

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра системного анализа и автоматического управления

**МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНОЙ СЕНСОРНОЙ СЕТИ С
КЛАСТЕРНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ ОТКРЫТОЙ СЕТЬЮ МАССОВОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 271 группы
направления 09.04.01 — Информатика и вычислительная техника
факультета КНиИТ
Фролова Александра Владиславовича

Научный руководитель
доцент, к. ф.-м. н.

Е. С. Рогачко

Заведующий кафедрой
доцент, к. ф.-м. н.

И. Е. Тананко

Саратов 2020

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В конце XX века на смену проводным сетям пришли беспроводные технологии, а начало XXI века ознаменовалось стремительным развитием Интернета вещей – технологии, которая подразумевает объединение физических и информационных объектов в одну сеть. В связи с этим, в прогнозах дальнейшего развития сетей связи общего пользования речь идет о десятках триллионов сетевых устройств.

Одной из основных технологий Интернета вещей являются беспроводные сенсорные сети (БСС). БСС представляют собой самоорганизующиеся сети, состоящие из множества беспроводных сенсорных узлов, распределенных в пространстве и предназначенных для мониторинга и управления характеристиками окружающей среды. Внедрение БСС дает множество преимуществ (например, контроль в реальном времени). Однако БСС имеют ряд проблем. Вследствие ограниченности ресурсов наиболее остро стоят проблемы энергоэффективности и электробезопасности БСС.

В настоящее время для решения проблем БСС, а также расчета и оценки их характеристик часто используют математическое и имитационное моделирование, а также теорию массового обслуживания.

Цель магистерской работы – моделирование БСС с кластерной архитектурой открытой сетью массового обслуживания.

Поставленная цель определила **следующие задачи:**

1. Изучить беспроводные сенсорные сети: основы их функционирования, типовые архитектуры и методы маршрутизации.
2. Изучить основы теории массового обслуживания и ее применение в беспроводных сенсорных сетях.
3. Исследовать сеть, приближенную к реально существующей беспроводной сенсорной сети с кластерной архитектурой.
4. Описать математическую модель беспроводной сенсорной сети с кластерной архитектурой в виде открытой сети массового обслуживания.

5. Разработать метод анализа для описанной сети.
6. Разработать программу, реализующую метод анализа.
7. Провести вычислительные эксперименты с использованием программы.
8. Изучить основы технологии и программные средства имитационного моделирования беспроводных сенсорных сетей.
9. Среди рассмотренных систем имитационного моделирования выбрать наиболее подходящую для данной работы.
10. Произвести имитационное моделирование сенсорных сетей в выбранной системе имитационного моделирования.
11. Сопоставить результаты имитационного моделирования с результатами аналитического расчета.

Методологические основы магистерской работы представлены в работах [1-4]. В работах [5-8] описывается применение теории массового обслуживания для решения различных задач из области исследования и проектирования БСС.

Теоретическая и практическая значимость магистерской работы. В магистерской работе была предложена математическая модель БСС с кластерной архитектурой в виде открытой сети массового обслуживания. Была написана программа, реализующая метод анализа сети массового обслуживания. Программа может использоваться для вычисления характеристик модели, соответствующих основным характеристикам производительности БСС с кластерной архитектурой.

Структура и объем работы. Магистерская работа состоит из введения, списка обозначений и сокращений, пяти разделов, заключения, списка использованных источников и двух приложений. Общий объем работы – 69 страниц, из них 50 страниц – основное содержание, включая 5 рисунков, 8 таблиц и список использованных источников информации из 27 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе «Основы беспроводных сенсорных сетей» приводятся основные понятия из теории БСС. В подразделе 1.1 рассмотрены преимущества, области применения и проблемы БСС [1]. В подразделе 1.2 описаны типовые архитектуры БСС, методы маршрутизации в них, а также стандарт ZigBee [2, 3].

Во втором разделе «Основы теории массового обслуживания» рассматриваются основы теории массового обслуживания и ее применение для исследования БСС. В подразделе 2.1 рассмотрены системы массового обслуживания, схема их работы, параметры, характеристики и классификация [4]. В подразделе 2.2 описывается применение теории массового обслуживания для решения таких задач из области исследования и проектирования БСС, как:

1. Распределение ресурсов [5].
2. Управление перегрузками [6].
3. Управление энергопотреблением [7].
4. Оценка производительности и надежности [8].

В третьем разделе «Математическая модель беспроводной сенсорной сети с кластерной архитектурой» описывается моделирование БСС с кластерной архитектурой сетью массового обслуживания, предлагаются метод анализа таких моделей и реализация данного метода в виде программы.

В подразделе 3.1 рассматривается математическая модель БСС с кластерной архитектурой в виде открытой сети массового обслуживания N с одним классом требований и L одноприборными системами массового обслуживания типа $GI/GI/1 S_i, i = 1...L$. Источник требований, откуда требования поступают в сеть N и куда они уходят после завершения обслуживания в сети, обозначается S_0 .

Сеть массового обслуживания N имеет следующие параметры:

$\lambda_{0i}, i = 1...L$, – интенсивность входящего потока требований в систему S_i извне сети.

