

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ

«ШАГ В БУДУЩЕЕ, МОСКВА»

ИУ-5

СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

КВАДРОКОПТЕР НА ОСНОВЕ ПОЛЁТНОГО КОНТРОЛЛЕРА
СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ

Автор:

Дорошин Максим Евгеньевич
МОУ Гимназия №41, г. Люберцы
класс 10Б

Научный руководитель:

Токарев Вячеслав Владимирович
МОУ Гимназия №41, г. Люберцы
Учитель физики
Кандидат физико-математических наук.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время квадрокоптеры активно внедряются в нашу жизнь. Их используют для изучения местности, фото и видеосъёмки в труднодоступных местах, для поиска и спасения людей. В перспективе транспортировка товаров и лекарств, что особенно актуально сегодня, в период пандемии.

Цель работы: создать полётный контроллер и собрать на его основе квадрокоптер.

Задачи:

1. Изучить строение и принцип работы квадрокоптеров;
2. Выбрать основные параметры своего контроллера;
3. Разработать и произвести печатную плату контроллера полёта;
4. Разработать программу для пульта и полётного контроллера и протестировать все его функции;
5. Собрать квадрокоптер на основе разработанного контроллера;
6. Разработать приложение для анализа данных телеметрии квадрокоптера;
7. Провести испытательный полёт квадрокоптера.

Методы: 3д моделирование, травление печатной платы, во время тестирования платы использовались мультиметр и осциллограф, пайка, программирование на языках C и C#,

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ИЗУЧЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОСНОВ РАБОТЫ КВАДРОКОПТЕРОВ

Составные части квадрокоптера

Рама – важнейшая деталь, выполненная в виде двух пересекающихся реек с крестовиной посередине, на раме располагаются составные части квадрокоптера, поэтому она должна быть легкой и прочной. Крестовина – место для крепления электронных элементов дрона, она изготавливается из текстолита или пластика, а лучи, на которые крепятся винты, могут быть сделаны из пластика, алюминиевого профиля или карбоновых трубок. Рама для удобства использования бывает складной.

К полетному контроллеру прикрепляется различные датчики: гироскоп, акселерометр, барометр, GPS. Плата-контроллер определяет функциональные характеристики, которыми будет обладать в полете квадрокоптер, поэтому важно, чтобы контроллер был хорошо защищен от вибрации и пыли и располагался на уровне линии вращения роторов.

Электромоторы. Каждый квадрокоптер имеет четыре двигателя, которые обеспечивают вращение винтов. На каждом из моторов квадрокоптера находится регулятор оборотов двигателя, с его помощью контроллер и управляет винтомоторной частью дрона.

Пропеллеры. Аэродинамическая подъемная сила создается у квадрокоптера посредством вращения четырех роторов, винты подбирают с узкими лопастями и небольшим диаметром, бывают пропеллеры с двумя и с тремя лопастями, одна пара роторов вращается вправо, а вторая - влево.

Аккумулятор. Квадрокоптеры работают на электричестве от аккумулятора, наибольшей популярностью пользуются литий-полимерные аккумуляторы, так как они обладают наибольшей энергоёмкостью при небольшой массе.

Радиоприемник/передатчик. Передает и принимает сигналы с пульта управления на плату-контроллер. Дальность действия зависит от конкретной модели радиоаппаратуры.

Принцип работы квадрокоптера

Элементы для дрона можно приобрести по отдельности или даже сделать собственными руками. Однако для того, чтобы конструкция поднялась в воздух нужно понимать принципы, по которым построено устройство квадрокоптера. Винты, поднимающие его в воздух, управляются парными синхронными двигателями, которые могут быть коллекторными и бесколлекторными. Расположенные по крайним противоположным точкам диагоналей пропеллеры двигаются в одном направлении (по часовой стрелке или наоборот). Два другие аналогичные элемента двигаются в противоположную сторону. За их работу отвечает блок управления (контроллер полёта) и аккумулятор, питающий их. Посредством приемника управляющая плата получает сигналы от дистанционного пульта. Пульт, в свою очередь, управляет пользователем, находящийся на удалении от аппарата. Сигнал, подаваемый от аппаратуры, дает команду полётному контроллеру, и он усиливает или ослабляет работу двигателей.

В зависимости от того, сколько двигателей приостанавливают или усиливают свою деятельность, меняется характер и траектория движения дрона. Он может:

- Подниматься вверх;
- Спускаться;
- Двигаться по горизонтали;
- Вперед;
- Назад;
- Влево;
- Вправо.

Аналогично тому, как происходит движение, также производится и наклон аппарата. Кроме того, некоторые модели могут кружиться на месте и даже выполнять перевороты вокруг оси на месте.

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА ПОЛЁТА

Контроллер квадрокоптера будет состоять из печатной платы и напечатанной на 3д принтере платформы для крепления к раме квадрокоптера.

На печатной плате будут находиться:

1. Микроконтроллер;
2. IMU сенсор (гироскоп, акселерометр, магнетометр);
3. Барометр;
4. Радиоприёмник/передатчик;
5. Разъёмы для подключения к драйверам моторов;
6. Разъём для программирования;
7. Разъём подключения к вспомогательному компьютеру (Raspberry PI и др.) для автономной работы по изображению с камер, радаров и других датчиков (на данный момент не используется);
8. Стабилизатор напряжения на 3.3В.

