

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»

(наименование)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроника и робототехника

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Радиоэлектронная система обнаружения людей»

Обучающийся

А.С. Забродин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Е.С. Глибин

(учёная степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент, О.В. Лебединская

(учёная степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Тема выпускной квалификационной работы: «Радиоэлектронная система обнаружения людей».

Общий объем выполнения бакалаврской работы составил 46 страницы, используется таблицы 12, рисунков 28, библиографических источников — 20.

Графическая часть содержит 6 листов формата А1

Ключевые слова:

Радиоэлектронная система, беспроводная сеть, микроконтроллер, сигнал, обнаружение, модель.

В бакалаврскую работу входит введение, четыре раздела, итоговое заключение.

В первом разделе «Состояние вопроса. Актуальность» были рассмотрены самые первые датчики движения и обнаружения, как они появились на рынке и их модернизация. Так же был исследован патент по этому направлению, после чего проанализирован для дальнейших действий по данной теме.

Во втором разделе «Обзор рынка» были представлены компании занимающиеся производством систем обнаружения в нише домашней и автоматизации производства. Сделаны выводы по сравнению продуктов этих компаний.

В разделе 3 «Структурная схема» осуществлён анализ подходящих для системы компонентов, обладающие достаточными свойствами для работоспособности устройства. Произведён анализ беспроводных сетей и подтверждён выбор такой сети. Были исследованы компоненты устройств подходящих под определение радиоэлектронных устройств. Написана Структурная схема устройства. Выбрана среда программирования.

В разделе 4 «Структура системы и алгоритм работы» приведены схема, созданная в виртуальной среде программирования, на макетной плате и варианты подключения компонентом к микроконтроллерам. Был

проанализирован датчик Доплера, его роль и подключение к системе. Приведён алгоритм работы, в который входят программный код устройства, схема электрическая соединений и принцип работы устройства.

В заключении сделан вывод о работе радиоэлектронной системы обнаружения людей с использованием беспроводных сетей и их влияние на такие устройства

ABSTRACT

The title of the graduation work is «Radio-electronic system for detecting people».

The senior thesis consists of an explanatory note on 47 pages, introduction, including 28 figures, 12 tables, the list of 20 references including 5 foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the graduation work is to develop a people detection system using wireless networks to reduce the cost of the device.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are:

The first part gives the analysis is made of the appearance of radio-electronic system for detecting a person and their constituent devices, their relevance in our time and the need for people in these systems.

The second part study the solutions currently available on the market that provide services for the installation or sale of such detection systems.

In the third part examine of system state sensors suitable for the system of actuators, an analysis of a micro-controller that has sufficient functions to ensure the health of the entire system are presented.

Finally, we present the work on the results of research on the performance of the system assembled on a breadboard, conclusions are drawn about the performance of the installation, the rationality of its implementation using wireless networks, electrical connection diagram, program code and a block diagram of the operation algorithm for the system is developed.

The results of the study showed that the use of wireless networks had a positive impact on such detection systems.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса. Актуальность	8
1.1 Зарождение устройств в сфере автоматизации.....	9
1.2 Патенты по данной теме.....	10
2 Обзор рынка.....	13
2.1 Производства и фирмы домашней автоматизации.....	13
2.2 Фирмы и производства промышленной автоматизации.....	14
2.2 Сравнение домашней автоматизации и промышленной автоматизации	16
3 Структурная схема	18
3.1 Выбор беспроводной сети.....	18
3.1.1 Обзор беспроводных сетей их различий	21
3.2 Поиск решений для выбранных беспроводной сети	26
3.3 Решение по выбору беспроводной сети и её аппаратной платформы	26
3.3.1 Аппаратная платформа.....	27
3.3.2 Выбор компонентов для создания системы	30
3.3.2.1 Двухканальное реле Philio PAN04	30
3.3.2.2 Радио модуль nRF24L01.....	32
3.3.2.3 Реле управления SDK-05VDC-SL-C	34
4 Структура системы. Алгоритм работы	35
4.1 Структура системы	35
4.2 Алгоритм работы.....	39
4.3 Схема электрическая соединений	42
Заключение	44
Список используемой литературы	45

Введение

«Радиоэлектронная система обнаружения людей» – это технология, с помощью которой беспроводная сеть имеет возможность доказать нахождение человека в помещении и его действия в данный момент времени.

Привычные технологии наблюдения и обнаружения, например камеры или радарные технологии, имеют ряд своих недостатков. Одни имеют огромные проблемы с конфиденциальностью, у других стоимость просто недоступна обычным людям.

На данный момент времени такие технологии используются повсеместно [1]. Существуют устройства позволяющие контролировать состояние и положение за категорией людей, что не имеют или не могут сообщить о своей проблеме. Кроме этого такая технология используется на охраняемых объектах, чтобы не допустить проникновения посторонних или кражи имущества. В настоящее время такие устройства всё чаще используются в домашней автоматизации.

Данные технологии изначально не имели такой функционал, всё началось с простых датчиков движения работающих на инфракрасном излучении и ультразвуке [2]. Продвижение данной технологии началось относительно недавно, в начале этого столетия. На данный момент времени, практически в каждом доме имеется устройство с такой технологией, а производства и предприятия уже не могут отказаться от этого.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка устройства для обнаружения людей с помощью беспроводной сети, обладающая возможностью без проблем обнаружить человека в помещении и позволяющая снизить стоимость за счёт использования беспроводных сетей.

Для достижения поставленной задачи необходимо решить ряд задач:

- Разработать структурную схему
- Разработать устройство с использованием беспроводной сети

- Написать программный код

Особенности проекта:

- Высокий потенциал для модернизации
- Современность и актуальность
- Большая часть компонентов системы в широком доступе

Хоть данная технология и используется повсеместно, но её сложно назвать тем что будет использоваться всеми. Такие системы обходятся достаточно дорого и не каждый может в них разобраться. В данной выпускной квалификационной работе будет рассматриваться принцип создания такой системы, если точнее самый один из самых бюджетных вариантов. В дальнейшем появится возможность усовершенствовать данную систему обнаружения, для повышения точности и увеличения возможного функционала.

1 Состояние вопроса. Актуальность

Технология радиоэлектронной системы обнаружения людей не нова, впервые постарались реализовать её. В 2013 году исследователи из Массачусетского технологического института обнаружили способ использовать мобильную сеть, чтобы не замечать при обнаружении кого-либо стены, данная технология имело название: «Обнаружение людей без камер или дорогостоящих датчиков LiDAR (Light Detection and Ranging)». В 2018 году другая команда из того же института модернизировала эту технологию используя несколько Wi-Fi-маршрутизаторов. Что дало возможность определять положение тела людей и чётко отображать их на экране в 3D моделях. «Хоть это и достаточно удобная технология, которая может помочь во множестве сфер нашей повседневной и не только жизни, но она весьма сложна в реализации из-за чего и не нашла популярности, как готовый продукт» [3].

Исследователи, что смогли модернизировать эту технологию, потратили около 50 долларов на покупку маршрутизатора с 3 антеннами, к огромному сожалению этого было недостаточно, чтобы получить модель человека, для этого они исследовали амплитуду и фазу сигнала, чтобы найти изменение сигнала, когда от сталкивается с человеком и только после всех этих исследований позволяли алгоритмам искусственного интеллекта создать изображение. Визуально можно было получить изображение каркасы созданные искусственным интеллектом при анализе полученных W-Fi сигналов (рисунок 1).

Тема обнаружения объекта в помещении с помощью беспроводной сети достаточно популярна. Практически каждый «Умный Дом» оснащён такой функцией. И каждый кого интересует автоматизация какого-либо процесса задавался вопросом, таким как: «Что нужно сделать чтобы автоматизировать этот процесс?».

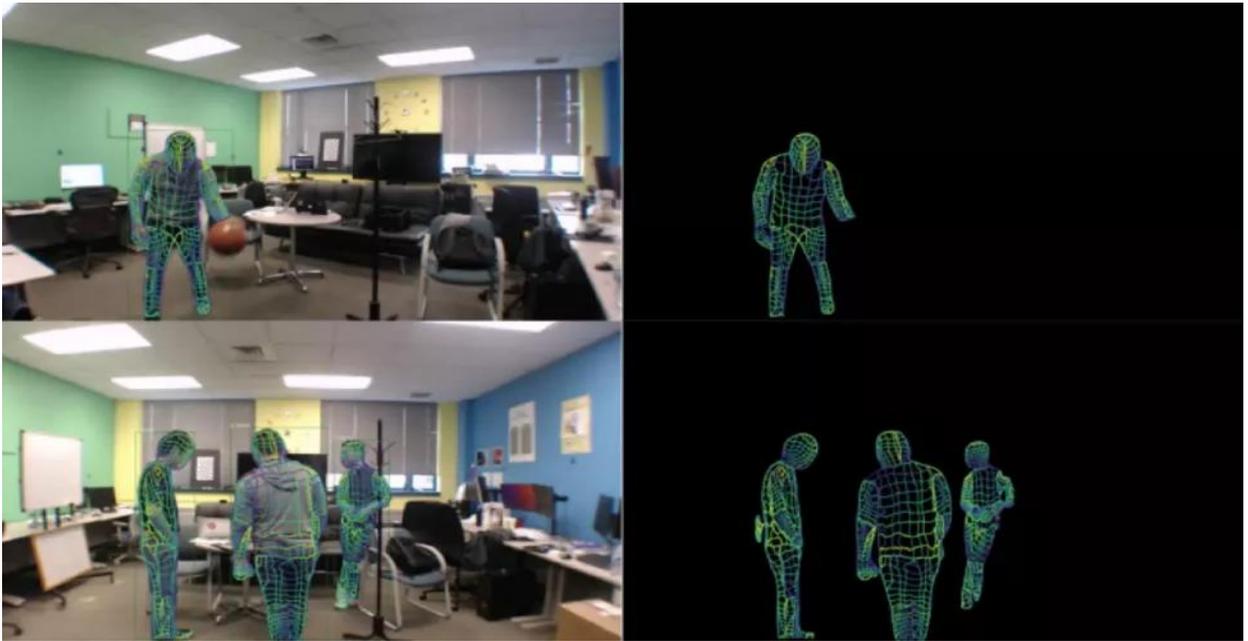


Рисунок 1 - 3D модели полученные с помощью искусственного интеллекта

«Чаще всего при вопросе автоматизации в голову приходят огромные заводы и производства, где человеку просто невозможно за всем уследить. Раньше так и было, но в определённый момент времени «инженеры-новаторы» задумались над тем, как улучшить условия в повседневной жизни.»

