

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»  
(БГТУ им. В.Г.Шухова)

(ТИТУЛЬНИК ВРЕМЕННЫЙ) Выпускная квалификационная  
работа  
дисциплина «.»  
«.»

Выполнил: студент группы ВТ-41

Макаров Д.С.

Проверил:

Шамраев А.А.

Белгород 2021

<b>Содержание</b>	<b>1</b>
<b>1 ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>2</b>
<b>2 ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ, АНАЛИЗ И ВЫБОР МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ</b>	<b>3</b>
2.1 Описание и анализ предметной области . . . . .	3
2.2 Выбор методов решения задачи . . . . .	6
<b>3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ</b>	<b>7</b>
3.1 Разработка принципиальной схемы . . . . .	7
3.2 Разработка печатной платы . . . . .	7
<b>4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ</b>	<b>8</b>
4.1 Разработка методов решения задач . . . . .	8
4.2 Разработка структур данных . . . . .	8
4.3 Разработка и описание алгоритмов . . . . .	9
<b>5 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ</b>	<b>11</b>
5.1 Описание модульной структуры программы . . . . .	11
5.2 Спецификации подпрограмм (методов) . . . . .	11
5.3 Описание использованных внешних компонент и библиотек .	14
5.4 Руководство пользователя . . . . .	17
5.5 Тестирование и экспериментальная проверка программного- аппаратного комплекса . . . . .	17
5.6 Оценка качества разработанного комплекса . . . . .	17
<b>6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>18</b>
<b>7 Список литературы</b>	<b>19</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе описано создание межпротокольного шлюза MQTT - CAN, в рамках программно-аппаратного комплекса умный дом.

Основная часть данной записки включает в себя следующие разделы.

Раздел “Описание предметной области, анализ и выбор методов решения задач”, описывающий основные принципы и понятия, используемые в домашней автоматизации, производится анализ существующих решений на рынке систем. Описываются проблемы существующих решений и предлагаются варианты решений этих проблем.

В разделе “Проектирование аппаратного обеспечения” описывается, процесс проектирования схемотехники и печатной платы межпротокольного шлюза MQTT-CAN, а так же обосновывается выбор тех или иных аппаратных компонентов.

В разделе “Проектирование программного обеспечения” описан процесс проектирования и спецификации сетевых и прикладных протоколов CAN шины, форматы кадров, алгоритмы их работы, а так же алгоритмы работы межпротокольного шлюза MQTT-CAN.

Раздел “Программная реализация” описывает структуру данных программного обеспечения межпротокольного шлюза, спецификации подпрограмм, блок-схемы алгоритмов работы подпрограмм и описание используемых в ПО, сторонних библиотек и зависимостей, руководство пользователя, и описание процесса тестирования готового ПАК.

## ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ, АНАЛИЗ И ВЫБОР МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

### 2.1 Описание и анализ предметной области

Программно-аппаратный комплекс - набор аппаратных и программных средств, работающих для выполнения одной или нескольких связанных задач.

Аппаратная часть комплекса представляет собой: компьютеры и микроконтроллеры объединенные в одну вычислительную сеть, посредством гетерогенных сетей, а так же различные датчики и исполнительные устройства.

Программной частью комплекса являются встроенное программное обеспечение, реализующее функционал исполнительных устройств и датчиков, сетевое взаимодействие, различные программные модули сетевых протоколов.

Система домашней автоматизации решает ряд задач таких как:

- ◡ сбор и обработка данных полученных с датчиков системы, а так же с внешних источников.
- ◡ регулирование внутренних параметров системы, в зависимости от обработанных данных и предпочтений пользователей.
- ◡ обеспечение безопасности дома (пожарная безопасность, предупреждение аварийных ситуаций).
- ◡ упрощение однотипных процессов пользователей при помощи программируемых сценариев.
- ◡ экономия ресурсов домовладения, при помощи эффективного их использования.
- ◡ предоставление различных отчетов, по использованным ресурсам домовладения.