Названия и основные параметры выбранных компонентов контроллера приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры выбранных компонентов контроллера квадрокоптера

Название компонента	Почему был выбран данный компонент
Микроконтроллер STM32F103C8T6	<ul style="list-style-type: none">• Данный микроконтроллер содержит 32 битное ядро архитектуры ARM-Cortex M3, которое обладает достаточно высокой производительностью• Есть DMA (функция для передачи данных периферийным устройствам без использования

	<p>основного процессора), что позволяет отправлять данные регуляторам скорости моторов параллельно с обработкой информации с IMU сенсора и пульта управления. Таким образом можно значительно увеличить частоту считывания ускорения и угловой скорости, что необходимо для точного определения ориентации</p> <ul style="list-style-type: none"> • Доступность
IMU сенсор BMX055	<ul style="list-style-type: none"> • Высокоточный гироскоп с нулевым смещением ± 1 °/с и разрешением 0.06 °/с при диапазоне измерений ± 2000 °/с • Высокая скорость измерений (гироскоп – 2000 раз/с, акселерометр – 1000 раз/с, магнетометр – 100 раз/с)
Барометр BMP388	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая точность измерений ± 8 Па (± 66 см)
Радиоприёмник /передатчик SI4432	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая мощность передачи и чувствительность приёма обеспечивают дальность передачи 1 км • Возможность приема и отправки данных с помощью одного устройства • Возможность выбора несущей частоты от 240 до 930 МГц
Стабилизатор напряжения AMS1117-3.3	<ul style="list-style-type: none"> • Высокая точность выходного напряжения (± 15 мВ) • Доступность

Микроконтроллер, IMU сенсор и барометр выполнены в виде микросхем. Радиоприёмник состоит из микросхемы SI4432, антенны,

печатной платы с контактами для удобного подключения к макетной плате или другим печатным платам.

Изначально в проекте использовался другой радиоприёмник/передатчик NRF24L01+, но данный передатчик обладает меньшей мощностью и был слишком чувствительным к помехам от электромоторов. SI4432 использует шину данных SPI, как и NRF24L01+, по этому для подключения данного модуля я не переделывал печатную плату, а только сделал переходник для изменения расположения контактов на модуле.

Принципиальная схема и печатная плата были разработаны в среде “Easy EDA”.

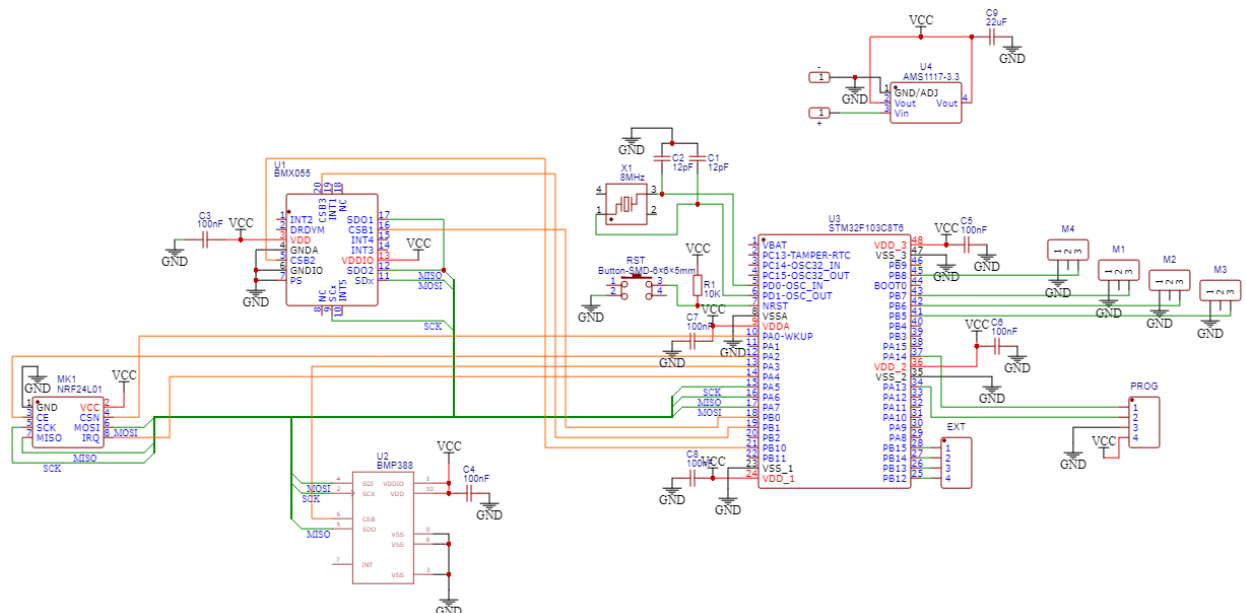


Рисунок 1 – Принципиальная схема контроллера квадрокоптера

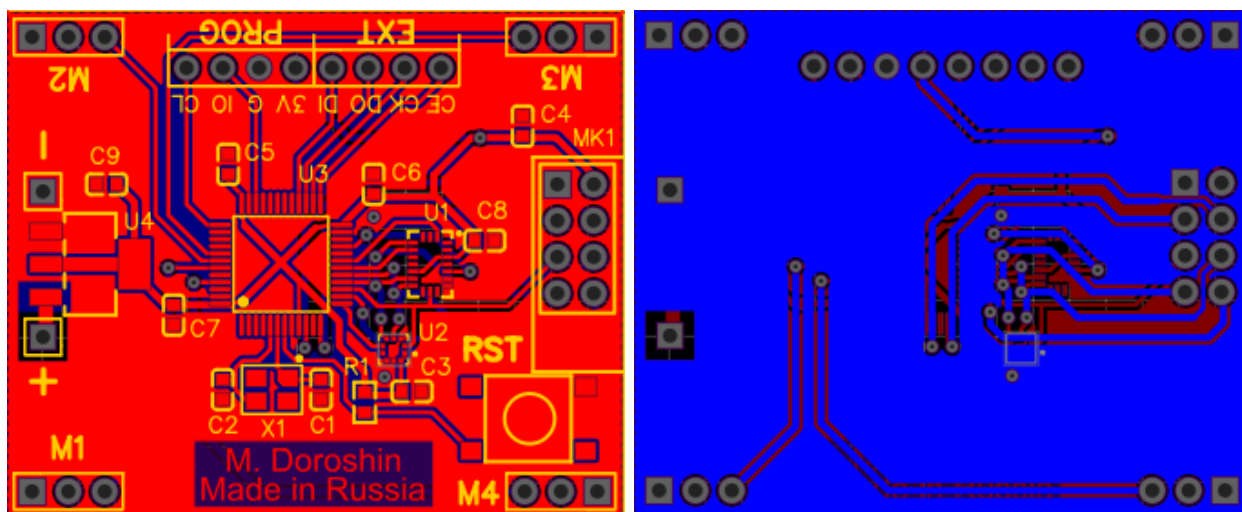


Рисунок 2 – Схема печатной платы

Для крепления к раме квадрокоптера была создана 3д модель крепления и напечатана на 3д принтере.