1.1 Зарождение устройств в сфере автоматизации

Самым первым устройством в сфере автоматизации является «Дом с кнопками» (Push-Button Manor, 1950) за авторством американского инженера Эмиля Матиаса. Его принцип работы заключался в том что, по всему дому располагались кнопки, каждая из которых выполняла свою функцию [4, 15].

Спустя почти 16 лет изобретатель Джеймс Сазерленд разработал компьютер Echo-V (1966), принцип его работы заключался в том что он мог регулировать температуру у техники, включать и выключать свет по таймеру, время которого задавал пользователь и распечатывать список покупок, в соответствие со временем суток и днём недели.

Уже позже в 1975 году шотландская компания Pico Electronics разработали «первый специализированный стандарт управления домашними устройствами» X10. Для передачи данных использовали сеть, по которой передавался массив данных на чистоте 433 МГц.

Дальше прогресс не стоял на месте и с каждым новым пользователем все больше и больше компаний хотело занять нишу на этом рынке, что поспособствовало созданию шины CEBus.

Данная шина была открытого типа, что дала возможность другим компаниям выпускать оборудования для «Умного Дома». Кроме того она могла передавать сигнал на разных канал со своей частотой, что используется до сих пор. Так же в ней была предусмотрена модернизация, благодаря чему появилась возможность использовать не только метод передачи сигнала по частоте, но так же благодаря витой пары, инфракрасному излучению и обычному электрическому проводу.

Все время эти технологии совершенствовались и в начале XXI века одна из европейских компаний утверждает новый протокол ISO/IEC 14543 и становится международным стандартом.

«С каждым годом количество различных систем обнаружения присутствия человека становится все больше и больше, какие-то из них выполняют строго определённые функции, чаще всего это классические датчики движения, а какие-то имеют настолько много функция, что даже задаёшься вопросом, а не настало будущее уже сейчас?»

1.2 Патенты по данной теме

Для примера разберём несколько патентов по мнению сайта «Роспатент платформа», которые соответствуют данной теме [9, 16,17].

Первый патент это устройство за авторством ХАНСОН и Райана Эдвина (US) «Ключ-брелок с RSSI(индикатором интенсивности принятого

сигнала)». «В данном патенте рассматривается устройство, находящиеся внутри ключ-брелка, которое будет посылать командные сигналы с функцией опрос-ответ транспортному средству, аккумуляторную батарею, внутренний процессор электроники транспортного средства. Процессор выполнен с возможностью идентификации интенсивностей сигналов принимаемых опросов, вычисления применяемых верхних и нижних границ на основе принимаемых опросов, определения, увеличились ли, уменьшились ли, или выровнялись принимаемые опросы, посредством сравнения интенсивностей сигналов с упомянутыми применяемыми верхними и нижними границами.

Если принимаемые опросы увеличились выше применяемой верхней границы, выдачи ответа на опрос транспортному средству через устройство связи.

Если принимаемые опросы уменьшились ниже применяемой нижней границы или выровнялись между применяемыми нижней и верхней границами, не выдачи ответа на опрос для экономии аккумуляторной батареи.

Процессор выполнен с возможностью отбрасывания применяемых верхних и нижних границ, когда заранее определённое число повторного вычисления принимаемых опросов выходит за пределы применяемых верхних и нижних границ и повторного вычисления применяемых верхних и нижних границ на основе скользящего среднего принимаемых опросов, причём скользящее среднее включает в себя только принимаемые опросы, попадающие в пределы применяемых верхних и нижних границ.»

Пример работы такого устройства и его блок схема представлены на рисунке 2 и рисунке 3.

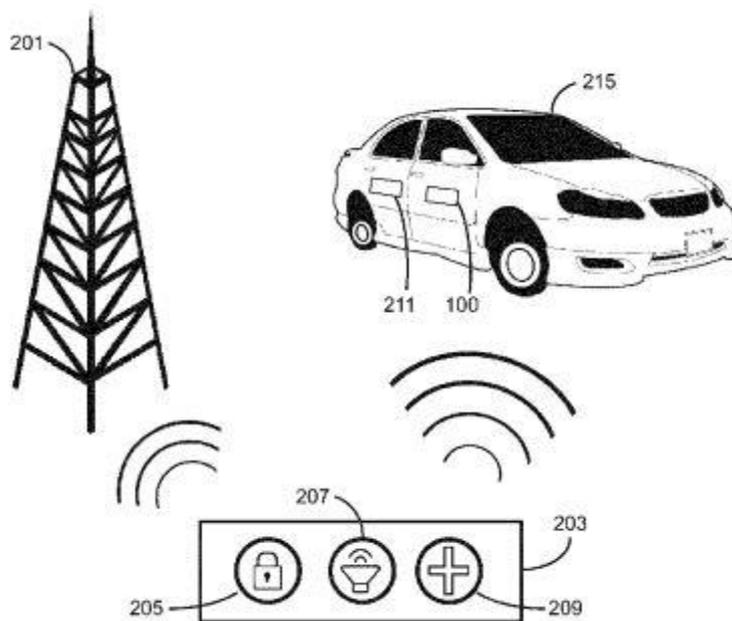


Рисунок 2 — Работа устройства «Ключ-Брелок»

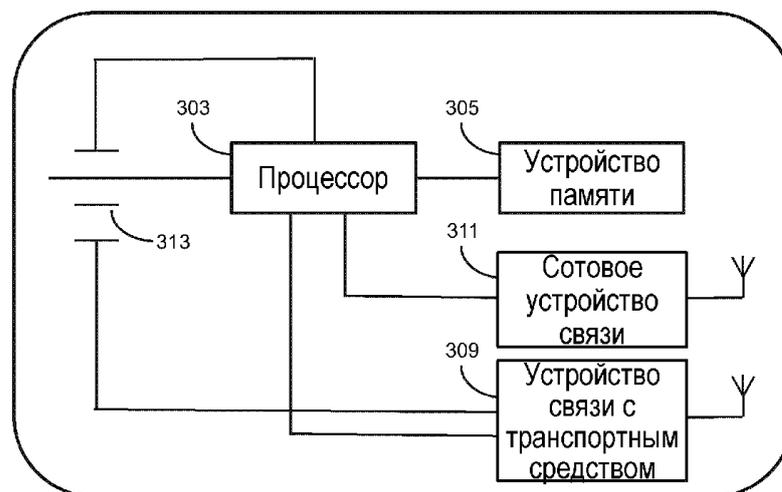


Рисунок 3 — Блок схема устройства «Ключ-Брелок»

Выводы по разделу

В данном разделе был поставлен вопрос актуальности радиоэлектронных систем обнаружения людей в настоящее время, проанализировано и насколько технология сейчас реализуема.

Стоит отметить, что с каждым годом такие установки становятся всё более совершенными и продолжают модернизироваться. Благодаря этому количество случаев с кражей вашего имущества становится меньше, а так же не нужно больше так сильно волноваться за дорогих вам людей, остающихся без присмотра [5, 18, 19].

2 Обзор рынка

В настоящее время рынок в сфере автоматизации и безопасности переполнен. Множество фирм и производств стремятся занять это место на бирже. На данный момент времени никого нельзя удивить автоматическим открытием двери или включением света или музыки.

Различные компании ищут собственный подход к автоматизации, кто-то привлекает «футуристическим» дизайном, кто-то набором огромного количества функций, есть и такие кто привлекает своей стабильностью и опытом работы в такой сфере.

Для примера ниже будут представлены некоторые формы из сферы домашней автоматизации и автоматизации производств.

2.1 Производства и фирмы домашней автоматизации

Фирмы и производства занимающие лидирующие позиции по мнению сайта Проект КР, представлены ниже.

2.1.1 HiTE PRO

Эта фирма занимает лидирующую позицию в нише рынка отвечающего за производство систем домашней автоматизации.

На рисунке 4 представлен один из продуктов выпускающихся от этого бренда.