Саму система может включать в себя различные подсистемы разделенные по функциональным возможностям:

- подсистема управления освещением:
  - элементы управления освещением
  - модули управления естественным освещением (шторы, рольставни, электрохромные стекла)
  - датчики присутствия, освещения
  - контроллеры сцен освещения (RGB контроллеры)
- подсистема управления климатом:
  - внутренние и внешние метеорологические датчики (термометр, барометр, гигрометр, датчик уровня  $CO_2$  и чистоты воздуха)
  - модули управления климатом
  - термостаты, рекуператоры, гигростаты, приточная и вытяжная вентиляция (с электрическим управлением)
- подсистема безопасности:
  - подсистема видеонаблюдения
  - модули детектирования утечек природного газа, утечек воды
  - умные замки
  - модули сигнализации и сирены
- управляющая подсистема



Рисунок 1 - Схема подсистем системы домашней автоматизации

В данный момент на рынке систем домашних автоматизаций преобладают 2 типа реализаций: готовые экосистемы от крупных производителей

и открытые реализации систем поддерживаемые и разрабатываемые сообществами энтузиастов.

Среди готовых продуктов зарубежных производителей можно отметить Xiaomi Smart Home, Philips Hue, Samsung SmartThings и другие. Отечественные компании так же предлагают к покупке экосистемные продукты такие как “Умный дом Sber” и “Умный дом (Rostelecom)”.

Достоинства таких готовых систем заключаются в простоте настройки и расширения системы, гарантированной тех. поддержки от производителя. Зачастую инфраструктура таких систем находится в облачных вычислительных мощностях, что позволяет использовать домашние устройства из любой точки мира. Из этого следует один из основных недостатков готовых систем домашней автоматизации - привязка к инфраструктуре производителя. При отсутствии подключения к ней, устройства могут терять функционал, вплоть до полного отключения, в случае отсутствия автономных режимов работы. Так же у готовых систем есть проблемы с расширяемостью и совместимостью. Линейка устройств производимая одной компанией может не включать в себя необходимые пользователю устройства, и не иметь возможности расширить систему компонентами сторонних производителей. Использование ПО с закрытым исходным кодом или лицензиями, а так же отсутствие документации, затрудняет разработку компонентов для сторонних производителей или интеграцию компонентов таких систем в другие.

Открытые реализации систем домашней автоматизации, предлагают использование протоколов обмена информации, умных устройств, шлюзов лицензируемых по открытым лицензиям аппаратного и программного обеспечения (MIT, GPL, CERN OHL). Зачастую открытые реализации шлюзов протоколов поддерживают различные устройства из готовых экосистем описанных выше.

@todo написать про НА в разрезе подключения несовместимых между собой устройств Для

@todo написать про селфхостед и облачные решения

## 2.2 Выбор методов решения задачи

@todo (предлагаем гетерогенные приколы)

@todo (рассказываем про CAN)

@todo (рассказываем про MQTT)

@todo (рассказываем про Bluetooth LE Mesh)

@todo (рассказываем про все вместе)

@todo (схема концепции умного дома)

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## 3.1 Разработка принципиальной схемы

@todo (нарисовать схему шлюза и рассказать про ее модули)

## 3.2 Разработка печатной платы

@todo (нарисовать плату и рассказать про нее)

Печатная плата спроектирована для изготовления по следующим техническим процессам.

- ˘ Материал изготовления: стеклотекстолит FR4
- ˘ Минимальный зазор между проводниками: 0.1 мм
- ˘ Количество слоев: 2
- ˘ Переходные отверстия: 0.2 мм
- ˘ Минимальный размер отверстия: 0.2 мм
- ˘ Толщина печатной платы: 1.5 мм
- ˘ Толщина слоя металлизации: 18 мкм

@todo добавить ссылку на литературу на ГОСТ. Класс точности печатной платы: 5 (ГОСТ 23751-86)



# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## 4.1 Разработка методов решения задач

@todo (схема модели OSI но с CAN)

Так как стандарт CAN не описывает протоколы прикладного и канального уровня, а существующие протоколы заточены на использования в автомобильной индустрии или крупных промышленных установок.