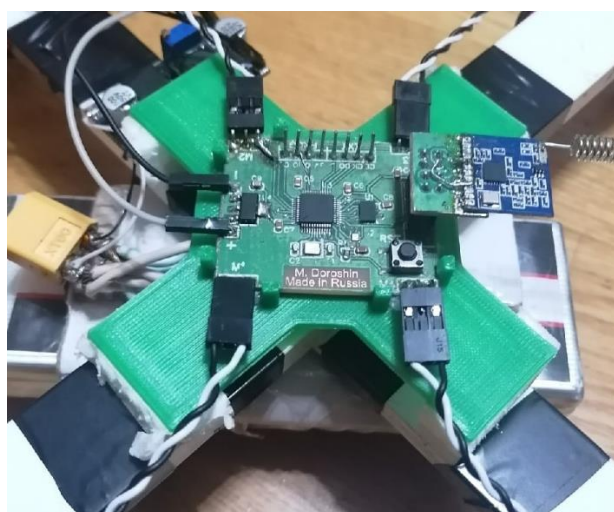


Рисунок 3 – плата с напечатанным креплением

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Плату было решено создать в домашних условиях, так как изготовление печатных плат на заказ на заводах в России достаточно дорого, а если заказать в Китае, то доставка может занять от нескольких недель до 2 месяцев.

Есть 2 способа изготовления печатных плат в домашних условиях: с помощью фоторезиста как на заводах и ЛУТ (лазерно-утюжная технология).

Последний так называется, так как в данном способе рисунок дорожек наносится на глянцевую бумагу лазерным принтером и затем переносится на плату с помощью нагревания утюгом.

Таблица 2 – Сравнение способов изготовления печатной платы:

Фоторезист	ЛУТ
<p>Плюсы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Высокая точность, можно делать дорожки шириной от 0.2мм • Можно изготавливать одинаковые платы одним и тем же шаблоном • Легче получить желаемый результат 	<p>Плюсы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Не требуется покупка специальных материалов и устройств
<p>Минусы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Требуется покупка прозрачной плёнки для печати и фоторезиста • Желательно использование УФ лампы для засвечивания фоторезиста (можно засвечивать под солнцем, но это займет много времени) 	<p>Минусы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Низкая точность • Для изготовления нескольких одинаковых плат надо печатать на принтере рисунок для каждой платы заново • Трудно достичь хорошего качества печатной платы

Как видно из таблицы, производство платы с помощью фоторезиста является более совершенным методом изготовления печатных плат, поэтому свою плату я сделал именно этим методом.

Этапы создания печатной платы:

1. Сверление монтажных и переходных отверстий;
2. Приклеивание фоторезиста;
3. Приложение напечатанного на принтере шаблона и засвечивание ультрафиолетом;
4. Проявка в растворе кальцинированной соды;
5. Травление меди в растворе лимонной кислоты и перекиси водорода;
6. Смывание фоторезиста растворителем;
7. Проверка дорожек на разрывы и короткие замыкания мультиметром;
8. Нанесение паяльной маски;
9. Засвечивание паяльной маски ультрафиолетом через шаблон;
10. Проявка паяльной маски в растворе кальцинированной соды;
11. Сушка паяльной маски;
12. Припаивание проволоки через переходные отверстия для создания электрического соединения между двумя слоями;
13. Припаивание электронных компонентов.