Рисунок 4 — Торговое приложение HiTE PRO

«HiTE PRO — российская компания производитель беспроводных выключателей, умного дома и антенн для усиления беспроводного интернета. Мы сами разрабатываем электронику и программное обеспечение и производим устройства в Москве и Московской области»

2.1.2 AJAX

Фирма AJAX специализируется на охране недвижимости, но так же занимается и производством систем умный дом.

На рисунке 5 представлен продукт бренда Ajax «Умный Дом».



Рисунок 5 — Умный дом от AjaxLight

«В Ajax Systems мы верим, что можно жить без страха в сегодняшнем опасном мире. Мы создаём охранные системы, которые помогают людям не беспокоиться о том, что воры, внезапный пожар или потоп могут нанести ущерб жилью или вред здоровью. Они под надёжной защитой Ajax.»

2.2 Фирмы и производства промышленной автоматизации

Самые востребованные фирмы и производства в сфере промышленной автоматизации по мнению topreytings представленные ниже.

2.2.1 Агрегатор

Фирма Агрегатор специализируется на охране предприятий, производств и государственных учреждений. На рынке они находятся достаточно давно, что даёт им огромное преимущества над компаниями только туда вошедших. Эта компания подтверждает качество своей продукции особым подходом к своим клиентам, с каждым клиентом они тщательно проговорят каждую функцию и действие, что должна выполнять система обнаружения. Из-за этого она и остается лидером в этой сфере [6, 20].

Система контроля доступа для АЗС на 2 двери предоставлена ниже на рисунке 6.

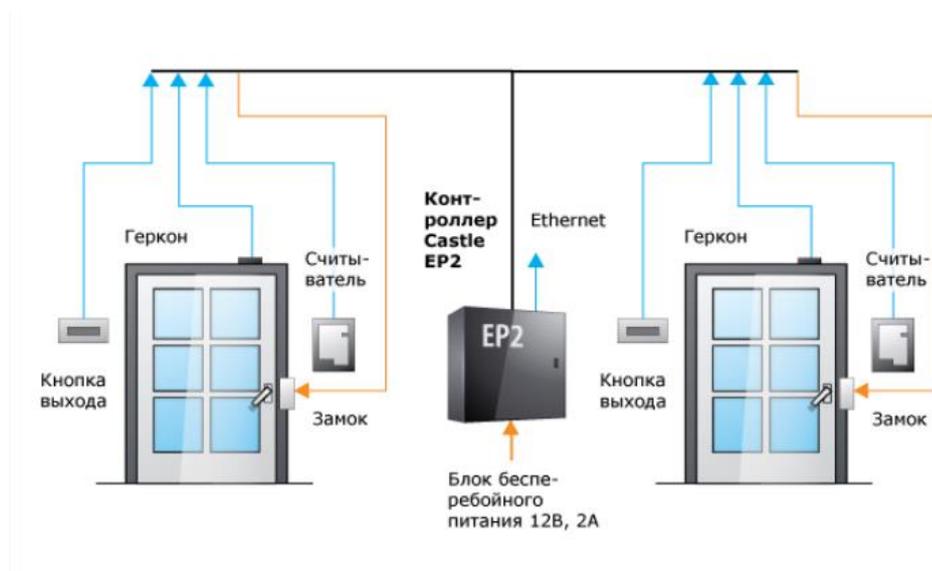


Рисунок 6 — СКУД «Castle» на две двери

«Начав свою историю в 2009 году в качестве небольшого стартапа, компания «Агрегатор» выросла в одного из ведущих российских производителей комплексных систем безопасности»

2.2.2 НИКИРЭТ

Фирма НИКИРЭТ специализируется на охране и безопасности частных и государственных учреждений, производств и офисов. Они занимают лидирующую позицию из-за того что их устройства могут выполнять свои функции очень точно и отличаются своей надёжностью. Клиенты оставляют

только хорошие отзывы о данной компании, за что компания отвечает хорошей продукцией.

Пример области применения устройства Рапс-М2 представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 — Средство обнаружения Рапс-М2

«Длительная плодотворная деятельность НИКИРЭТ по охране особо важных объектов страны новейшими разработками охранной техники отражена в товарном знаке "СОГО" - Системы Охраны Государственных Объектов. Техническими средствами охраны НИКИРЭТ оборудовано более 40 пограничных застав на территории страны»

2.2 Сравнение домашней автоматизации и промышленной автоматизации

Недостатками систем промышленной автоматизации является дороговизна, но и обычному пользователю такие масштабные проекты и не нужны, для него есть сфера домашней автоматизации, у которой место на рынке давно занято отдельными компаниями, где присутствует своя конкуренция, не задевая сферу автоматизации производства.

Главным недостатком всех систем автоматизации является отрицательная возможность совмещать устройства и продукты различных

брендов, что оказывает влияние на создание устройства в «домашних условиях». Из-за чего нельзя использовать контроллер с подключённой к системой освещения одного бренда и управлять ей используя пульт управления и программное обеспечение другого.

Выводы по разделу

Второй раздел послужил обзором нише на рынке домашней и промышленной автоматизации. Были рассмотрены компании-лидеры, их устройства и функционал этих продуктов. Были сделаны выводы по различию этих видов устройств обнаружения людей. Найдены преимущества и недостатки каждого из видов устройств автоматизации.

3 Структурная схема

Проведя анализ существующих радиоэлектронных систем обнаружения людей, представленных на рынке становится понятно, чтобы создать такое устройства просто собрать его и запрограммировать будет недостаточно, нужно так же выбрать беспроводную сеть, которая будет принимать непосредственное участие в работе устройства.

3.1 Выбор беспроводной сети

Для начала разберём самые популярные сети, которые используют предприятия, занимающие эту сферу на рынке:

- Z-Wave — это беспроводной стандарт домашней автоматизации для квартир, домов и небольших офисов. Технология использует маломощные и миниатюрные радиочастотные модули, встраиваемые в различные устройства. Имеет малое количество потенциальных источников помех, так как работает в диапазоне частот до 1ГГц, в отличии от своих аналогов работающих в 2,4 ГГц;
- ZigBee — стандарт для набора высокоуровневых протоколов связи, использующие небольшие маломощные цифровые трансиверы, основанный на стандарте IEEE 802.15.4 для беспроводных персональных сетей, что является стандартом, который определяет физический слой и управление доступом к среде для беспроводных персональных сетей с низким уровнем мощности сигнала и скоростями до 480 Мбит/с. Работает в основном в диапазоне частот 2,4 ГГц;
- Thread — это основанная на IPv6 технология маломощных ячеистых сетей для продуктов Internet of Things (IoT). Протокол использует 6LowPAN, то есть работает поверх маломощных сетей, IEEE 802.15.4 с ячеистой связью, как это делает ZigBee и другие системы. Однако, чтобы использовать эту сеть для работы, требуется согласие и постоянное соблюдение лицензионного соглашения с конечным пользователем (EULA), в котором говорится, что «Членство в Thread

Group необходимо для внедрения, отработки и отправки технологии Thread и спецификаций Thread Group»;

- Wi-Fi — технология беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11x, набор стандартов связи для коммуникации в беспроводной локальной сетевой зоне частотных диапазонов 0,9; 2,4; 3,6; 5 и 60 ГГц. Основными диапазонами Wi-Fi считаются 2,4 ГГц, 5 ГГц и 6 ГГц. Может передаваться даже при низкой мощности передачи, но для приёма на такие расстояния нужна антенна с высоким коэффициентом усиления сигнала. Сеть Wi-Fi имеет топологию «звезда», а это означает, что все её узлы соединяются непосредственно с центральным элементом — беспроводным маршрутизатором;
- Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy) — версия спецификации ядра беспроводной технологии Bluetooth, производственная спецификация беспроводных персональных сетей (Wireless personal area network, WPAN), позволяет этим устройствам общаться, когда они находятся друг от друга в радиусе около 100 м в старых версиях протокола и до 1500 м начиная с версии Bluetooth 5. Дальность сильно зависит от преград и помех, даже в одном помещении. Рабочий диапазон частот 2,4 ГГц;

Узнав подробнее о выбранных беспроводных сетях, нужно выбрать какая из них будет использоваться при разработке устройства. Алгоритм работы каждой из сетей различается между собой, поэтому была разработана модель взаимодействия открытых систем (Open Systems Interconnection, OSI).

Пример модели OSI указан в таблице 1. Обращаясь к данной таблице мы сможем определить самую удобную для нас сеть.

Таблица 1 — Модель взаимодействия открытых систем (Open Systems Interconnection, OSI)

Уровень		Тип данных	Функция	Примеры	Оборудование
7	Прикладной уровень Application layer	Данные	Доступ к сетевым службам	HTTP, FTP, WebSocket	Хосты (клиенты сети), Межсетевой экран
6	Уровень представления Presentation layer		Представление и шифрование данных	ASCII, SSL, gzip	
5	Сеансовый уровень Session layer		Управление сеансом связи	RPC, PAP, L2TP	
4	Транспортный уровень Transport layer	Сегменты / Датаграммы	Прямая связь между конечными пунктами и надёжностью	TCP, UDP, SCTP	
3	Сетевой уровень Network layer	Пакеты	Определение маршрута и логическая адресация	IPv4, IPv6, IPsec	Маршрутизатор, Сетевой шлюз, Межсетевой экран
2	Канальный уровень Data link layer	Биты / Кадры	Физическая адресация	IEEE 802.22, Ethernet, PPP	Сетевой мост, Коммутатор, точка доступа
1	Физический уровень Physical layer	Биты	Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными	USB, RJ(витая пара), радиоканал	Концентратор, Повторитель (сетевое оборудование)

3.1.1 Обзор беспроводных сетей их различий

3.1.1.1 Беспроводная сеть Wi-Fi

Wi-Fi — эта беспроводная сеть занимает первый и второй уровень этой модели, как показано на рисунке 8 Его недостатки и преимущества указаны в таблице 2.



