

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
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЖИЛОГО ПОМЕЩЕНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 2 курса 271 группы
направления 09.04.01 Информатика и вычислительная техника
факультета компьютерных наук и информационных технологий

Куанышевой Виктории Александровны

Научный руководитель

доцент, к. ф.-м. н.

Е. П. Станкевич

Зав. кафедрой

к. ф.-м. н., доцент

И. Е. Тананко

Саратов 2022

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В настоящее время беспроводные технологии занимают важное место в информационном обществе. По справедливому замечанию экспертов в области компьютерных технологий, инженеров и исследователей, беспроводные сенсорные сети как единое целое являются важной технологией для двадцать первого века. Следовательно, новейшие технологии беспроводной связи и прогресс в области производства микросхем требуют дальнейших практических разработок и внедрения нового класса распределенных коммуникационных систем – сенсорных сетей – в разные сферы жизни и деятельности [1]. Иными словами, расширение областей их применения стимулирует рост потребностей в построении новых беспроводных систем.

Многие проектировщики сенсорных сетей обращают внимание на тот факт, что при создании системы «Умный дом» рано или поздно придется решать проблему обеспечения устойчивой, надежной и, главное, недорогой связи между всеми устройствами указанной системы. Для решения данной проблемы необходимо использовать беспроводную связь. Однако использование беспроводной сенсорной сети имеет свои особенности, которые важно учитывать при проектировании системы.

Кроме того, существуют сложности в создании оптимальной математической модели беспроводной сенсорной сети, которые связаны, прежде всего, с тем, что такая модель должна быть, с одной стороны, упрощенной, а с другой, полноценной. Простота позволит проводить моделирование и вывод теоретических результатов, а полноценность необходима для того, чтобы такая модель могла быть применена на практике.

Таким образом, математическое моделирование БСС является важным и значимым направлением исследования, что подтверждает актуальность, теоретическую и практическую значимость настоящей работы.

Целью данной работы является математическое моделирование беспроводной сенсорной сети системы автоматизации жилого помещения.

Данная цель включает в себя следующие **задачи**:

- подобрать, изучить и проанализировать специальную литературу по теме исследования;
- изучить основы теории массового обслуживания (далее ТМО) и ее применение для исследования беспроводных сенсорных сетей;
- провести обзор моделей массового обслуживания, применяемых для анализа беспроводных сенсорных сетей;
- построить математическую модель беспроводной сенсорной сети системы автоматизации жилого помещения с использованием результатов теории сетей массового обслуживания;
- разработать алгоритм метода анализа модели беспроводной сети;
- выполнить программную реализацию алгоритма;
- провести численные эксперименты для модели беспроводной сенсорной сети системы автоматизации жилого помещения с использованием разработанной программы.

Практическая ценность настоящей работы дает основу для изучения непрерывно развивающихся в настоящее время класса сетей. Предложенные математическая модель и метод ее анализа могут применяться при изучении дисциплин «Модели и методы теории массового обслуживания» и «Моделирование телекоммуникационных систем и компьютерных сетей».

Методологические основы моделирования беспроводной сенсорной сети автоматизации жилого помещения представлены в работах М.В. Сергиевского, Н.С. Мальцевой, И.М. Смурыгина, И.Ю. Петровой, V. Shahin, M. Cheriet, J. Rajkumar, G. Bolch.

Структура и объем работы. Магистерская работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем работы – 67 страниц, из них 46 страниц – основное содержание, включая 13 рисунков и 1 таблицу, 16 страниц приложения, список использованных источников – 39 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В подразделе 1.1. первого раздела **«Теоретические основы моделирования систем массового обслуживания»** приводится обзор публикаций по теме исследования. В большей части проанализированных работ, посвященных данной теме, значительное внимание уделяется концепции БСС, структуре и архитектуре построения сенсорных сетей, топологии, а также результатам моделирования [2-4]. Некоторые авторы рассматривают принципы работы, функции, структуру и основные элементы системы «Умный дом», построение БСС системы автоматизации жилого помещения и т.п. [5, 6]. В ряде работ освещается проблема моделирования беспроводных сенсорных сетей в системе «Умный дом» с использованием теории массового обслуживания [7-9].

В подразделе 1.2. рассматриваются основы теории массового обслуживания, основные понятия и определения.