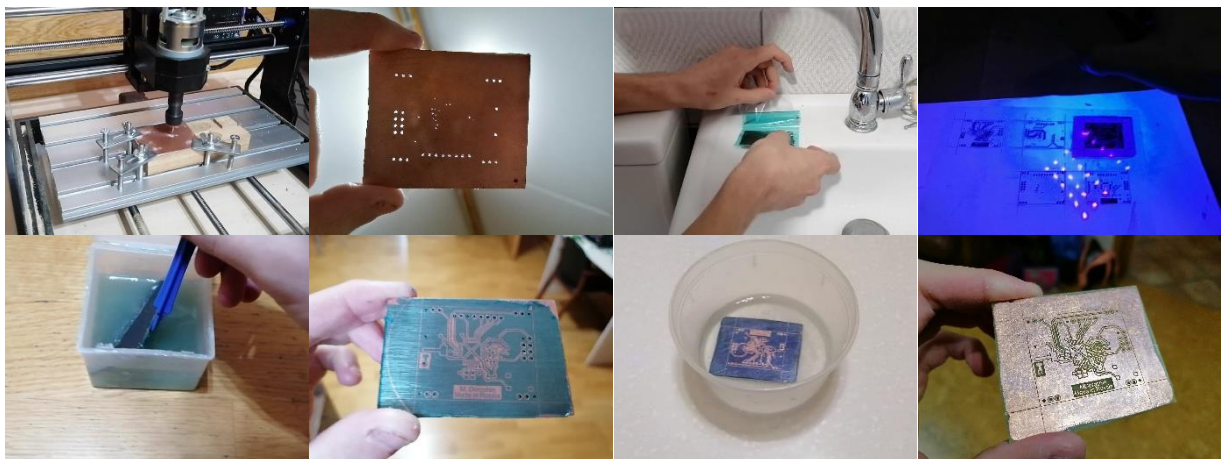


Рисунок 4 – Фотографии сверления отверстий и создания дорожек

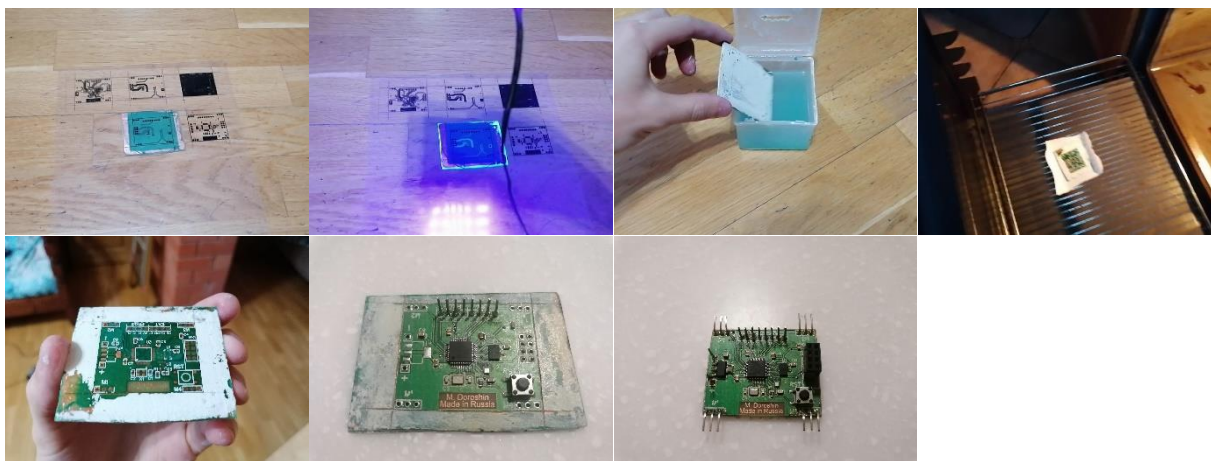


Рисунок 5 – Фотографии нанесения паяльной маски, шелкографии и припаивания компонентов



Рисунок 6 – Готовая печатная плата

СБОРКА КВАДРОКОПТЕРА

Рама квадрокоптера была собрана из алюминиевого профиля 25x10.

Моторы были выбраны RS2205 и пропеллеры 5045. Такая комбинация моторов и пропеллеров обеспечивает тягу 712г при 12В и 1024г при 16В.

Драйверы моторов - BLHeli 30A-S. Данные драйверы моторов могут работать по цифровому протоколу передачи данных, это делает возможным более точное регулирование скоростью вращения вне зависимости от возможных электромагнитных помех. Большинство других регуляторов скорости получают данные от контролера по длине импульса, но такой способ

более восприимчив к помехам, так как нет контрольной суммы и точность зависит от таймера на самом регуляторе и в микроконтроллере.

Для питания контроллера полёта используется DC-DC преобразователь LM2596, так как стабилизатор, находящийся на плате контроллера, может перегреваться при долгом использовании от напряжения 12В от аккумулятора

Аккумулятор используется литий-полимерный с 3 ячейками HBR 5000mAh 11.1V с максимальным током нагрузки 250A.

Крепление для платы, аккумулятора и ножки для посадки напечатаны на 3д принтере из PETG пластика. PETG пластик обладает более высокой прочностью чем PLA пластик который обычно используется для 3д печати, но его также можно печатать на любом 3д принтере.