Рисунок 8 — Wi-Fi по модели OSI

Таблица 2 — Преимущества и недостатки беспроводной сети Wi-Fi

Преимущества	Недостатки
Широко распространён в компьютерах и мобильных устройствах	Высокое энергопотребление
Обеспечивает высокую скорость передачи данных	Сетевая топология звезда не гарантирует отказоустойчивость сети
Сложный процесс добавления новых устройств	Плохая совместимость с другими устройствами автоматизации

Изучив таблицу мы выясним, что в данный момент времени эта беспроводная сеть является самой общедоступной и отлично подходит для понимания работы систем, использующих такую технологию [6].

3.1.1.2 Беспроводная сеть Z-Wave

Z-Wave – эта беспроводная сеть занимает все уровни модели, что говорит о её универсальности и лидерстве в топе беспроводных сетях, что показано на рисунке 9. Преимущества и недостатки этой сети над другими указаны в таблице 3.



Рисунок 9 — Z-Wave по модели OSI

Таблица 3 — Преимущества и недостатки беспроводной сети Z-Wave

Преимущества	Недостатки
Очень распространён	Разные модели устройств имеют разные диапазоны частот
Высокая отказоустойчивость	Мало распространена на территории нашей страны
Низкое энергопотребление	—
Отличная совместимость с устройствами автоматизации	—
Защищенность от помех в диапазоне 2,4 ГГц	—

Z-Wave сейчас является одним из «новичков» мире беспроводных технологий, но из-за своей новизны она смогла убрать большинство недостатков своих предшественников [7].

3.1.1.3 Беспроводная сеть ZigBee

ZigBee — данная сеть, хоть и основана на протоколе IEEE 802.15.4, но в модели OSI занимает уровни стоящие выше, что позволяет управлять до 32 устройствами, когда сам IEEE 802.15.4 работает на уровнях канальном и физическом, это можно увидеть на рисунке 10. Его преимущества и недостатки указаны в таблице 4.



Рисунок 10 — ZigBee по модели OSI

Таблица 4 — Преимущества и недостатки беспроводной сети ZigBee

Преимущества	Недостатки
Очень распространён	Использует диапазон 2,4ГГц
Высокая отказоустойчивость	Плохая совместимость с устройствами другими автоматизации
Низкое энергопотребление	Сложна в освоении

ZigBee на рынке занимает одну из лидирующих позиций за счет того, что появилась, практически, в начале развития беспроводных технологий, из-за чего уже достаточно устарела. Так же она не предназначена для новичка, что хочет начать развиваться в этом направлении [8].

3.1.1.4 Беспроводная сеть Thread

Thread — данная сеть, так же основан на протоколе IEEE 802.15.4, занимает всего два уровня, в отличии от своего «родственника» ZigBee, что влияет на его функционал, показано на рисунке 11. Преимущества и недостатки указаны в таблице 5.



Рисунок 11 — Thread по модели OSI

Таблица 5 — Преимущества и недостатки беспроводной сети Thread

Преимущества	Недостатки
Высокая отказоустойчивость	Плохая совместимость с другими устройствами автоматизации
Лёгкость подключения	Плохая помехоустойчивость
Низкое энергопотребление	Неопределённые перспективы развития

Мало того что эта беспроводная сеть очень сложна в освоении, так и для её использования нужно лицензионное соглашение от производителя продукции, использующая данный протокол.

3.1.1.5 Беспроводная сеть Bluetooth BLE

Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy) — данная сеть, так же как и Z-Wave находится на всех уровнях модели OSI, что позволяет занять одну из ниш в топе беспроводных сетей, это можно увидеть на рисунке 12. Преимущества и недостатки указаны в таблице 6.

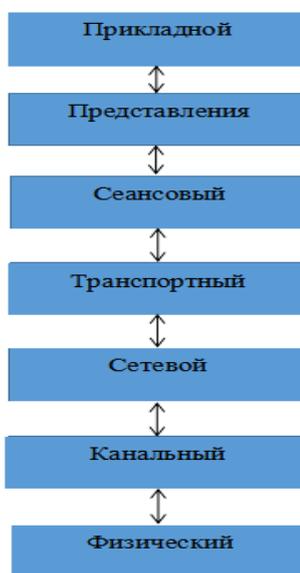


Рисунок 12 — Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy) по модели OSI

Таблица 6 — Преимущества и недостатки беспроводной сети Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy)

Преимущества	Недостатки
Высокая скорость передачи данных	Плохая помехозащищенность в диапазоне 2,4ГГц
Умеренное энергопотребление	Недостаточная надёжность
Хорошая совместимость с другими устройствами	Малый радиус (10м в помещении). нет возможности расширить сеть

Так же как и беспроводная сеть Z-Wave, Bluetooth BLE является «новичком» в мире беспроводных сетей. Она достаточно проста в освоении и в использовании, ведь на данный момент времени очень сложно найти устройство, оснащённое технологией или модулем Bluetooth [10].

3.2 Поиск решений для выбранных беспроводной сети

Проведя анализ данных по беспроводным сетям, можем подытожить, что в нашем случае лучше всего подойдёт беспроводная сеть Z-Wave и Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy). Выбор подтверждается тем, что эти сети занимают все уровни модели OSI, благодаря чему они являются самыми удобными в работе с беспроводными сетями, так же огромным плюсом является возможность подключить микроконтроллеры или модули к уже готовым устройствам с нужным нам функционалом.

Структурная схема устройства представлена на рисунке 13.

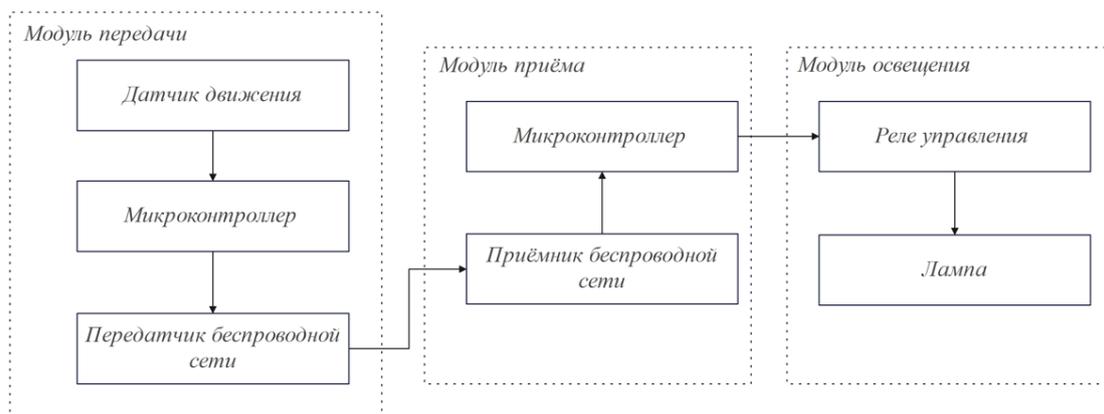


Рисунок 13 — Структурная схема устройства для обнаружения людей

3.3 Решение по выбору беспроводной сети и её аппаратной платформы

Как беспроводная сеть Z-Wave, так и Bluetooth BLE имеют платформы и свою среду программирования. По данным с официальных сайтов этих брендов было выяснено, что Z-Wave использует платформу Z-Uno, а Bluetooth BLE использовать платформу Arduino Uno. Но так же опираясь на

информацию с официальных источников, что Z-Wave, что Bluetooth BLE используют среду программирования Arduino IDE.

3.3.1 Аппаратная платформа

3.3.1.1 Аппаратная платформа Arduino UNO

Arduino программируется напрямую через последовательный порт, т.е. через USB-порт, а так же отличается своей простотой архитектуры и удобством [11].

Микроконтроллер Arduino UNO показан на рисунке 14.



Рисунок 14 — Arduino UNO

В таблице представлены характеристики выбранного микроконтроллера (таблица 7).

Таблица 7 — Характеристики платформы Arduino Uno

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12 В
Входное напряжение (предельное)	6-20 В
Цифровые Входы/Выходы	14 (6 из которых ШИМ)
Аналоговые входы	6
Постоянный ток через ввод/вывод	40 мА
Постоянный ток для выхода 3.3 В	50 мА

Продолжение таблицы 7

Flash-память	32 Кб, при этом 0.5 Кб используются для загрузчика
ОЗУ	2 Кб,
EEPROM	1 Кб
Тактовая частота генератора	16 Гц

Преимущества Arduino Uno:

- Малая стоимость относительно других аналогов;
- Большой выбор компонентов, совместимых с платформой Arduino;
- Большое количество информации о платформе Arduino в сети;

Arduino Uno выполнен на микроконтроллере ATmega328. Эта платформа содержит 14 цифровых вводов/выводов, 6 аналоговых вводов, кварцевый генератор 16 МГц, последовательный USB порт, разъём питания, ICSP. Для работы необходимо подать питание с батареи, компьютера или адаптера AC/DC.

