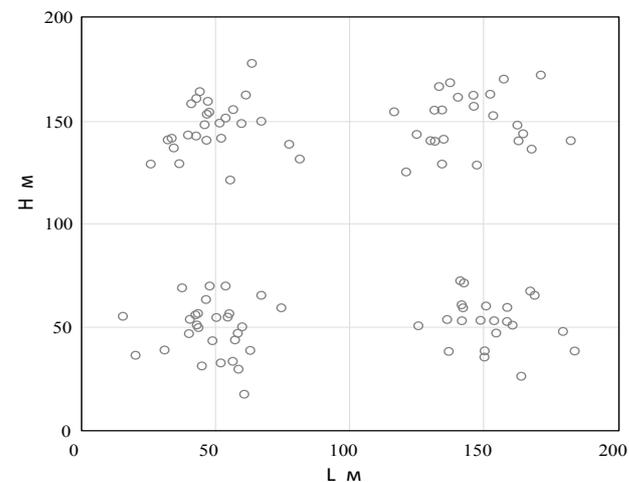
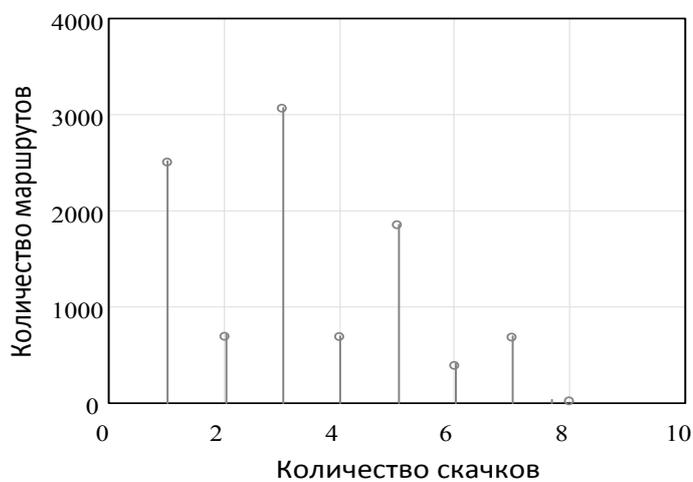


Рис. 6. Распределение длин маршрутов для мультимодального (4-х модального распределения узлов) со среднеквадратическим отклонением всех мод равным 8 м.

стеры, в соответствии с модами распределения можно заметить, что маршруты между узлами внутри каждого из кластеров состоят из одного скачка. Маршруты между соседними кластерами могут проходить через узлы своих кластеров, а также двух соседних кластеров. В зависимости от радиуса связи узла R_i дисперсии распределения узлов, изменяется вероятность связности узлов отдельных кластеров.

Заключение

В данной статье были исследованы и проанализированы модели БСС с мультимодальным распределением узлов на плоскости. При проведении имитационного моделирования были получены следующие результаты:

1. при относительно больших значениях дисперсии ($\approx 2500 \text{ м}^2$) характер распределения узлов близок к равномерному закону, а распределение длин маршрутов близко к биномиальному распределению;

2. при средних значениях дисперсии ($\approx 1000 \text{ м}^2$), которые обеспечивают связность узлов различных кластеров, распределение длин маршрутов имеет мультимодальный характер, а число мод равно числу мод распределения узлов по территории;

3. при относительно малых значениях дисперсии ($\approx 100 \text{ м}^2$) количество мод распределения длин маршрутов уменьшается из-за уменьшения вероятности связности;

4. при заданных значениях среднеквадратического отклонения (8 м), распределение также является мультимодальным, причем количество мод определяется количеством связных кластеров, т.е. зависит от дисперсии распределения узлов по территории;

5. представленная модель сети позволяет определять параметры качества обслуживания для реальной сети с учетом распределения длин маршрутов при мультимодальном распределении пользователей в области обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А.. Самоорганизующиеся сети. СПб, «Любавич», 2011–311 с.
2. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост — NGN. БХВ, С.-Петербург, 2013–160 с.
3. Росляков А. В., Ваняшин С. В., Гребешков А. Ю., Самсонов М. Ю. Интернет Вещей. Самара: ПГУТИ, ООО «Издательство Ас Гард», 2014–340 с.
4. Окунева Д. В. Анализ связности беспроводной самоорганизующейся сети при различном распределении узлов по территории / Окунева Д. В., Бузюков Л. Б., Парамонов А. И. // Электросвязь. 2016. № 9. с. 58–62.
5. Окунева Д. В. Исследование характеристик самоорганизующейся беспроводной сети при различных способах размещения узлов / Бузюков Л. Б., Окунева Д. В., Парамонов А. И. // Труды учебных заведений связи. 2016. Т. 2. № 1. с. 28–32.
6. Nurilloev I. Connectivity Estimation In Wireless Sensor Networks / Nurilloev I., Paramonov A., Koucheryavy A. // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Т. 9870. с. 269–277.
7. Окунева Д. В. Анализ временных параметров обслуживания трафика беспроводной самоорганизующейся сети / Бузюков Л. Б., Окунева Д. В., Парамонов А. И. // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10. № 10. с. 66–75.
8. Dao N. Analysis Of Routes In The Network Based On A Swarm Of UAVS / Dao N., Koucheryavy A., Paramonov A. // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2016. Т. 376. с. 1261–1271.
9. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб. «Наука» — 2001. — 293 с.
10. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Вентцель, Е.С. М.: Наука, 1969. — 576 с.
11. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход / Н. Кристофидес. М.: Мир. 1978. — 430 с.

© Окунева Дарина Владимировна (darina_okuneva@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»