## 4.2 Разработка структур данных

Ниже описаны структуры используемые в протоколе канального уровня CAN шины.

@todo CAN\_ID, DHCP\_CAN\_IP: структуры данных

@todo Структуры данных, спецификации и блок схемы DHCP.

Следующие структуры используются в протоколе получения адреса DHCP\_LIKE.

**Адресная таблица, используемая для управления адресами на CAN шине**

Для хранения информации о выданных адресах мастер на CAN шине (в данном случае шлюз), создает у себя в памяти таблицу соответствия адреса устройства на CAN шине и уникального аппаратного идентификатора.

Таблица представляет из себя массив размером до 255 элементов, каждый элемент содержит структуру запись таблицы. Она состоит из 2 полей:

- can\_addr - 1 байтовое беззнаковое число, содержащее адрес устройства на шине.
- hwid - массив из 4-х 4 байтовых чисел, содержащее уникальный аппаратный идентификатор.

#### 4.3 Разработка и описание алгоритмов

##### Алгоритмы работы с адресная таблицей

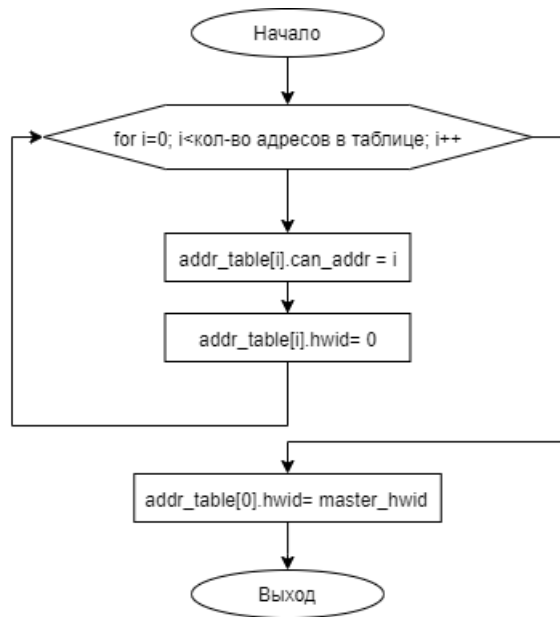


Рисунок 2 - Блок схема алгоритма инициализации адресной таблицы

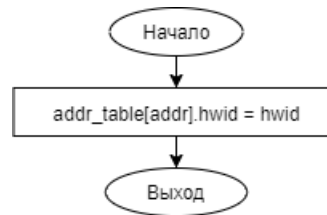


Рисунок 3 - Блок схема алгоритма добавления адреса в адресную таблицу