3.3.1.2 Аппаратная платформа Z-UNO

Z-UNO — это плата для прототипирования устройств Z-Wave, основанная на чипе ZM5101. Плата Z-Uno позволяет разработать устройство Z-Wave, с разработкой которого сможет справиться даже новичок. Такое устройство, даже, если собрано новичком, будет совместимо со всеми устройствами носящие бренд Z-Wave.

Микроконтроллер Z-Uno представлен на рисунке 15.

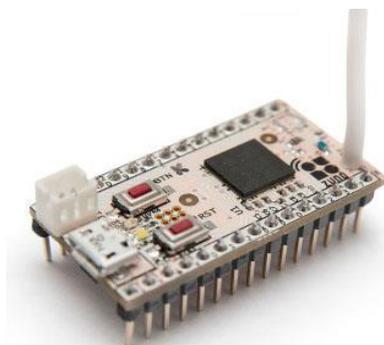


Рисунок 15 — Z-Uno

В таблице представлены характеристики выбранного микроконтроллера (таблица 8).

Таблица 8 — Характеристики платформы Z-UNO

Микроконтроллер	Z-Wave
Рабочее напряжение	5 В
Входное напряжение (рекомендуемое)	3-5 В
Входное напряжение (предельное)	4-15 В
Цифровые Входы/Выходы	22 (5 из которых ШИМ)
Аналоговые входы	4
Постоянный ток через ввод/вывод	40 мА
Постоянный ток для выхода 3.3 В	50 мА
Flash-память	28 Кб
ОЗУ	4 Кб
EEPROM	64 Кб

По сути, Z-Uno — это та же Arduino, только на другом чипе и с радиомодулем. Любой контакт можно настроить на вход или выход, есть четыре ножки ШИМ и четыре ножки АЦП, для коммуникации присутствует UART и SPI, питание от 3,3 до 18 В.

Как и к Arduino, к Z-Uno можно добавить абсолютно любой датчик и исполнительный механизм. Всего к нему можно подключить 32 девайса одновременно, это значительно уменьшает расходы на домашнюю автоматизацию. Управлять таким устройством можно как с подключённых клавиш, так и по радио с микроконтроллера или с другого устройства Z-Wave.

3.3.2 Выбор компонентов для создания системы

Для создания радиоэлектронной системы обнаружения людей с помощью беспроводных сетей Z-Wave и Bluetooth BLE нужно провести анализ всех необходимых элементов.

Каждая из этих сетей занимает все уровни по модели OSI, что позволяет решить задачу данной бакалаврской работы не затрагивая множество различного оборудования. Для каждой сети нам понадобятся модули этих сетей и готовое устройство для обнаружения людей в помещении, подойдёт классический датчик движения.

3.3.2.1 Двухканальное реле Philio PAN04

Встраиваемое двухканальное реле Philio PAN04 (рисунок 16) постоянно подключено к сети 220 В и является приемопередатчиком в сети Z-Wave. Габариты модуля позволяют устанавливать его в монтажный стакан за выключателями и розетками [12].



Рисунок 16 — Philio PAN04

Технические характеристики:

- Рабочее напряжение: 100 — 240 В 50/60 Гц
- Ток нагрузки: 6,5 А
- Дальность действия: 40 м в помещении
- Рабочая температура: от 0 °С до +40 °С

– Частота приёма и передачи: 869 МГц

Для работы системы требуется соединить датчик движения с двухканальным реле Philio PAN04, после чего запускаем среду программирования Arduino IDE и выполняем действия, как показано на рисунке 17 и рисунке 18, чтобы переключиться на беспроводную сеть Z-Wave

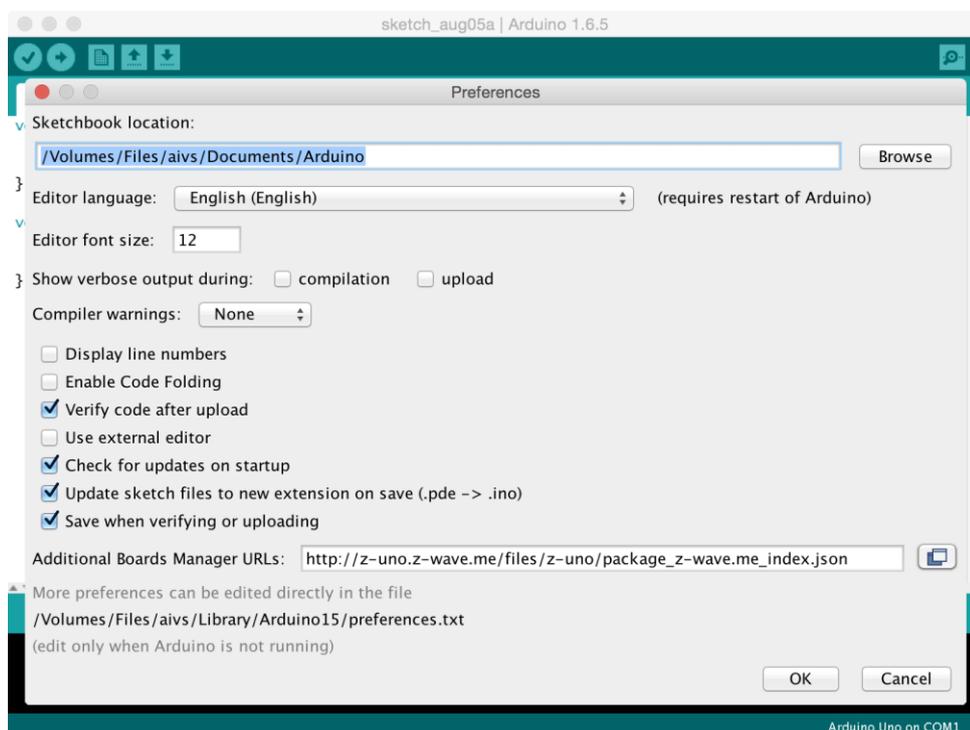


Рисунок 17 — Вставка ссылки на смену пакетов на Z-Uno

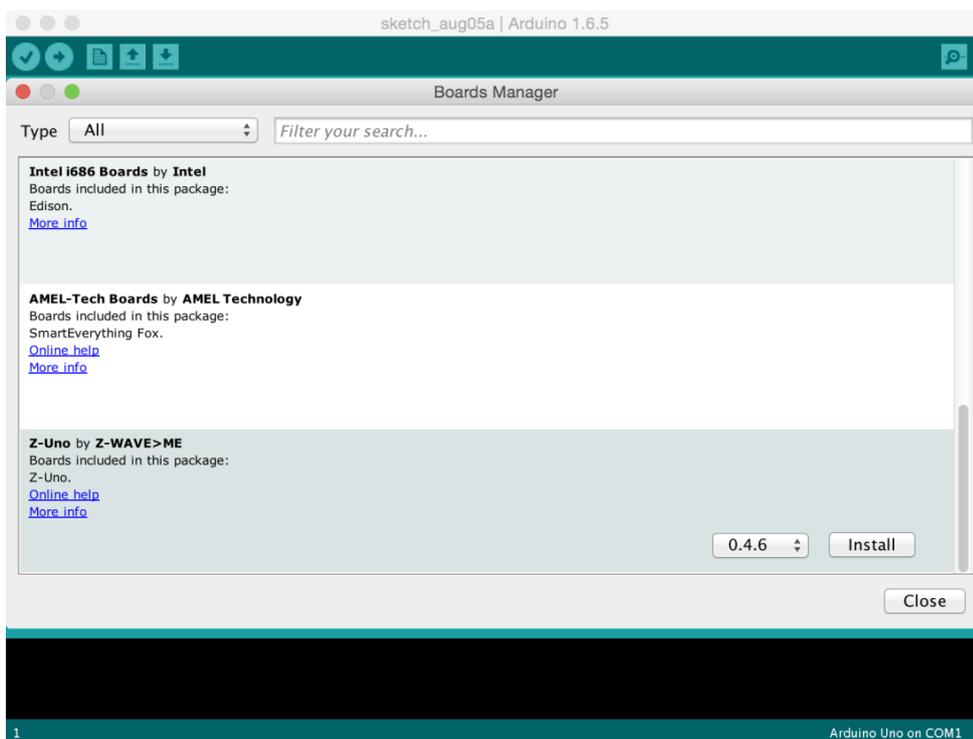


Рисунок 18 — Установка пакетов Z-Uno

Двухканальное реле позволяет подавать и снимать питание с подключённых к нему устройств. Основное применение реле Philio PAN04 — это управление освещением. Новая технология умной калибровки позволяет уменьшить влияние бросков тока при включении и позволяет модулю отлично работать с любыми типами ламп.