$ca_{0i}, i = 1...L$, – квадрат коэффициента вариации длительности интервала времени между требованиями, поступающими в систему S_i извне сети.

Λ_0 – интенсивность суммарного потока требований, поступающего в сеть массового обслуживания.

$\mu_i, i = 1...L$, – интенсивность обслуживания требований обслуживающим прибором в системе S_i .

$cv_i, i = 1...L$, – квадрат коэффициента вариации длительности обслуживания требований в системе S_i .

$\Theta = (\theta_{ij}), i, j = 0...L$, – маршрутная матрица сети N .

Каждая система массового обслуживания типа $GI/GI/1$ $S_i, i = 1...L$, характеризуется следующим набором параметров:

$\lambda_i, i = 1...L$, – интенсивность входящего потока требований в систему S_i .

$ca_i, i = 1...L$, – квадрат коэффициента вариации длительности интервала времени между требованиями, поступающими в систему S_i .

$\psi_i, i = 1...L$, – коэффициент использования системы S_i .

$\lambda_{ij}, i, j = 1...L$, – интенсивность потока требований из системы S_i в систему S_j .

$ca_{ij}, i, j = 1...L$, – квадрат коэффициента вариации длительности интервала времени между требованиями, поступающими из системы S_i в систему S_j .

Для вычисления стационарных характеристик сети массового обслуживания N был применен приближенный метод анализа, состоящий из трех последовательно реализуемых этапов [9]:

Этап 1. Определение для каждой системы S_i параметров входящего потока. Значения $\lambda_i, i = 1...L$, находятся как решение системы L линейных алгебраических уравнений:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} + \sum_{j=1}^L \lambda_j \theta_{ji}.$$

После этого значения ca_i , $i = 1 \dots L$, находятся как решение системы $L^2 + L$ линейных алгебраических уравнений:

$$ca_i = y_i \left(\frac{\lambda_{0i}}{\lambda_i} ca_{0i} + \sum_{j=1}^L \frac{\lambda_{ji}}{\lambda_i} ca_{ji} \right) + 1 - y_i,$$

$$y_i = \frac{1}{1 + 4(1 - \psi_i)^2 (z_i - 1)},$$

$$z_i = \frac{\lambda_i^2}{\sum_{j=0}^L \lambda_{ji}^2},$$

$$ca_{ij} = \theta_{ij} (\psi_i^2 cv_i + (1 - \psi_i^2) ca_i) + 1 - \theta_{ij}.$$

Этап 2. Вычисление стационарных характеристик каждой системы S_i :

$$w_i = \frac{\psi_i g_i (ca_i + cv_i)}{2\mu_i (1 - \psi_i)},$$

$$g_i = \left\{ \begin{array}{l} \exp\left(\frac{-2(1-\psi_i)(1-ca_i)^2}{3\psi_i(ca_i+cv_i)}\right), ca_i < 1 \\ 1, ca_i \geq 1 \end{array} \right\},$$

$$u_i = w_i + \frac{1}{\mu_i},$$

$$b_i = \lambda_i w_i,$$

$$s_i = \lambda_i u_i,$$

где:

w_i , $i = 1 \dots L$, – математическое ожидание длительности пребывания требований в очереди системы S_i ;

u_i , $i = 1 \dots L$, – математическое ожидание длительности пребывания требований в системе S_i ;

b_i , $i = 1 \dots L$, – математическое ожидание числа требований в очереди системы S_i ;

s_i , $i = 1 \dots L$, – математическое ожидание числа требований в системе S_i .

Этап 3. Вычисление стационарных характеристик сети N :

$$\Lambda = \sum_{i=1}^L \lambda_i,$$

$$s = \sum_{i=1}^L s_i,$$

$$\tau = \frac{s}{\Lambda_0},$$

где:

A – пропускная способность сети N ;

τ – математическое ожидание длительности пребывания требований в сети N ;

s – математическое ожидание числа требований в сети N .

В подразделе 3.2 описывается программная реализация метода анализа из предыдущего подраздела. Программа написана на языке Java. Приводятся полученные с помощью программы результаты вычислений со взятой для примера БСС типа ZigBee.

В четвертом разделе «Имитационная модель беспроводной сенсорной сети с кластерной архитектурой» описана технология имитационного моделирования БСС [10]. В подразделе 4.1 проводится обзор существующих программных средств имитационного моделирования БСС.

В подразделе 4.2 обосновывается выбор системы OMNET++ для имитационного моделирования БСС, рассматриваемых в магистерской работе, и описывается процесс имитационного моделирования на примере БСС из подраздела 3.2 с помощью системы OMNET++. Результаты имитационного моделирования были сопоставлены с результатами вычислений из подраздела 3.2. Максимальная погрешность результатов составила 2,47 процента, что свидетельствует о том, что использованный приближенный метод анализа сетей массового обслуживания позволяет рассчитать характеристики БСС с высокой точностью.