Рисунок 7 – Фотография собранного квадрокоптера

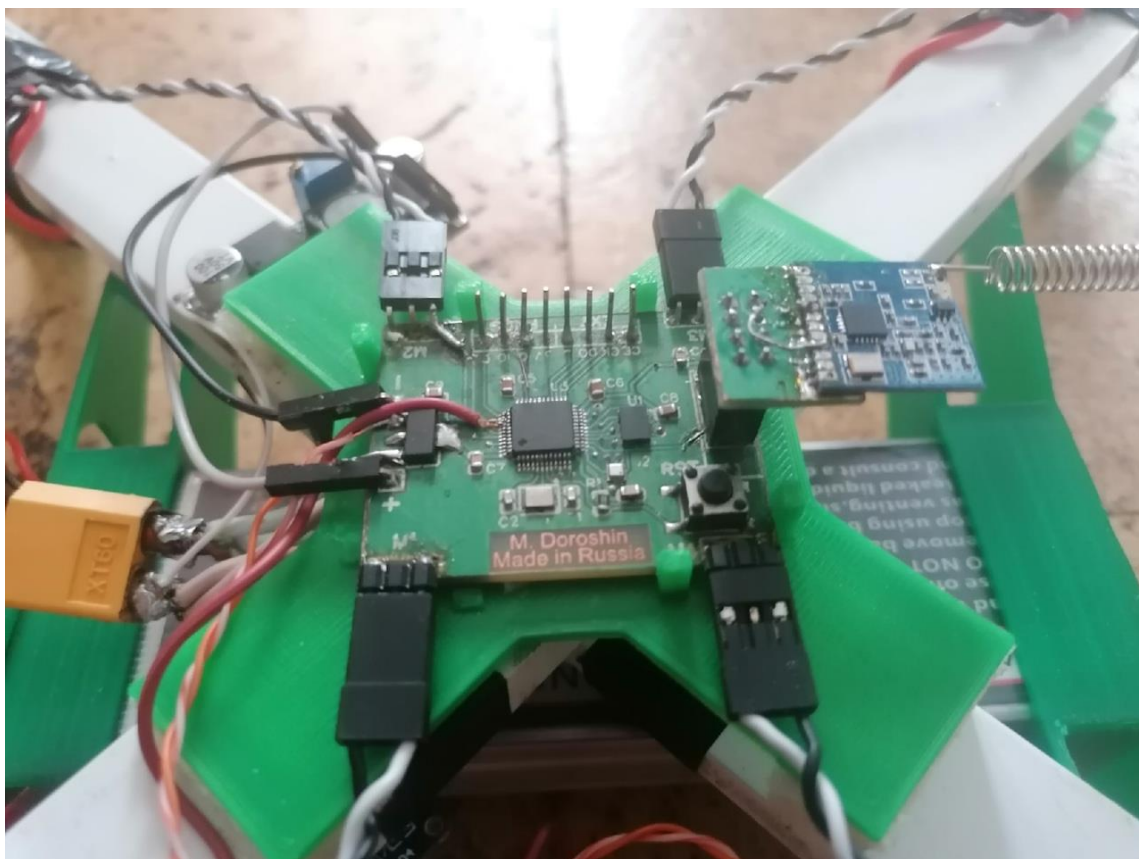


Рисунок 8 – Контролер полёта с подключенным радиоприёмником на квадрокоптере

СБОРКА ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ И ПРИЁМНИКА ТЕЛЕМЕТРИИ

Пульт и приёмник телеметрии собраны на беспаячной макетной плате, так как это занимает меньше времени и для них не требуется прочность, компактность и малый вес в отличие от контроллера квадрокоптера.

Пульт состоит из 2 джойстиков, 3 светодиодов, кнопки, отладочной платы с микроконтроллером и радиопередатчика, закрепленных на макетной плате.

Кнопка используется для включения и выключения стабилизации высоты с помощью барометра. Левым джойстиком изменяется высота или скорость вращения моторов и вращение по вертикальной оси. Правый джойстик используется для перемещения по горизонтали. Светодиоды

используются для индикации режима стабилизации высоты, уровня сигнала и заряда батареи пульта.

В пульте используется плата “Blue Pill” с микроконтроллером STM32F103C8T6 и радиоприёмник/передатчик SI4432.

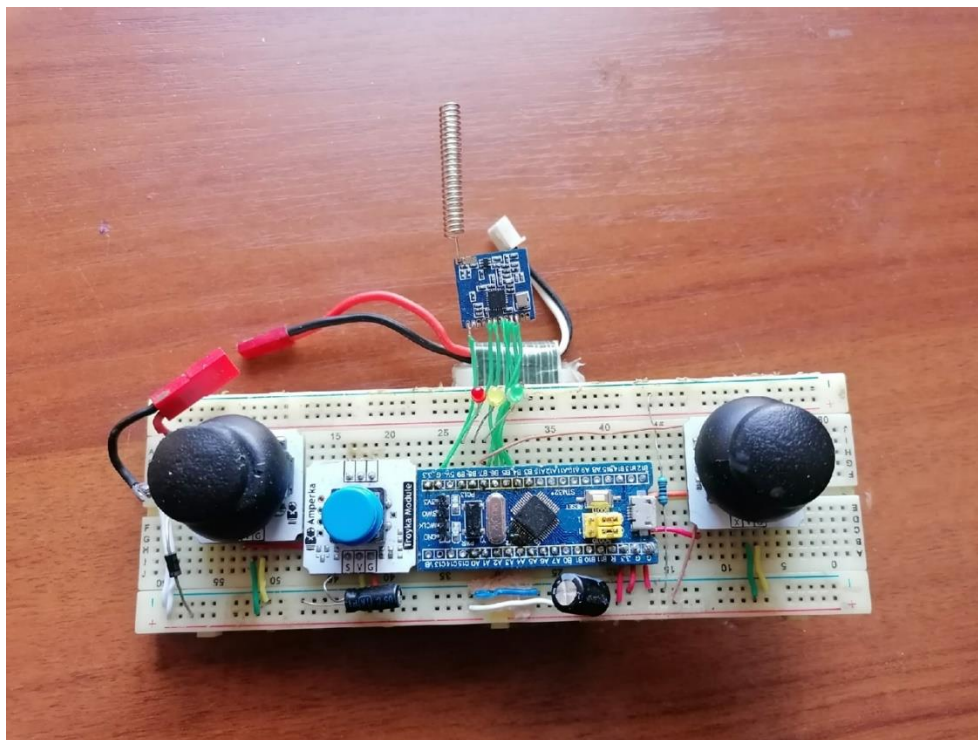


Рисунок 9 – Фотография пульта

Приёмник телеметрии используется для отправки через USB компьютеру телеметрии от квадрокоптера. Для просмотра телеметрии в реальном времени и для анализа данных может использоваться разработанная мной программа.

Приёмник состоит из отладочной платы “Arduino Uno” с микроконтроллером ATMEGA328P и радиоприёмника/передатчика SI4432.