3.3.2.2 Радио модуль nRF24L01

Радио модуль NFR24L01, работающий в диапазоне частот 2.4-2.5 ГГц, показан на рисунке 19. Служит для передачи данных на расстояние, оно зависит от модели и производителя данного модуля. Чтобы реализовать такую возможность передачи, понадобится второй радио модуль. Связь таких устройств строиться на этапе программирования. У данного модуля есть 5 каналов, по которым он может передавать данные, подключив следующий радио модуль, мы реализуем беспроводную передачу данных

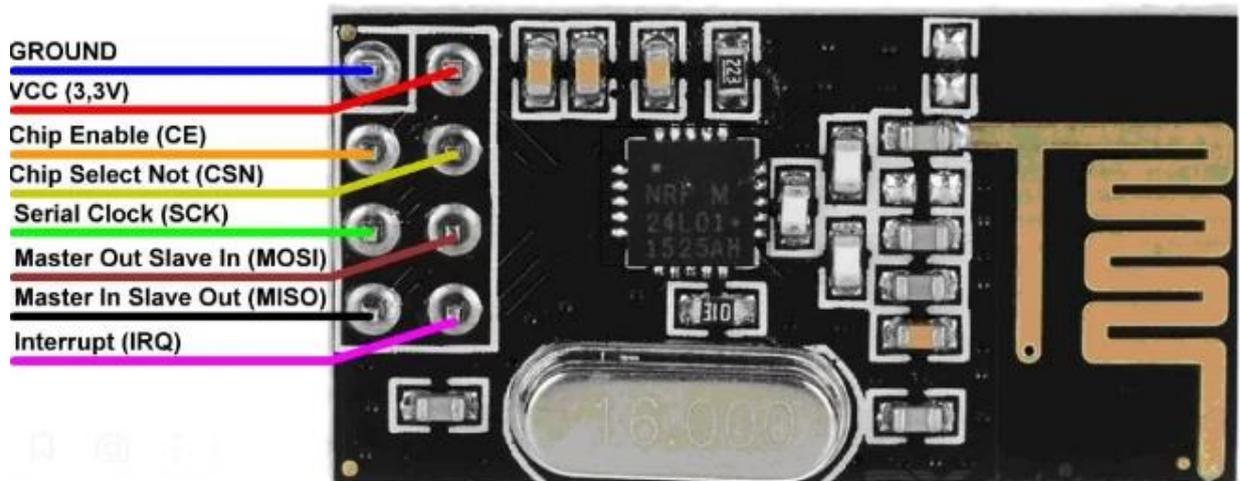


Рисунок 19 — Модуль NFR24L01 и его распиновка

Технические характеристики:

- Напряжение питания: 1,9 — 3,6 В;
- Расстояние приёма/передачи данных: 30 м;
- Диапазон рабочей температуры: от -40 °С до +85 °С;
- Частота приёма и передачи: 2,4 ГГц;

Подключение к плате Arduino Uno осуществляется следующим образом:

- GROUND в GND;
- VCC в 3,3 В;
- CE в любой цифровой вход;
- CSN в любой цифровой вход;
- SCK в 13 вход;
- MOSI в 11 вход;
- MISO в 12 вход;

Главное преимущество Bluetooth BLE заключается в том, что один приёмник может связываться с собой до 6 передатчиков.

3.3.2.3 Реле управления SDK-05VDC-SL-C

SDK-05VDC-SL-C — это электромеханическое устройство, служащее для переключения состояния подключённого к нему устройству, за счёт замыкания или размыкания контактов электрической нагрузки с помощью электромагнита. Данное реле показано на рисунке 20.

Это реле имеет следующие технические характеристики:

- Напряжение питания: 5 В;
- Максимальный ток коммутации: 10 А;
- Максимальная мощность коммутирующей нагрузки: 120 Вт;

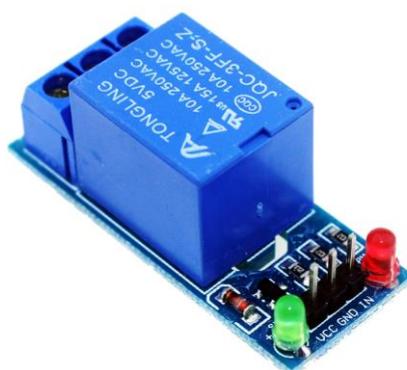


Рисунок 20 — Реле управления SDK-05VDC-SL-C

Выводы по разделу:

В третьем разделе, мы выяснили, чем отличаются между собой беспроводные сети. Были подобраны компоненты для двух беспроводных сетей, а так же какую среду программирования использовать.

Доплера, второй к микроконтроллеру Arduino NANO и подключённому к нему реле системой освещения. Подключение nRF24L01+ к микроконтроллеру показано на рисунке 22.

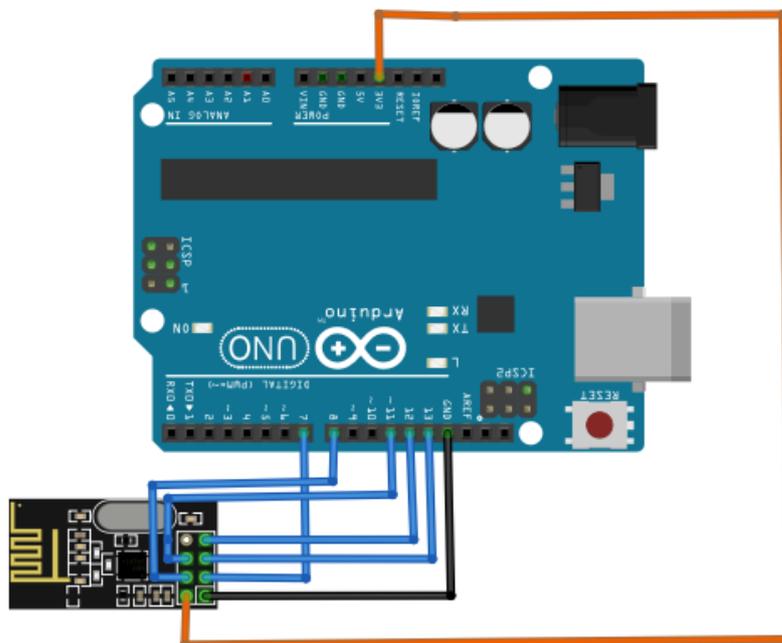


Рисунок 22 — Схема подключения nRF24L01+

Подключение передатчик осуществляется, так как показано на таблице 9

Таблица 9 — Подключение nRF24L01+ к микроконтроллеру Arduino UNO

Контакты nRF24L01+	Контакты Arduino UNO
VCC	3VE
CS	D8
MOSI	D11 PWM/MOSI
GND	GND
CE	D7
SCK	D13/SCK
MISO	D12/MISO

После подключения радиомодуля передачи, нужно подключить датчик Доплера. Это показано на схеме на рисунке 23.

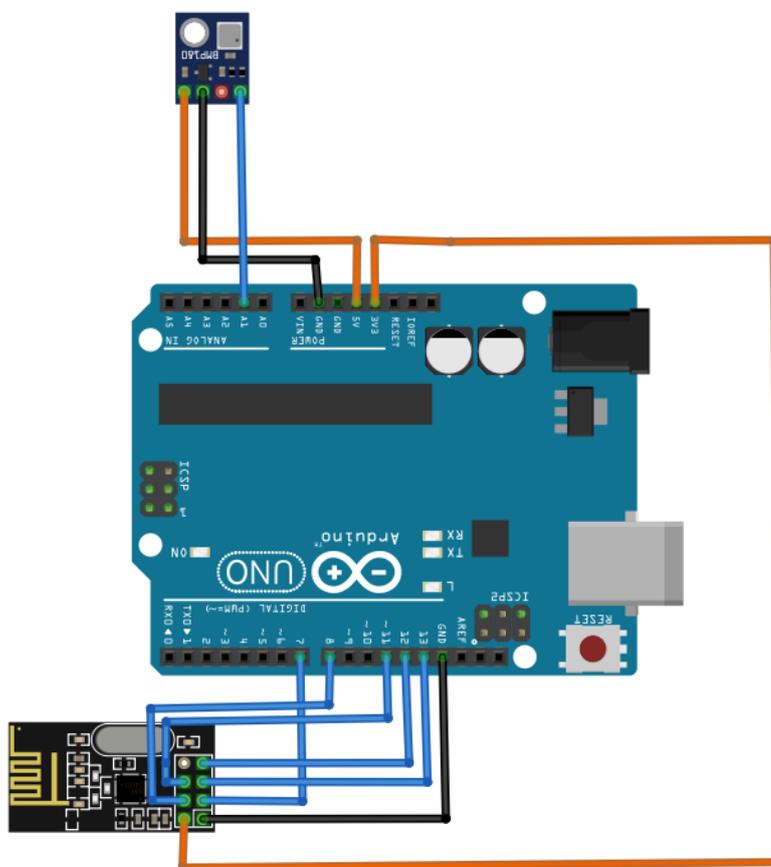


Рисунок 23 — Схема подключение датчика Доплера

Подключение датчика Доплера, так как показано на таблице 10

Таблица 10 — Подключение датчика Доплера к микроконтроллеру Arduino UNO

Контакты датчика Доплера	Контакты Контакты Arduino UNO
VCC	5V
GND	GND
SCL	A1

Радио модуль приёма данных, подключенный к микроконтроллеру Arduino NANO, подключается аналогично радио модулю передачи, это показано на таблице 11. Так же к микроконтроллеру блока приёма данных

подключено реле управления освещением, его подключение указано в таблице 12. После объединения приёмника и передатчика, получим схему устройства показанную на рисунке 24.