В пятом разделе «Исследование беспроводной сенсорной сети автоматизированного мониторинга состояния парка» описывается БСС автоматизированного мониторинга состояния парка [11]. В подразделе 5.1 исследован физический уровень данной сети – устройства, выступающие в роли сенсорных узлов – и протоколы взаимодействия и методы маршрутизации трафика между сенсорными узлами.

В подразделе 5.2 проведено математическое моделирование БСС автоматизированного мониторинга состояния парка открытой сетью массового обслуживания. Вычислены основные характеристики производительности БСС. Также проведено имитационное моделирование БСС автоматизированного мониторинга состояния парка с помощью системы OMNET++. Результаты аналитического расчета и имитационного моделирования подтвердили адекватность использованной математической модели и возможность ее применения для анализа реальных БСС с кластерной архитектурой, аналогичных рассмотренной сети.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской работе рассмотрены типовые архитектуры БСС и сделан обзор методов маршрутизации в них. Были изучены основы теории массового обслуживания и ее применение в исследовании беспроводных сенсорных сетей.

Были рассмотрены беспроводные сенсорные сети типа ZigBee с кластерной архитектурой и их моделирование открытой сетью массового обслуживания. Был описан метод анализа, позволяющий вычислить характеристики такой сети.

Беспроводная сенсорная сеть типа ZigBee была смоделирована открытой сетью массового обслуживания, состоящей из одноприборных систем массового обслуживания типа GI/GI/1. Была разработана программа, реализующая метод анализа математической модели беспроводной сенсорной сети.

Были изучены основы технологии имитационного моделирования беспроводных сенсорных сетей на основе дискретных событий. Также был изучен процесс моделирования сетей с помощью системы OMNET++.

Была рассмотрена беспроводная сенсорная сеть автоматизированного мониторинга состояния парка. Было проведено математическое и имитационное моделирование этой сети.

Как показало сравнение результатов аналитического расчета и имитационного моделирования, проведенное как для абстрактной беспроводной сенсорной сети небольшой размерности, так и для реальной сети автоматизированного мониторинга состояния парка, сети массового обслуживания соответствующего класса, рассмотренные в данной работе в качестве математической модели беспроводных сенсорных сетей, позволяют моделировать беспроводные сенсорные сети с кластерной архитектурой с большой точностью.

Отдельные части магистерской работы были представлены на конференциях и опубликованы:

1 Фролов, А. В. Modeling of the system of industrial monitoring by the queuing system // Presenting Academic Achievements to the World. Natural Science: материалы IX научной конференции молодых ученых, Саратов, 10-11 апреля 2018 г. – Саратов: Изд-во «Саратовский источник». 2019. С. 33-37.

2 Фролов, А. В. Особенности использования системы имитационного моделирования OMNeT++ при изучении беспроводных сенсорных сетей с кластерной архитектурой // Информационные технологии в образовании: материалы X Всеросс. науч.-практ. конф., Саратов, 1-2 ноября 2018 г. – Саратов: ООО Издат. центр «Наука». 2018. С. 392-395.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Росляков, А. В. Интернет вещей: учебное пособие [текст] / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, А. Ю. Гребешков // Самара: ПГУТИ. 2015. 136 с.

2 Махров С. С. Протоколы маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях: иерархические, основанные на мобильности,

мультиориентированные и основанные на гетерогенности / С. С. Махров // T-Communication. 2013. №5. С. 39-42.

3 Бершадский, А. М. Обзор методов маршрутизации в беспроводных сенсорных сетях / А. М. Бершадский, Л. С. Курилов, А. Г. Финогеев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 1 (21). С. 47-57.

4 Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок // М.: Машиностроение, 1979. 432 с.

5 Lall, S. The Role of Queuing Theory in the Design and Analysis of Wireless Sensor Networks: An Insight / S. Lall, A. S. Alfa, B. T. Maharaj // Industrial Informatics (INDIN), 2016 IEEE 14th International Conference. 2016. P. 1191-1194.

6 Park, J. Congestion Aware Geographic Routing Protocol for Wireless Ad Hoc and Sensor Networks / J. Park // Wireless Personal Communications. 2014. Vol. 78. № 4. P. 1905-1916.

7 Kabiri, C. On Power Consumption of Wireless Sensor Nodes with Min Policy in Spectrum Sharing Systems / C. Kabiri, H. Zepernick, H. Tran // IEEE Vehicular Technology Conference. 2014. P. 1-5.

8 Zhang, B. Queuing modeling for delay analysis in mission oriented sensor networks under the protocol interference model / B. Zhang, W. Cheng, L. Sun, X. Cheng, T. Znati, M. A. A. Al-Dhelaan // International Workshop on Mission-oriented wireless sensor networking. 2013. P. 11-20.

9 Whitt W. The queuing network analyzer // Bell Systems Technical Journal. 1983. Vol. 62. № 9. P. 2779-2815.

10 Борисенко, А. С. Адекватность моделей беспроводных сенсорных сетей в средах имитационного моделирования / А. С. Борисенко, П. В. Галкин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – С. 52-55.

11 Thales blog [Электронный ресурс]. URL: <http://dis-blog.thalesgroup.com/iot/> (дата обращения: 29.04.2020).