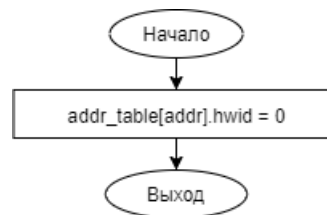


Рисунок 4 - Блок схема алгоритма удаление адреса из адресной таблицы

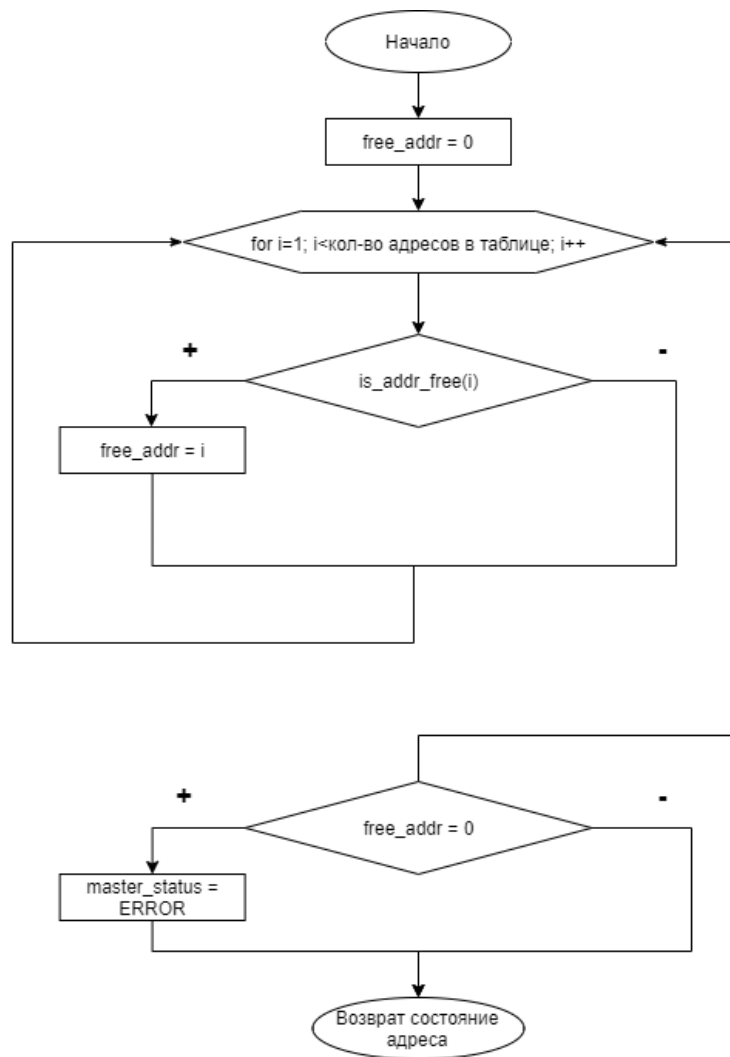


Рисунок 5 - Блок схема алгоритма поиска свободного адреса

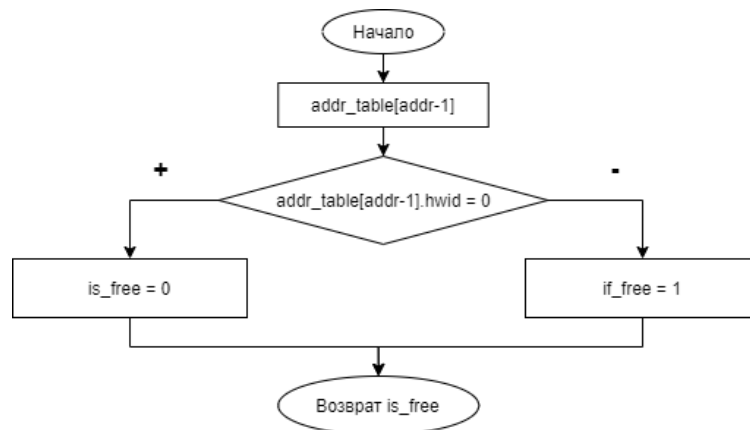


Рисунок 6 - Блок схема алгоритма проверка доступности адреса

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

### 5.1 Описание модульной структуры программы

### 5.2 Спецификации подпрограмм (методов)

#### **Функции модуля `can_bus`**

##### Функция `can_bus_init`

*Назначение:* Функция инициализации периферийного модуля CAN, так же в этой функции инициализируется адрес устройства на шине.

*Входные параметры:* нет

*Возвращаемое значения:* нет

##### Функция `can_send_packet`

*Назначение:* Функция передачи пакета по CAN шине.

*Входные параметры:*

- ~ `uint8_t dest_addr` - Адрес назначения отправленного пакета
- ~ `uint8_t frame_data` - Поле данных зависящих от типа пакета
- ~ `uint8_t frame_type` - Тип пакета
- ~ `uint8_t prior` - Приоритет пакета
- ~ `uint8_t size` - Размер данных в основном теле пакета
- ~ `uint8_t* data_ptr` - Указатель на данные.

*Возвращаемое значения:* нет.