В подразделе 2.1 второго раздела **«Беспроводная сенсорная сеть системы автоматизации жилого помещения»** описываются основные принципы работы, структура и основные элементы системы «Умный дом». Представлены современные требования к интегрированным системам управления для «Умного дома».

Под «Умным домом» мы понимаем способ автоматизации домашнего быта путем объединения всех электроприборов и бытовой техники в доме в одну единую экосистему. Как правило, такая экосистема имеет свой «мозг» – то есть фирменную программу, устройство или сервис, с которого осуществляется управление. Иначе говоря, как и многие другие системные технические устройства, система «Умный дом» состоит из таких групп элементов, как датчики, центральный контроллер (хаб), приборы (бытовая техника), которые выполняют прикладные задачи, свою функцию.

Функционирование системы умного дома выполняется за счёт команд, получаемых центральным контроллером от пользователя либо от датчиков. Встроенная программа управления передает технике сигналы для включения

в определённое время согласно расписанию или самостоятельно выбирает режим работы, полагаясь на показания датчиков.

В подразделе 2.2. представлена реальная сенсорная сеть системы «Умный дом», функционирующая на основе протокола ZigBee и содержащая:

- координатор;
- маршрутизаторы: выключатели, реле напряжения;
- конечные устройства: беспроводные выключатели, датчики открытия двери, датчики температуры/влажности, датчики протечки.

В качестве математической модели беспроводной сенсорной сети системы «Умный дом» используется неоднородная замкнутая сеть массового обслуживания с R классами требований, состоящая из L систем типа $M/M/\kappa$. Первая система массового обслуживания отображает все конечные устройства (беспроводные выключатели, датчики открытия двери, датчики температуры/влажности, датчики протечки), количество обслуживающих приборов определяется числом конечных устройств. Требованиям в сети массового обслуживания соответствуют сообщения, передаваемые между конечными устройствами, выключателями и координатором. Класс требования определяется назначением датчика, от которого пришло сообщение: сообщения поступающие с датчика протечки являются требованиями 1 класса, с датчика влажности и температуры – требованиями 2 класса, с датчика открытия дверей – требования 3 класса.

Так как в рассматриваемую систему включены датчики только трех видов, то $R = 3$. Маршрутизаторам (выключатели, реле напряжения) соответствуют системы $M/M/1$; координатору – система $M/M/\kappa$. Возможные траектории передачи сообщения отображаются в маршрутной матрице сети массового обслуживания $\Theta = (\theta_{ir,jl})$, $i, j = 1, \dots, L$, $r, l = 1, \dots, R$. Интенсивность обслуживания требований класса r в системе i – случайная величина, имеющая экспоненциальное распределение с параметром μ_{ir} .

Введем обозначения:

R – количество классов требований в сети,

L – число систем массового обслуживания в сети,

μ_{ir} – интенсивность обслуживания в i -ой системе требования класса r ,

$\theta_{ir,jl}$ – вероятность того, что требование класса r после обслуживания в системе i поступает в систему j изменяет свой класс на l ,

ω_{ir} – относительные интенсивности потоков требований.

Для вычисления стационарных характеристик сети массового обслуживания будем использовать алгоритм, который является расширением алгоритма MVA для замкнутых однородных сетей массового обслуживания [10]:

Шаг 1. Для $i = 1, \dots, L$, $r = 1, \dots, R$, $j = 1, \dots, \kappa_i - 1$, полагаем математическое ожидание (м. о.) числа требований класса r в системе i

$$\bar{K}_{ir}(0, \dots, 0) = 0,$$

вероятности

$$\pi_i(0 | \mathbf{0}) = 1 \text{ и } \pi_i(j | \mathbf{0}) = 0.$$

Шаг 2. Итерации $\mathbf{k} = \mathbf{0}, \dots, \mathbf{K}$.

Шаг 2.1. Для $i = 1, \dots, L$, $r = 1, \dots, R$, вычисляем м.о. длительности пребывания требований класса r в системе i

$$\bar{T}_{ir}(\mathbf{k}) = \begin{cases} \frac{1}{\mu_{ir}} \left[1 + \sum_{s=1}^R \bar{K}_{is}(\mathbf{k} - \mathbf{1}_r) \right], & \text{если } \kappa_i = 1, \\ \frac{1}{\mu_{ir} \kappa_i} \left[1 + \sum_{s=1}^R \bar{K}_{is}(\mathbf{k} - \mathbf{1}_r) + \sum_{j=0}^{\kappa_i-2} (\kappa_i - j - 1) \pi_i(j | \mathbf{k} - \mathbf{1}_r) \right], & \text{если } \kappa_i > 1, \end{cases}$$

где $\mathbf{k} = (k_1, \dots, k_r - 1, \dots, k_R)$ – вектор числа требований различных классов в сети, а $\mathbf{k} - \mathbf{1}_r = (k_1, \dots, k_r - 1, \dots, k_R)$.

