

# Дипломна работа

---

КАТЕДРА СИСТЕМИ И УПРАВЛЕНИЕ

---

НА ТЕМА:

## Платформа за безпилотен летателен апарат с четири ротора

*Автор:*

РАФАЕЛ КАЛЪЧЕВ,  
IV курс, № 011217071

*Ръководител:*

гл. ас. д-р Александър Хотмар

*Ръководител на кат. СУ:*

доц. д-р Теофана Пулева

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ  
СОФИЯ

ФАКУЛТЕТ АВТОМАТИКА  
АИУТ



АПРИЛ, 2021

СОФИЯ

## Съдържание

<b>1</b>	<b>Въведение</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Използвана среда и инструменти за разработка на платформата</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Използван хардуер</b>	<b>2</b>
3.1	Микроконтролер . . . . .	2
3.1.1	Характеристики . . . . .	3
3.1.2	Комплект 32F429IDISCOVERY . . . . .	3
3.2	Жироскоп и Акселерометър . . . . .	3
3.3	Магнитометър . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Архитектура на системата</b>	<b>3</b>
4.1	Конструкция на платформата . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Изграждане на системата и решени проблеми</b>	<b>4</b>
5.1	Моделиране . . . . .	4
<b>6</b>	<b>Предложения за надграждане</b>	<b>4</b>
<b>7</b>	<b>Литература</b>	<b>4</b>
<b>8</b>	<b>Приложения</b>	<b>5</b>

## Списък на фигурите

## Списък на таблиците

## 1 Въведение

Този труд се концентрира върху цялостното изграждане на система за управление като предоставя за пример изграждане на "Безпилотна платформа за летателен апарат с четири ротора". Основните неща на които ще бъде наблеганто е изграждането на софтуера от основи за безпилотният летателен апарат. По този начин ще бъде демонстрирано как може да се изгради основа за софтуер за управление на непознат, иновативен контролер, за който не съществуват библиотеки. Целта е да се елиминира интеграцията с матлаб и да се постигне по-добро разбиране на софтуера на системата за управление и това как той работи и работата само с специфични много популярни модули, за които има безброй библиотеки. Ще бъде разгледан начин за инициализиране и управление на периферията, както методи за обработка на данните поступащи от периферията за сформирание на управляващи въздействия.

Избраната система е многомерна и има състояния, които не могат да бъдат измервани директно. Този труд ще демонстрира изграждането на наблюдателя на състоянията на системата, както и неговата имплементация като част от алгоритъма за управление.

Ще разгледаме и т.нар композитна архитектура за да си позволим лесна промяна и конфигурация на софтуера за управление.

Този труд няма да разглежда изграждането на система за управление с помощта на Операционна система за реално време. Изграждането на ОС за реално време ще бъде плът на отделен бъдещ труд. Работата в реално време ще бъде осигурена от софтуера на контролера, но тя няма да бъде разпреселена на отделни "задачи" а ще се управлява от регулярните прекъсвания на раймера съпътствани от проста логика и функции имплементирани по начин, който ще гарантира изпълнение за определеното време.

Ще разгледаме отделните инженерни решения взети по време на работата по проекта и причините довели до тях.

## 2 Използвана среда и инструменти за разработка на платформата

## 3 Използван хардуер

### 3.1 Микроконтролер

Микроконтролерът използван за проекта е с ядро с архитектура *ARM Cortex-M4*, произведен от *STMicroelectronics*. Модел *stm32f429ZIT6U*.

### 3.1.1 Характеристики

В следният списък са поместени основните характеристики на микроконтролера [11].

- Ядро: *32b Arm Cortex-M4* с FPU
- Максимална честота на процесора: 180MHz
- Флаш Памет: 2048 Kbytes
- SRAM: Системна : 256 ( 112 + 16 + 64 + 64 ) Kbytes
- Таймери:
  - General Purpose: 10бр. ()
  - Advanced control: 2бр. ()
  - Basic: 2бр. ()
- Цомуникационни интерфейси:
  - SPI/I2S : 6/2 (пълен дуплекс)
  - I2C: 3
  - USART/UART: 4/4
- GPIO: 114бр.
- Интерфейс за програмиране: *ST-LINK*
- Опаковка: LQFP144

Add timers

Add timers

Add timers

### 3.1.2 Комплект 32F429IDISCOVERY

Микроконтролерът е част от платка *32F429IDISCOVERY* (комплект за оценка на функционалностите на *STMicroelectronics*). Комплектът предоставя множество функционалности вградени в платката като 8MHz външен осцилатор, Вграден *ST-LINK* програматор, LCD Дисплей, 2бр. LED, както и удобна връзка към пиновете на микроконтролера в THT формат.