##### Функция `can_recv_packet`

*Назначение:* Функция настраивает программные фильтры входящих пакетов, и ожидает окончания приема первого подходящего под фильтр пакета.

*Входные параметры:*

- ~ int16\_t src\_addr - Адрес отправителя, (-1 если любой)
- ~ int16\_t frame\_type - Тип принимаемого пакета (-1 если любой)
- ~ can\_id\* id\_ptr - Указатель на структуру-идентификатор CAN пакета
- ~ uint8\_t\* data\_ptr - Указатель на основное поле данных CAN пакета.

*Возвращаемое значения:* размер полученных данных в байтах.

## **Функции модуля dhcpr\_like**

Функция dhcpr\_master\_init

*Назначение:* функция инициализация dhcpr\_like протокола.

*Входные параметры:* нет

*Возвращаемое значения:* нет

Функция dhcpr\_slave\_recv\_addr

*Назначение:* функция запроса и получения адреса с master узла по протоколу dhcpr\_like.

*Входные параметры:* нет

*Возвращаемое значения:* адрес полученный в результате запроса, при ошибке или отсутствии свободных адресов -1.

## **Функции работы с адресной таблицей (модуль dhcpr\_like\_master)**

Функция is\_addr\_free

*Назначение:* проверка на доступность к выдаче адреса addr

*Входные параметры:* uint8\_t addr - проверяемый адрес

*Возвращаемое значения:* 0 - адрес занят, иначе адрес свободен

### Функция `find_free_addr`

*Назначение:* поиск свободного адрес в таблице адресов

*Входные параметры:* нет

*Возвращаемое значения:* 0 - свободных адресов нет, иначе свободный готовый к выдаче адрес

### Функция `add_addr`

*Назначение:* выдача адреса `addr`, устройству с аппаратным идентификатором `hwid`

*Входные параметры:*

- ◡ `uint8_t addr` - выдаваемый адрес
- ◡ `uint8_t* hwid` - указатель на массив, содержащий аппаратный идентификатор получателя адреса

*Возвращаемое значения:* нет

### Функция `rm_addr`

*Назначение:* освобождение адреса `addr`

*Входные параметры:* `uint8_t addr` - освобождаемый адрес

*Возвращаемое значения:* нет

### Функция `init_addr_table`

*Назначение:* инициализация адресной таблицы

*Входные параметры:* нет

*Возвращаемое значения:* нет

### 5.3 Описание использованных внешних компонент и библиотек

@todo добавить ссылку [https://github.com/ARM-software/CMSIS\\_5](https://github.com/ARM-software/CMSIS_5)

#### **Библиотека CMSIS**

Так как разработка ПО ведется для процессоров архитектуры ARM, была использована библиотека абстрагирования аппаратного уровня CMSIS. CMSIS - Cortex Microcontroller Software Interface Standart (Стандарт программных интерфейсов микроконтроллеров архитектуры Cortex). Данная библиотека предоставляет независимые от аппаратной реализации программные абстракции для работы с процессором построенным на архитектуре ARM Cortex. Библиотека предназначена для уменьшения порога вхождения в разработку встраиваемых систем на основе процессоров ARM и уменьшении времени разработки новых устройств. В состав библиотеки входят:

- ◡ Core(M) - Стандартизированное API для процессоров и периферии семейства Cortex-M.
- ◡ Core(A) - Стандартизированное API для процессоров Cortex(A) и базовая среда выполнения для них.
- ◡ Driver - Интерфейсы для работы с базовой периферией и примеры работы с графическими интерфейсами, файловыми системами и тд.
- ◡ DSP - Модуль для работы с аппаратным ускорителем обработки чисел с фиксированной запятой (q7,q15,q31), и 32 битных чисел с плавающей запятой одинарной точности.
- ◡ NN - Модуль содержащий среды выполнения нейронных сетей различных архитектур, оптимизированные для работы с процессорами ARM.
- ◡ RTOSv1/v2 - Программный интерфейс с базовой реализацией компонентов операционной системы реального времени, независимых от самой реализации ОС.
- ◡ SVD - Модуль для работы с различными отладчиками
- ◡ Zone - Модуль описывающий методы разделения сред исполнения программного кода.