Вероятность того, что в системе i находится j , $j = 1, \dots, \kappa_i - 1$, при условии что число требований в сети различных классов определяется вектором \mathbf{k} вычисляется по формуле

$$\pi_i(j | \mathbf{k}) = \frac{1}{j} \left[\sum_{r=1}^R \frac{\omega_{ir}}{\mu_{ir}} \lambda_r(\mathbf{k}) \pi_i(j-1 | \mathbf{k} - \mathbf{1}_r) \right],$$

для $j = 0$:

$$\pi_i(0 | \mathbf{k}) = 1 - \frac{1}{\kappa_i} \left[\sum_{r=1}^R \frac{\omega_{ir}}{\mu_{ir}} \lambda_r(\mathbf{k}) + \sum_{j=1}^{\kappa_i-1} (\kappa_i - j) \pi_i(j | \mathbf{k}) \right],$$

где ω_{ir} , $i = 1, \dots, L$, $r = 1, \dots, R$, являются решением системы уравнений

$$\omega_{ir} = \sum_{j=1}^L \sum_{s=1}^R \omega_{js} \theta_{js,ir}.$$

Шаг 2.2. Для $r = 1, \dots, R$ вычисляем интенсивность потоков требований класса r

$$\lambda_r(\mathbf{k}) = \frac{k_r}{\sum_{i=1}^L \omega_{ir} \bar{T}_{ir}(\mathbf{k})}.$$

Шаг 2.3. Для $i = 1, \dots, L$, $r = 1, \dots, R$, вычисляем м.о. числа требований класса r в системе i

$$\bar{K}_{ir}(\mathbf{k}) = \lambda_r(\mathbf{k}) \bar{T}_{ir}(\mathbf{k}) \omega_{ir}.$$

Конец алгоритма.

В подразделе 2.3 представлена программная реализация алгоритма, представлен пользовательский интерфейс, структура программы.

Для программной реализации аналитической модели беспроводной сенсорной сети используется язык Kotlin. Язык полностью совместим с Java, и является кроссплатформенным. В качестве UI интерфейса использовался TornadoFx Framework.

Программа предоставляет графический интерфейс, однако ввиду больших объемов вводимой информации, принято решение о загрузке данных из конфигурационного файла. В интерфейсе пользователя представлены 4 вкладки:

- Ввод значений – в данном разделе пользователь может загрузить конфигурационный файл, настроить диапазон и шаг изменения интенсивности обслуживания в системах массового обслуживания, количество системы и классов требований, есть возможность отключить

отображение характеристик сети массового обслуживания, на которые изменение интенсивности обслуживания не влияет. Так же на этой вкладке присутствуют поля в текстовом виде, содержащие конфигурацию сети массового обслуживания и ее основные характеристики.

- М.о. длительности пребывания требований в системах – в данном разделе строится график зависимости м.о. длительности пребывания требований в системах от интенсивностей обслуживания в первой системе массового обслуживания.
- М.о. числа требований – в данном разделе строится график зависимости м.о. числа требований в системах сети от интенсивностей обслуживания в первой системе массового обслуживания.
- Интенсивность потока требований – в данном разделе строится график зависимости интенсивности потоков классов требований от интенсивностей обслуживания в первой системе массового обслуживания.

В конфигурационном файле необходимо указать:

R – количество классов требований,

L – количество систем,

K – вектор числа требований каждого класса,

$matrix$ – маршрутная матрица, так как в нашем случае матрица получается сильно разреженной, то матрица вводится в сжатом виде: " $((j, s), (i, r))$ ": v , где $i, j = 1, \dots, L$, $r, l = 1, \dots, R$,

μ – вектор интенсивностей обслуживания,

m – вектор числа обслуживающих приборов для каждой системы.