Важно нещо да се отбележи, е че в комплекта *32F429IDISCOVERY* има познат проблем с вграденият *ST-LINK* програматор, който докато USB не е свързано поддържа процесора в *RESET* през дебъгера.

## 3.2 Жироскоп и Акселерометър

## 3.3 Магнитометър

# 4 Архитектура на системата

Архитектурната част на системата е организирана в три основни части:

Първата част се отнася до дизайна на платформата (физическото оформление), Основните концептуални идеи покрити в физическото оформление, разпределението на хардуера и това как този хардуер ще бъде използван за управлението. Как е свързана системата (хардуерно)

Част втора Архитектура на управлението (помисли за това)

Част трета разглежда софтуерната архитектура на управляващото устройство.

[10]

## 4.1 Конструкция на платформата

Платформата е конструирана от 2 метални П образни профила сключващи прав ъгъл помежду си, имащи пресечна точка в средата. Във края на профилите се намира по един Безчетков Постояннотоков мотор, без обратна връзка. Перките са свързани директно (без трансмисия) за въртящата ос на моторите. Батерията и контролният модул са позиционирани в средата на платформата. Батерията е позиционирана под пресечната точка на профилите. Управляващото устройство е позиционирано над пресечната точка на профилите.

При организиране на хардуера в платформата по този начин центърът на тежестта лежи под пресечната точка на профилите. (Хардуерът е разположен симетрично.. равномерно разпреселение на тежестта, опростява намирането на стационарната точка при линериране...)

## 5 Изграждане на системата и решени проблеми

### 5.1 Моделиране

## 6 Предложения за надграждане

## 7 Литература

- [1] ARM Limited, *ARM v7-M Architecture Reference Manual*, ARM, 2018. url: <https://developer.arm.com/documentation/ddi0403/ed>.
- [2] ARM Limited, *Cortex-M4 Technical Reference Manual (Revision r0p1)*, ARM, 2020. url: <https://developer.arm.com/documentation/100166/0001/>.
- [3] T. Bresciani, „Modelling, identification and control of a quadrotor helicopter“, *MSc theses*, 2008.
- [4] GNU, *GCC Manual, Arm Options*, GNU, 2021. url: <https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gcc/ARM-Options.html>.

- [5] J. Solà, „Quaternion kinematics for the error-state Kalman filter“, техн. докл., 2017.
- [6] ST Microelectronics, *Errata sheet STM32F427/437 and STM32F429/439 line limitations*, ST Microelectronics, 2021. url: [https://www.st.com/resource/en/errata\\_sheet/es0206-stm32f427437-and-stm32f429439-line-limitations-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/errata_sheet/es0206-stm32f427437-and-stm32f429439-line-limitations-stmicroelectronics.pdf).
- [7] ST Microelectronics, *LIS3MDL Digital output magnetic sensor: ultra-low-power, high-performance 3-axis magnetometer*, ST Microelectronics, 2015. url: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lis3mdl.pdf>.
- [8] ST Microelectronics, *LPS25H MEMS pressure sensor: 260-1260 hPa absolute digital output barometer*, ST Microelectronics, 2014. url: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lps25h.pdf>.
- [9] ST Microelectronics, *LSM6DS33 iNEMO inertial module: accelerometer and 3D gyroscope*, ST Microelectronics, 2015. url: <https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gcc/ARM-Options.html>.
- [10] ST Microelectronics, *RM0090 Reference manual STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced ARM-based 32-bit MCUs*, ST Microelectronics, 2020. url: [https://www.st.com/resource/en/reference\\_manual/dm00031020-stm32f405-415-stm32f407-417-stm32f427-437-and-stm32f429-439-advanced-arm-based-32-bit-mcus-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00031020-stm32f405-415-stm32f407-417-stm32f427-437-and-stm32f429-439-advanced-arm-based-32-bit-mcus-stmicroelectronics.pdf).
- [11] ST Microelectronics, *STM32F427xx STM32F429xx 32b Arm Cortex-M4 MCU+FPU, 225DMIPS, up to 2MB Flash/256+4KB RAM, USB OTG HS/FS, Ethernet, 17 TIMs, 3 ADCs, 20 com. interfaces, camera and LCD-TFT*, ST Microelectronics, 2021.
- [12] ST Microelectronics, *UM1061 Description of STM32F2xx Standard Peripheral Library*, ST Microelectronics, 2011. url: [https://www.st.com/resource/en/user\\_manual/um1061-description-of-stm32f2xx-standard-peripheral-library-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/user_manual/um1061-description-of-stm32f2xx-standard-peripheral-library-stmicroelectronics.pdf).
- [13] M. Watson, „The design and implementation of a robust ahrs for integration into a quadrotor platform“, *Meng electronic engineering, Department of electronic and electrical engineering*, 2013.

## 8 Приложения