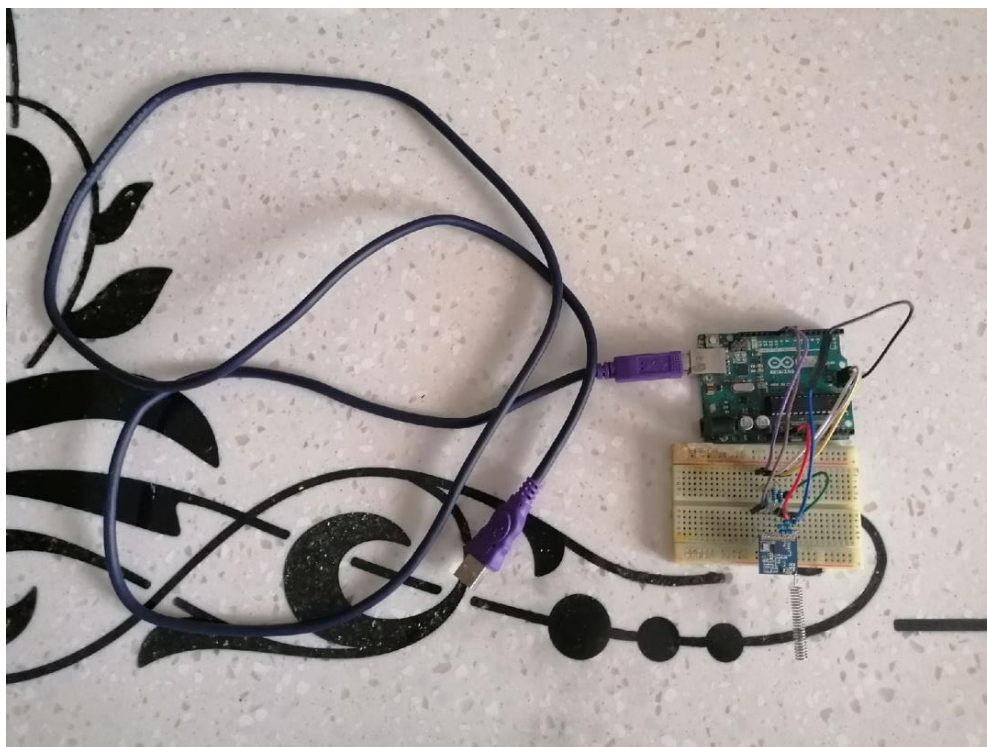


Рисунок 10 – Фотография приёмника телеметрии

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПУЛЬТА ДУ И ПОЛЁТНОГО КОНТРОЛЛЕРА

Программы для пульта и контроллера полёта были написаны в среде программирования Visual Studio 2019 с плагином Visual GDB который позволяет программировать в данной среде микроконтроллеры архитектуры ARM. Программы написаны на языке C.

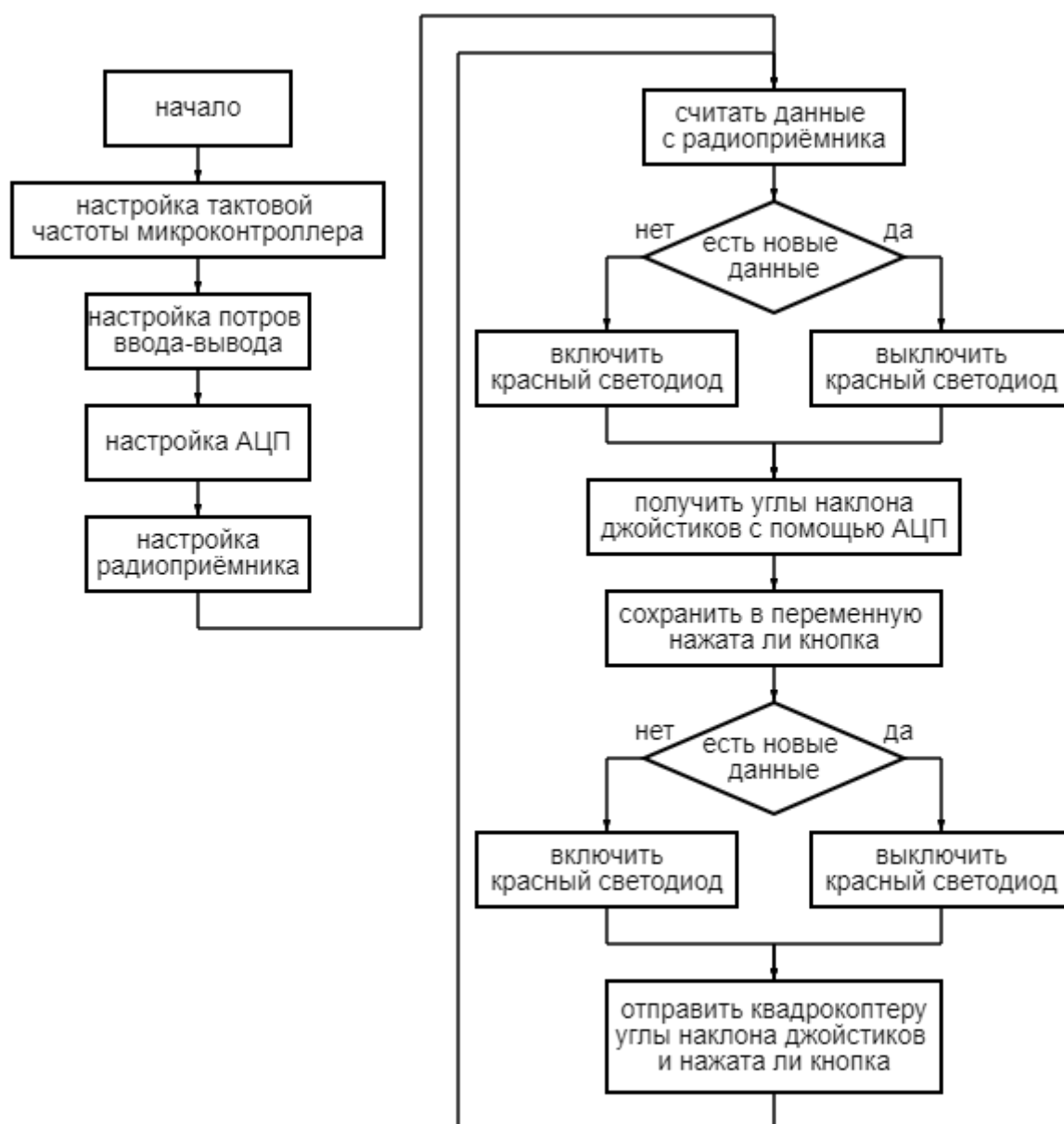


Рисунок 11 – Блок схема программы пульта ДУ

Проект для Visual Studio и программа для пульта доступны в репозитории GitHub: <https://github.com/maxus2004/quadcopter-remote>.

