AKADEMIA NAUK STOSOWANYCH w ELBLĄGU

Systemy Wbudowane i Mikroprocesory 2024/2025

Raport z budowy robota

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

Github: https://github.com/GacusPL/SWIM-Projekt

Film prezentujący działanie robota: https://youtu.be/suzh82lGbKQ?si=6QheTJSNaSfroqPB

1. Opis robota

Robot to dwukołowy autonomiczny pojazd mobilny z jednym dodatkowym kołem obrotowym dla stabilizacji, oparty na mikrokontrolerze STM32F303VCT6 Discovery. Napęd realizowany jest przez dwa silniki elektryczne z przekładniami sterowane za pomocą sygnałów PWM oraz sterownika silników L293D. Skręt wykonywany jest różnicowo – poprzez zmianę prędkości obrotowej poszczególnych silników. Układ zasilany jest autonomicznie przez trzy oginwa Li-Ion typu 18650 każde o napięciu 3,6 V. Do zasilania mikrokontrolera, który pracuje z maksymalnym napięciem 5 V, zastosowano przetwornicę napięcia LM2596HVS, umożliwiającą obniżenie napięcia do bezpiecznego poziomu. Robot wyposażony jest w moduł Bluetooth HC-05, który umożliwia sterowanie robotem za pomocą aplikacji. Sterowanie robotem za pomocą Bluetooth jest realizowane za pomocą aplikacji Arduino Bluetooth control (android). Do wykrywania linii zastosowano moduł z ośmioma czujnikami odbiciowymi KTIR0711S, które pozwalają robotowi poruszać się wzdłuż wyznaczonej trasy np. czarnej linii. Robot zawiera dwie dodatkowe funkcjonalności. Wykrywanie przeszkód oraz odtwarzanie muzyki. Do wykrywania przeszkód na drodze wykorzystano czujnik ultradźwiękowy HC-SR04, który mierzy odległość od obiektów na podstawie czasu powrotu fali ultradźwiękowej odbitej od przeszkody. Druga funkcjonalność to odtwarzanie muzyki, realizowana jest ona za pomocą mini odtwarzacza MP3 z gniazdem microSD (DFPlayer), oraz głośnika 3W. Szacowany rozmiar robota to około 200 x 140 x 65 mm.

2. Elementy wybrane do budowy robota

Podwozie: Chassis Rectangle 2WD 2-kołowe podwozie robota, oraz obrotowe koło podporowe

AKADEMIA NAUK STOSOWANYCH w ELBLĄGU

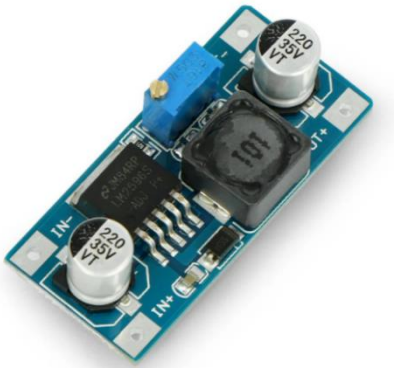
Systemy Wbudowane i Mikroprocesory
2024/2025
Raport z budowy

robota

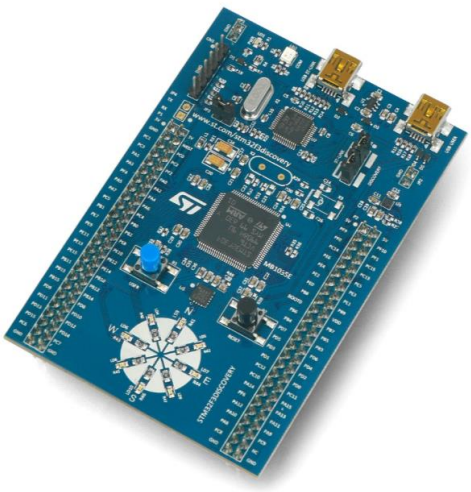
Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

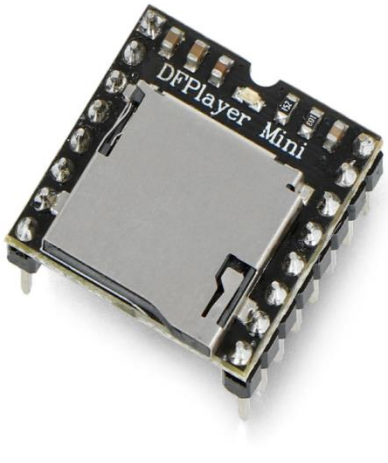
Napęd: 2x Koło + silnik 65x26mm 5V z przekładnią.