## **Библиотека STM32CUBE для работы с периферией микроконтроллера**

STM32Cube - набор инструментов для быстрой разработки встраиваемых систем, на базе процессоров STM32.

Он состоит из нескольких независимых друг от друга инструментов, документации к ним и примеров использования.

STM32CubeMX - генератор начального кода инициализации и пользовательского интерфейса позволяющий:

- ◡ Генерировать код инициализации процессора, тактовых генераторов, периферии и других сторонних библиотек, на языке программирования Си.
- ◡ Генерировать готовые проекты под разные системы сборки и IDE.
- ◡ Рассчитывать потребляемую устройством мощность, в зависимости от выбранных пользователем тактовых частот и включенной периферии.
- ◡ Встроенная утилита для поддержания библиотек в актуальном состоянии.

Существуют пакеты STM32Cube для каждого семейства микроконтроллеров STM32, каждый такой пакет включает в себя:

- ◡ HAL - абстракцию между различными микроконтроллерами STM32, предоставляющую единый стандартизированный программный интерфейс.
- ◡ LL - легковесный оптимизированный программный интерфейс, жестко привязанный к конкретному процессору, но разработанный с расчетом на энергоэффективность и быстродействие.
- ◡ Набор сторонних библиотек, таких как операционные системы реального времени (FreeRTOS, Azure RTOS), библиотеки работы с USB устройствами, TCP-IP стек, библиотеки работы с сенсорными устройствами, а так же инструменты для создания графических пользовательских интерфейсов.



## Библиотека ioLibrary для работы с чипами Wiznet и протоколами Internet

Библиотека ioLibrary (“Internet Offload Library”) предназначена для работы с контроллерами фирмы Wiznet. Данная библиотека предоставляет программный интерфейс для взаимодействия с чипами, совместимый с Berkley Socket.

Так же в поставке библиотеки присутствуют реализации таких протоколов прикладных как FTP, DHCP, DNS, MQTT, HTTP.

### Реализация семейства функции printf без зависимостей от stdlib.h

Для генерации символьных сообщений протокола MQTT удобно использовать функцию *sprintf*, из семейства функций *print formatted*, позволяющая выводить строки содержащие значения различных типов. В случае функции *sprintf*, она позволяет выводить в отформатированную функцию в переменную строки а не потоки ввода-вывода, в отличии от других функций семейства. Но функции входящие в стандартную библиотеку языка Си, не подходят для использования в встраиваемых система из-за ряда особенностей.

Во первых стандартная реализация функций *printf* имеет ряд зависимостей из стандартной библиотеки языка Си, которые после компиляции занимают значительный объем в флеш памяти микроконтроллера (около 32 Кб).

Во вторых стандартная реализация *printf* использует динамическое выделение памяти, что не рекомендовано стандартами и руководствами разработки программно-аппаратных комплексом высокой надежности и ответственности (IEC 61508, MISRA C).

Для решения этой проблемы была использована сторонняя реализация функций семейства printf (ссылка на репозиторий) для языка Си, разработанная специально для использования в встраиваемых системах.

Данная реализация имеет совместимость с реализацией из стандартной библиотеки, но занимает значительно меньший объем в флеш памяти микроконтроллера (14 Кб против 32 Кб).

Так же реализация не использует динамическое выделение памяти для работы функций, что соответствует мировым стандартам разработки встраиваемых систем, а так же исправляет некоторые особенности стандартной реализации функций семейств *printf*, связанных с потоко-безопасностью.

Библиотека с сторонней реализацией распространяется с открытой лицензией MIT, что позволяет использовать данную реализацию в любых коммерческих и не коммерческих разработках.

#### 5.4 Руководство пользователя

#### 5.5 Тестирование и экспериментальная проверка программного-аппаратного комплекса

#### 5.6 Оценка качества разработанного комплекса

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## Список литературы