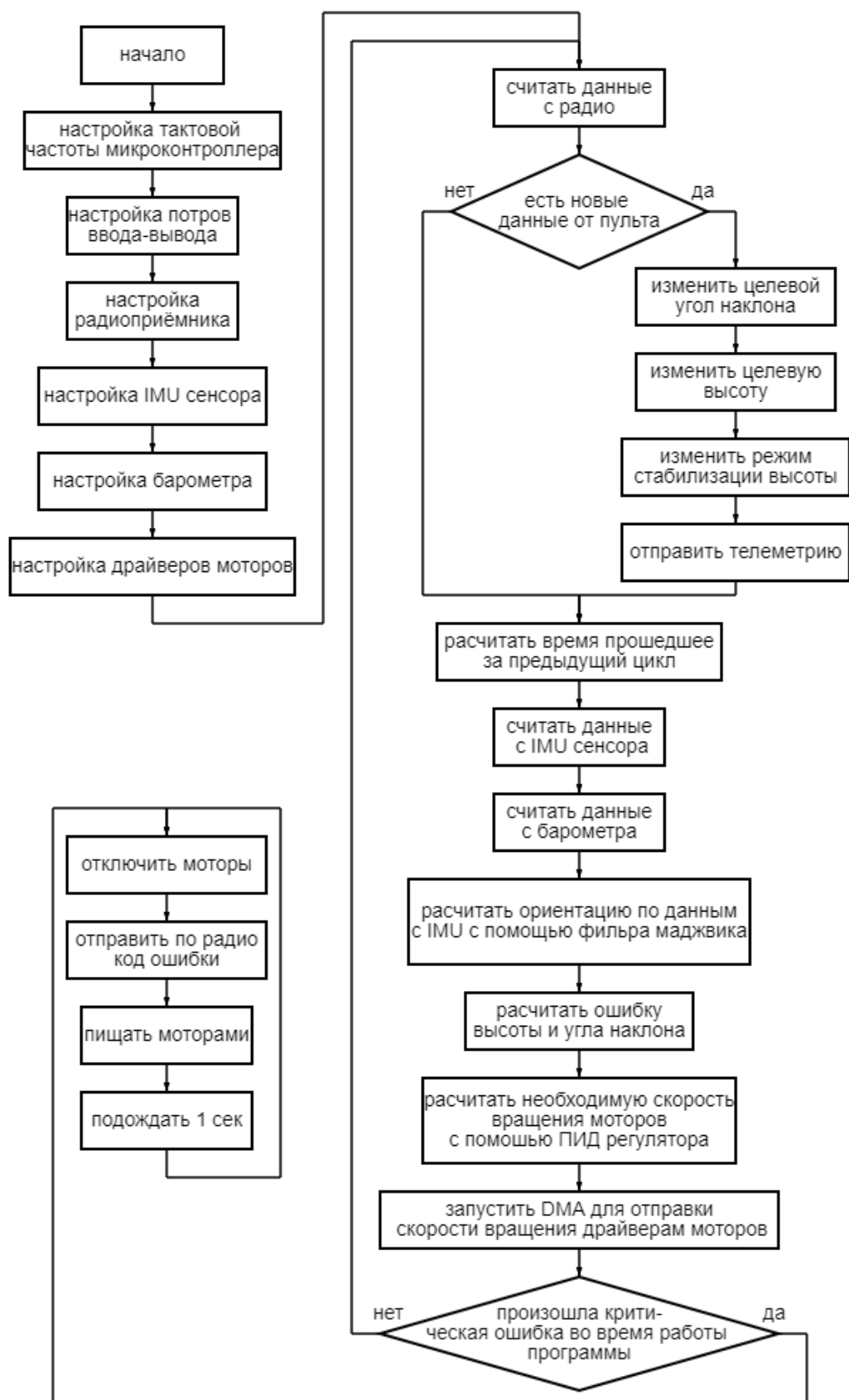


Рисунок 12 – Блок схема программы для контроллера квадрокоптера

Проект для Visual Studio и программа для контроллера квадрокоптера доступны в репозитории GitHub: <https://github.com/maxus2004/quadcopter>.

РАЗРАБОТКА ПО ДЛЯ СТАНЦИИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Программа для приёмника телеметрии разработана на языке C в среде Atmel Studio, которая специально создана для программирования контроллеров архитектуры AVR.



Рисунок 13 – Блок схема программы для приёмника телеметрии

Графическое приложение для просмотра и обработки данных телеметрии с квадрокоптера разработано на языке C# в среде Visual Studio 2019. Для отображения интерфейса используется фреймворк WPF, графики рисуются с помощью библиотеки ScottPlot.

В этом приложении можно просматривать данные с квадрокоптера в реальном времени, строить графики, экспортировать данные в Excel. Также можно строить графики результата математических операций между двумя переменными из телеметрии квадрокоптера.

Проект для Visual Studio и текст программы графического приложения доступен в репозитории GitHub:

<https://github.com/maxus2004/DroneControlPanel>.

Графический интерфейс программы

В правой стороне окна отображаются необработанные данные принятые от квадрокоптера. Снизу находятся элементы управления. Есть текстовое поле для выбора порта, к которому подключен приёмник телеметрии, кнопка для подключения. Правее находится текстовое поле для выбора переменных, для которых требуется построить график или экспортировать в Excel, кнопка для добавления и удаления графика. С правой стороны внизу находятся кнопки для очистки сохранённых данных и экспорта данных в Excel. В центре находится место для графиков. В правом нижнем углу каждого графика отображается название переменной или выражения, для которого построен график. Можно изменять масштаб графиков колёсиком мыши или правой кнопкой мыши. Чтобы изменять смещение на графике, надо нажать левую кнопку мыши и перемещать курсор.