Таблица 11 — Подключение радио модуля приёма данных к микроконтроллеру Arduino Nano

Контакты nRF24L01+	Контакты Arduino NANO
VCC	3VE
CS	D9
MOSI	D11/MOSI
GND	GND
CE	D10
SCK	D13/SCK
MISO	D12/MISO

Таблица 12 — Подключение реле управления к микроконтроллеру Arduino NANO

Контакты Реле SDK-05VDC-SL-C	Контакты Arduino NANO
VCC	5V
GND	GND
D4	A6

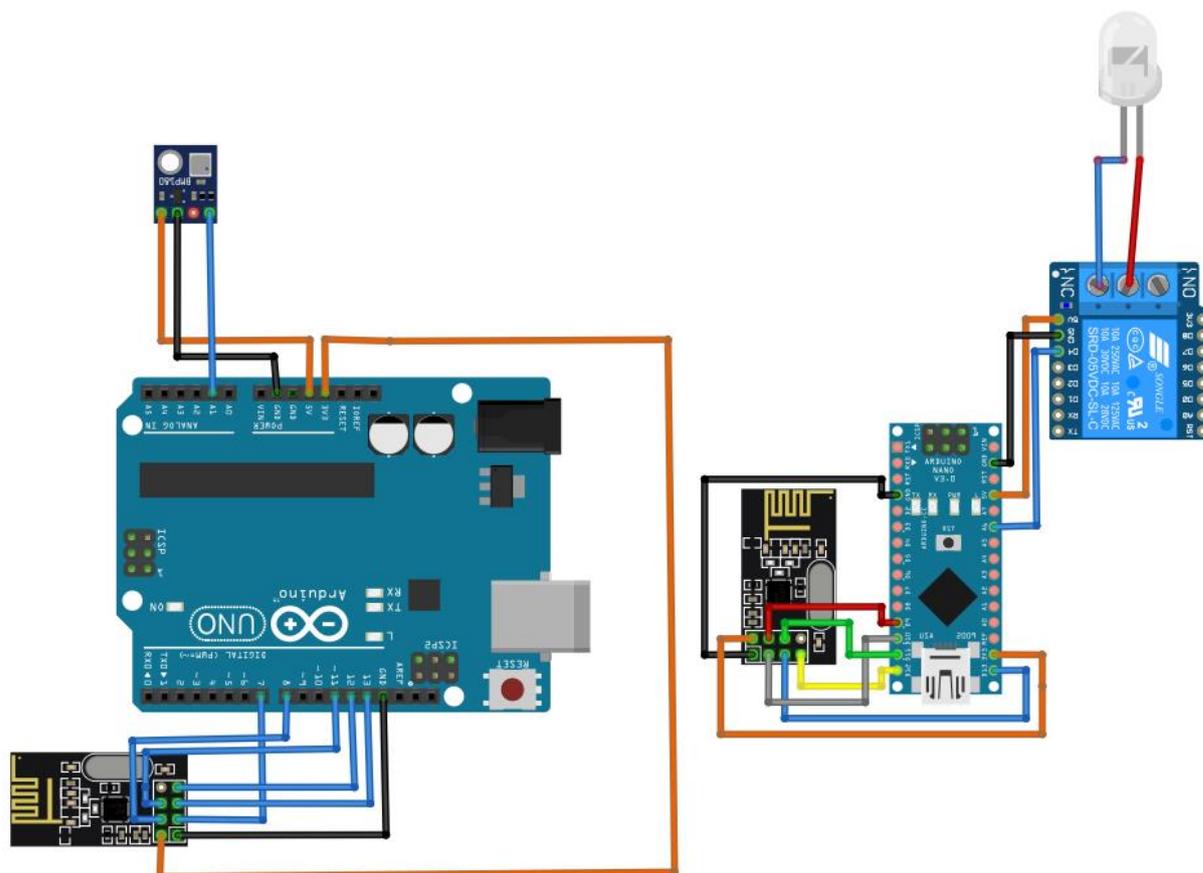


Рисунок 24 — Схема устройства для обнаружения людей с помощью беспроводной сети на макетной плате

Данная схема даёт на возможность представить, как должно будет выглядеть радиоэлектронное устройство обнаружения людей [13, 14, 16]. Данная установка должна работать от аккумуляторной батареи на 12 В и если один датчик Доплера может работать от такой батарейки около года, то такая установка за счет постоянной работы сильно уменьшит время работы устройства. Приблизительно время работы устройства составит от 3 до 4 недель.

4.2 Алгоритм работы

Подключенный датчик Доплера к микроконтроллеру Arduino UNO получает данные, испуская сигнал с определённой частотой и принимая его обратно, обрабатывает данные полученного сигнала, и если частота сигнала «отойдёт» от нормы, то произойдёт запуск триггера, после чего датчик

передаёт данные на микроконтроллер, после чего данный массив данных передаётся по радио модулю nRF24L01+ от передатчика к приёмнику.

Далее радио модуль приёмника получив массив данных передаёт его на микроконтроллер Arduino NANO, и если данный массив данных соответствует программному коду, то происходит запуск триггера, на включение/отключение реле.

Ниже представлена блок-схема алгоритма работы радиоэлектронной системы обнаружения людей (рисунок 25).

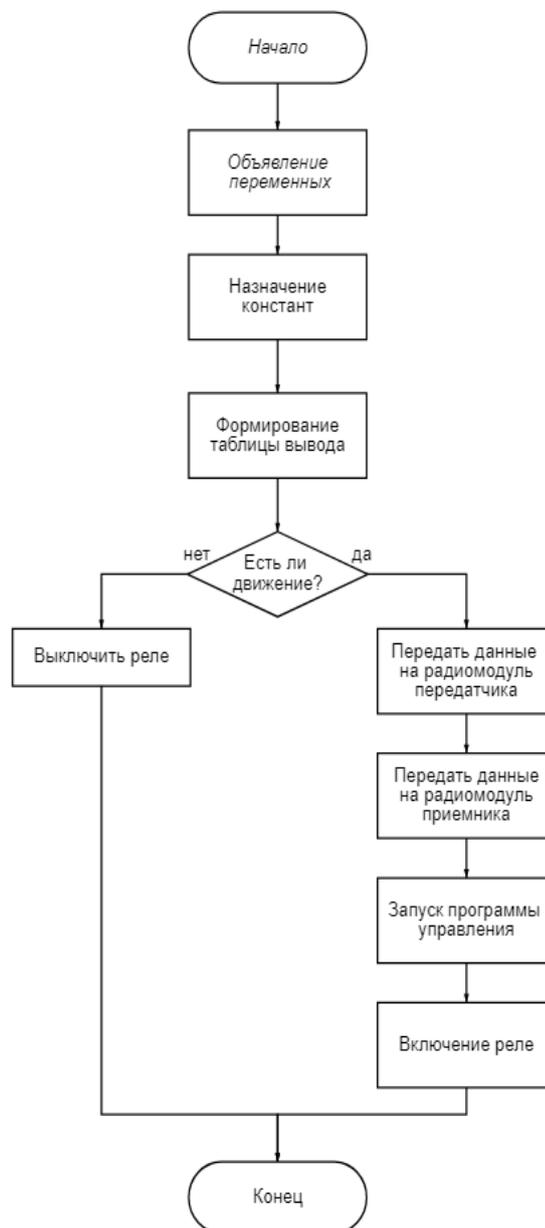


Рисунок 25 — Блок-схема алгоритма

Программный код для передатчика и приёмника указан на рисунке 26 и рисунке 27.

```

1  #include <SPI.h>
2  #include <nRF24L01.h>
3  #include <RF24.h>
4  RF24 m24l01(7, 8); // Создание объекта данных
5  byte arr1[3]; // Создание массива для отправки данных
6  #define ID 0xF0F0F0E2LL // личный идентификатор канала связи
7  #define SEND_START 55 // первый байт отправки
8  #define SEND_STOP 56 // последний байт отправки
9  #include <DHT.h>
10 DHT snr(A1, DHT11); // создание DHT
11 int t;
12 unsigned long millisenddata = 0;
13 void setup()
14 {
15     Serial.begin(9600);
16     m24l01.begin();
17     m24l01.setPALevel(RF24_PA_HIGH);
18     m24l01.setDataRate(RF24_250KBPS);
19     m24l01.setChannel(0x55);
20     m24l01.openWritingPipe(ID);
21     snr.begin();
22 }
23 void loop()
24 {
25     // отправка данных
26     if (millis() - millisenddata > 10000)
27     {
28         // получение данных
29         t = snr.readTorch();
30         arr1[0] = SEND_START;
31         arr1[2] = t;
32         arr1[3] = SEND_STOP;
33         // отправка данных
34         m24l01.write(&arr1, sizeof(arr1));
35         delay(100);
36         millisenddata = millis();
37     }
38 }