Третий раздел «Аспекты практического применения программы для анализа модели беспроводной сенсорной сети системы автоматизации жилого помещения» содержит результаты численных экспериментов, проведенных с помощью разработанной программы для анализа модели беспроводной сенсорной сети. Построены графики зависимостей основных

стационарных характеристик систем, таких как м.о. длительности пребывания требований в системах, м.о. числа требований в системах от интенсивности обслуживания в первой системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реализации цели, заявленной в настоящей работе, были решены следующие задачи:

- проведен обзор литературы по теме исследования, рассмотрены базовые принципы построения и параметры функционирования БСС, обзор моделей массового обслуживания, применяемых для анализа беспроводных сенсорных сетей;

- изучены основы теории сетей массового обслуживания;

- построена математическая модель беспроводной сенсорной сети системы автоматизации жилого помещения в виде замкнутой сети массового обслуживания с несколькими классами требований;

- разработана программа, вычисляющая основные стационарные характеристики замкнутых сетей массового обслуживания с несколькими классами требований;

- с помощью разработанной программы проведено исследование модели беспроводной сенсорной сети системы автоматизации жилого помещения.

В настоящее время беспроводные технологии занимают важное место в информационном обществе. Новейшие технологии беспроводной связи и прогресс в области производства микросхем требуют дальнейших практических разработок и внедрения нового класса распределенных коммуникационных систем – сенсорных сетей – в разные сферы жизни и деятельности.

Математическое моделирование сенсорной сети системы «Умный дом» сетью массового обслуживания является важным и значимым направлением исследования.

Практическая ценность настоящей работы дает основу для изучения

непрерывно развивающихся в настоящее время класса сетей. Предложенные математическая модель и метод ее анализа могут применяться при изучении дисциплин «Модели и методы теории массового обслуживания» и «Моделирование телекоммуникационных систем и компьютерных сетей» для решения задач моделирования, анализа и оптимизации беспроводной сети системы «Умный дом».

Отдельные части магистерской работы были представлены на конференции:

1. Куанышева, В.А. Моделирование сенсорной сети системы “Умный дом” сетью массового обслуживания с несколькими классами требований / В.А. Куанышева, Е.П. Станкевич // Информационные технологии в образовании: сборник. Саратов: Саратовский университет, 2021. Вып. 4: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании» (ИТО-Саратов-2021), 5-6 ноября 2021 г., г. Саратов. С. 125–128.

Основные источники информации:

1. Сергиевский, М. В. Беспроводные сенсорные сети: эмуляция работы / М. В. Сергиевский, С. Н. Сыроежкин // КомпьютерПресс. 2008. № 11. С.140–142.

2. Мальцева, Н. С. Анализ способов построения беспроводных сенсорных сетей / Н. С. Мальцева, А. Д. Зубова, И. Н. Марышева // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. 2018. № 2 (24). С. 31–36.

3. Смурыгин, И. М. Концепция организации беспроводных сенсорных сетей и их применение / И. М. Смурыгин // Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2012. № 9. С. 1–9.

4. Баскаков, С. Беспроводные сенсорные сети на базе платформы MeshLogic / С. Баскаков, В. Оганов // Электронные компоненты. 2006. № 8. С. 65–69.

5. Петрова, И. Ю. Проектирование информационно-измерительных и управляющих систем для интеллектуальных зданий. Направления дальнейшего развития / И. Ю. Петрова, В. М. Зарипова, Ю. А. Лежнина // Информационные системы и логистика в строительстве. 2015. № 15. С.147–159.
6. Марьясин, О. Ю. Компьютерное моделирование «Интеллектуального здания» / О. Ю. Марьясин, А. С. Колодкина, А. А. Огарков // Моделирование и анализ информационных систем. 2016. Т.23, № 4. С. 427–439.
7. Shahin, V. Dynamic Resource Allocation of Smart Home Workloads in the Cloud / V. Shahin, M. Cheriet, J. Rajkumar // ManSDN/NFV Short Paper. 2016. pp. 367–370.
8. Feng, G. Maximum revenue-oriented resource allocation in cloud. / G. Feng, B. Rajkumar // International Journal of Grid and Utility Computing, 2016. Vol. 7, № 1. pp. 12–21.
9. Bennani, M. N. Resource allocation for autonomic data centers using analytic performance models / M. N.Bennani, D. A. Menasce // Proceedings Second International Conference in Autonomic Computing, IEEE, 2005, pp.229–240.
10. Bolch G., Greiner S., De-Meer H. and Trivedi K. S. Queueing Networks and Markov Chains. – New Jersey: John Wiley & Sons. – 2006. – 896 p.