Чтобы добавить график для определенной переменной надо ввести название переменной в текстовое поле слева от кнопки «Add Plot», например «altitude» (в этой переменной хранится значение высоты полёта), затем нажать на эту кнопку. Чтобы добавить график значений математического выражения с одной или более переменными, надо ввести выражение в поле, слева от кнопки «Add Plot», добавив символы «%» вокруг каждой переменной. Например: «%orientation.roll%-%target.roll%» (По данному выражению будет строиться график разницы крена, измеренного с помощью IMU сенсора и крена, заданного джойстиком на пульте управления). Затем нажать на кнопку «Add Plot»

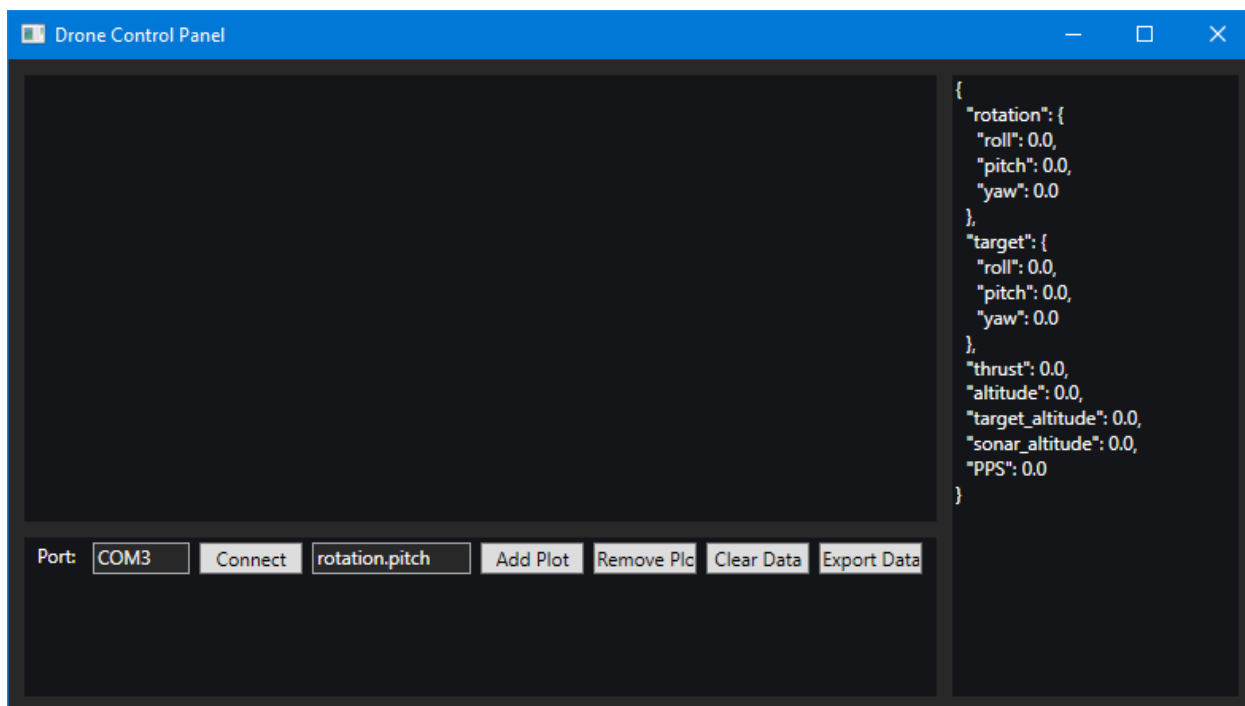


Рисунок 14 – Скриншот окна программы сразу после запуска



Рисунок 15 – Скриншот окна программы после добавления графиков и подключения к приёмнику телеметрии.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛЁТ КВАДРОКОПТЕРА

Во время испытательного полёта я сначала влетел, затем изменял высоту полёта квадрокоптера без стабилизации высоты, после этого включил

стабилизацию высоты, затем полетел вправо, остановил квадрокоптер на месте, затем полетел в лево, посадил квадрокоптер. Во время полёта была включена запись телеметрии на компьютере.



Рисунок 16 – скриншот программы для просмотра телеметрии после полёта квадрокоптера



Рисунок 17– фотография квадрокоптера в полёте

Ссылка на видеозапись полёта квадрокоптера:

<https://youtu.be/iUX74krv9D0>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты:

- Изучил строение и принцип работы квадрокоптеров;
- Выбрал основные параметры своего контроллера;
- Разработал и произвёл печатную плату контроллера полёта;
- Разработал программу для контроллера полёта;
- Собрал квадрокоптер на основе разработанного контроллера;
- Разработал приложение для анализа данных телеметрии;
- Провёл тестовый полёт квадрокоптера.

Выводы:

- Достигнута цель проекта;
- Контроллер полёта исправно выполняет все функции;
- Испытательный полёт квадрокоптера был успешный;
- Приложение для анализа данных позволяет анализировать различные данные от квадрокоптера.

В будущем я планирую подключить к данному контроллеру GPS приёмник, камеры и устройство для транспортировки небольших грузов. Это позволит, например осуществлять быструю доставку товаров из интернет-магазина.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Принцип работы квадрокоптеров: <https://iot.ru/gadzhety/kak-ustroen-dron>;
- Алгоритм фильтра Маджвика для определения ориентации с помощью показаний IMU сенсоров: <https://x-io.co.uk/open-source-imu-and-ahrs-algorithms/>;
- Справочник по языку C/C++: <https://cppreference.com/>;

- Справочник по программированию микроконтроллеров архитектуры ARM: <https://narodstream.ru/programmirovanie-mk-stm32/>;
- Документация на IMU сенсор BMX055: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmx055-ds000.pdf>;
- Документация на микроконтроллер STM32F103C8T6: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf>;
- Документация на барометр BMP388: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bmp388-ds001.pdf>;
- Документация на радиоприёмник/передатчик SI4432: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si4430-31-32.pdf>.