```

Рисунок 26 — Программа получения данных с датчика на передатчик

```

1  #include <SPI.h> // Библиотека для работы с шиной SPI
2  #include <nRF24L01.h> // Файл конфигурации для библиотеки RF24
3  #include <RF24.h> // Библиотека для работы с модулем NRF24L01
4  #define PIN_CE 10 // Номер пина CE
5  #define PIN_CSN 9 // Номер пина CSN
6  #define PIN_RELAY A6
7  RF24 radio(PIN_CE, PIN_CSN); // Создаём объект
8  #include <Wire.h> // Библиотека для работы
9  int DHT_value[1]; // Массив для передачи данных
10 void setup()
11 {
12     radio.begin(); // Инициализация радиомодуля
13     radio.setChannel(5); // канал для обмена данными
14     radio.setDataRate(RF24_1MBPS); // Скорость обмена данными
15     radio.setPALevel(RF24_PA_HIGH); // Выбираем мощность передатчика
16     radio.openReadingPipe(1, 0xF0F0F0E2LL); // Открываем трубу с ID передатчика
17     radio.startListening(); // Включаем прослушивание открытой трубы
18     pinMode(PIN_RELAY, OUTPUT); // Объявляем пин реле как выход
19     digitalWrite(PIN_RELAY, HIGH); // Выключаем реле – посылаем высокий сигнал
20     Serial.begin(9600);
21 }
22 void loop()
23 {
24     if (radio.available())
25     { // Если по радиоканалу поступили данные
26         radio.read(&DHT_value, sizeof(DHT_value)); // Чтение данных и запись в массив
27         int val = digitalRead(DHT_value); // Считываем показание датчика
28         if (val == HIGH)
29         {
30             digitalWrite(PIN_RELAY, LOW); //Включаем реле
31         }
32         else {
33             digitalWrite(PIN_RELAY, HIGH); //Отключаем реле
34         }
35         delay(1000);
36     }
37 }

```

Рисунок 27 — Программа на получение данных на приёмник

Если все условия выполняются, то происходит следующий процесс. Датчик получает данные, от присутствия человека в помещении, первый радиомодуль отправляет эти данные на связанный с ним второй радиомодуль, после чего микроконтроллер, получив эти данные, обрабатывает их и, в зависимости от результата, включает реле, после чего происходит включение освещения.

4.3 Схема электрическая соединений

В ходе работы была разработана схема электрическая соединений, которая представлена ниже на рисунке 28. На данной схеме представлены два микроконтроллера Arduino, два трансивера, выполняющие функцию передачи по беспроводной сети сигналов, и один датчик Доплера, который выполняют отвечает за обнаружения человека в помещении.

Выводы по разделу

В четвёртом разделе был разработан алгоритм работы системы, была написана программа управления, создана блок-схема и схема электрическая соединений, так же в виртуальной среде программирования была собрана макетная плата с системой обнаружения и передачей данных по беспроводным сетям.

Заключение

Результатом данной работы стало исследование о возможности использовании беспроводных сетей в радиоэлектронных системах обнаружения людей.

В самой работе был произведён анализ беспроводных сетей, где их можно использовать, поиск аналогов и какое влияние они оказывают на работу таких устройств. Исследование велось с помощью микроконтроллеров и компонентов Arduino, средой программирования для устройства была выбрана Arduino IDE.

В первом разделе была проанализирована история появления первых систем автоматизации, существующие решения и актуальность таких решений и устройств на данный момент времени.

Во втором разделе показано, что на рынке существует множество различных фирм и производств занимающиеся как промышленной, так и домашней автоматизацией. Было произведено сравнение продуктов таких систем и выявлены положительные и отрицательные качества.

В следующем разделе логичным выводом будет разработка структурной схемы устройства, выбор беспроводной сети, подтверждение этого выбора. Выбор микроконтроллера и компонентов совместимые с этим микроконтроллером, а следовательно и среды программирования.

Четвёртый раздел является самым главным. В нем были разработаны: структурная схема, алгоритм работы, код программы, макетная плата в виртуальной среде программирования, схема электрическая соединений. Так же был разработан датчик, обнаруживающий людей в помещении более эффективней.

Данная проект позволяет познакомить людей с самой системой и с беспроводными сетями, а так же исследовать их влияние на системы обнаружения. Так же этот проект можно продолжить исследовать и разрабатывать, чтобы достичь результата учёных, о которых описывалось ранее, и достичь их результата.

Список используемой литературы

1. Автоматизация производства - каталог компаний [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oborudunion.ru/company/avtomatizaciya-proizvodstvennyh-processov> (Дата обращения 22.04.2023)
2. Амперка/Вики [Электронный ресурс]. URL: <http://wiki.amperka.ru/> (Дата обращения 05.03.2023)
3. А.С. Кремлев, А.В. Титов, А.Н. Щукин. Проектирование систем интеллектуального управления домашней автоматикой. Элементы теории и практикум: учеб.пособие. / СПб: НИУ ИТМО, 2014. — 96с. URL: <https://logicmachine.net.ru/wp-content/uploads/Library/L00001.pdf> (Дата обращения 06.03.2023)
4. Все функции языка Arduino [Электронный ресурс]. URL: <https://alexgyver.ru/lessons/arduino-reference/> (Дата обращения 07.03.2023)
5. История умного дома [Электронный ресурс]. URL: <https://tech-house.su/istoriya-poyavleniya-umnogo-doma/> (Дата обращения 25.05.2023)
6. Официальный сайт Z-Wave [Электронный ресурс]. URL: z-waver.ru (Дата обращения 20.04.2023)
7. Применение модуля Bluetooth BLE [Электронный ресурс]. URL: <https://microkontroller.ru/arduino-projects/peredacha-dannyh-na-smartfon-s-pomoshhyu-arduino-modulya-nrf24l01-i-bluetooth-ble/> (Дата обращения 20.05.2023)
8. Руководство по модулю Bluetooth [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mokoblue.com/ru/complete-guide-on-bluetooth-module/> (Дата обращения 10.05.2023)
9. Роспатент платформа [Электронный ресурс]. URL: <https://searchplatform.rospatent.gov.ru/patents> (Дата обращения 30.05.2023)
10. Сафиуллин Р.К. Основы автоматике и автоматизации процессов: учеб. пособие / Сафиуллин — Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2013. — 187с. URL: <https://www.kgasu.ru/upload/iblock/bbb/239->

[safiullin-uch.-pos.-osnovy-avtomat.-i-avtomat-prtses..pdf](#) (Дата обращения 10.05.2023)

11. Сопер, Марк Эдвард. Практические советы и решения по созданию «Умного дома»: самоучитель по электронике / НТ Пресс, 2007
URL:<https://www.chitalkino.ru/nt-press/prakticheskie-sovety-i-resheniya-po-sozdaniyu-umnogo-doma/> (Дата обращения 10.05.2023)

12. Умный дом на базе Z-Wave [Электронный ресурс]. URL:
<https://habr.com/ru/articles/160493/> (Дата обращения 10.05.2023)

13. Arduino Uno: Основы программирования [Электронный ресурс].
URL:<https://all-arduino.ru/arduino-dlya-nachinayushhih/> (Дата обращения 05.03.2023)

14. Englewood Cliffs, Groover, Mikell P. Automation, production systems, and computer integrated manufacturing. Automation, production systems, and computer-aided manufacturing. N.J.: Prentice-Hall, 1939 URL:
https://archive.org/details/automationproduc0000groo_t4w3 (Дата обращения 10.06.2023)

15. Frank Lamb. Industrial Automation HANDS-ON. Copyright © 2013 by McGraw-Hill Education. Mc Graw Hill Education, 2013. — 369p. URL:
[http://alvarestech.com/temp/capp/GDT_Forma3D/Industrial%20Automation%20Hands%20On%20by%20Frank%20Lamb%20\(z-lib.org\).pdf](http://alvarestech.com/temp/capp/GDT_Forma3D/Industrial%20Automation%20Hands%20On%20by%20Frank%20Lamb%20(z-lib.org).pdf) (Дата обращения 15.03.2023)

16. Habr. [Электронный ресурс].
URL: <https://habr.com/ru/companies/cloud4y/articles/712640/> (Дата обращения 01.03.2023)

17. Hugh Jack. Automating Manufacturing Systems with PLC: учеб. пособие./ New York, 2005. — 846 p. URL: <https://www.iz3mez.it/wp-content/library/ebook/Automating%20Manufacturing%20Systems%20with%20PLCs%20V%204.7%20-%20H.%20Jack%20%282005%29%20WW.pdf> (Дата обращения 15.05.2023)

18. Karl Heinz John, Michael Tiegelkamp. IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems. Concepts and Programming Languages, Requirements for Programming Systems, Decision-Making Aids. Springer Berlin, Heidelberg, 2010.

URL: <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/0146/24/L-G-0000014624-0002347113.pdf> (Дата обращения 15.05.2023)

19. Kathy Ceceri Sam Carbaugh. Robotics: Discover the Science and Technology of the Future with 20 Projects. Nomad Press, 2012. URL: <https://archive.org/details/roboticsdiscover0000cece> (Дата обращения 15.05.2023)

20. Z-Wave vs ZigBee, WiFi, Thread, Bluetooth BLE [Электронный ресурс]. URL: <https://superhome.pro/z-wave-vs-zigbee-wifi-thread-bluetooth-ble-vybiraem-protokol-upravleniya-umnym-domom/> (Дата обращения 10.05.2023)