Zasilanie: 3x Ogniwo 18650 Li-Ion INR18650-F1HR 3350mAh, koszyk na 3 akumulatory typu 18650 oraz przetwornica napięcia LM2596HVS



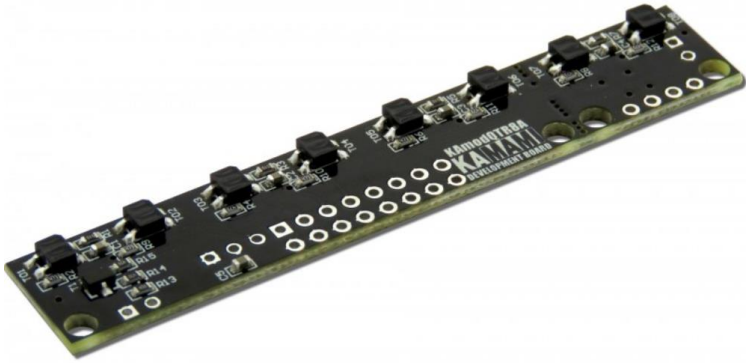
Sterowanie: Mikrokontroler STM32F303VCT6 (Discovery), sterownik silnika krokowego 2 DC L293D mini mostek H



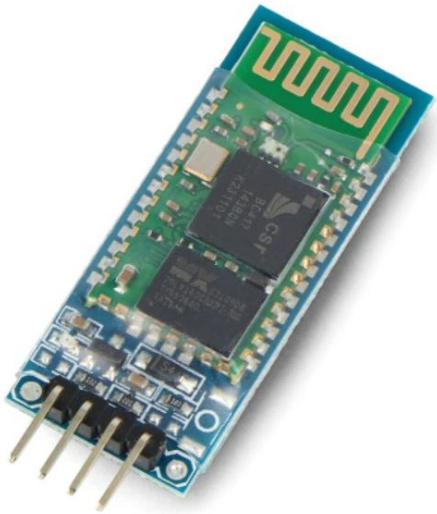


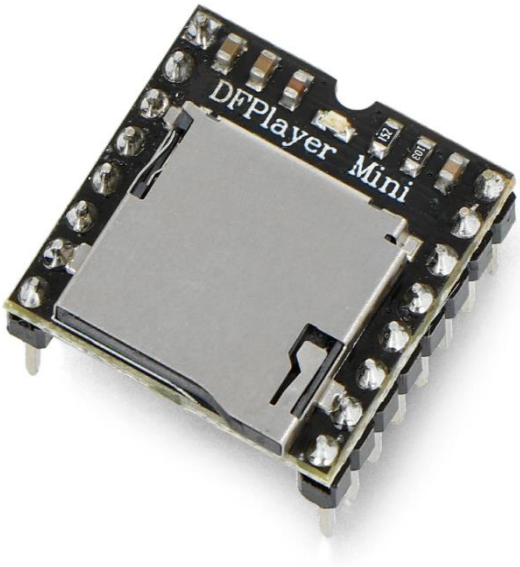
Elementy montażowe: Śrubki o rozmiarze m3, przewody połączeniowe.

Czujniki: KAmodQTR8A - moduł z ośmioma czujnikami odbiciowymi KTIR0711S (wykrycie linii), Ultradźwiękowy czujnik odległości HC-SR04 (wykrycie przeszkody).



Komunikacja: Moduł Bluetooth HC-05, DFPlayer mini odtwarzacz MP3 z gniazdem microSD



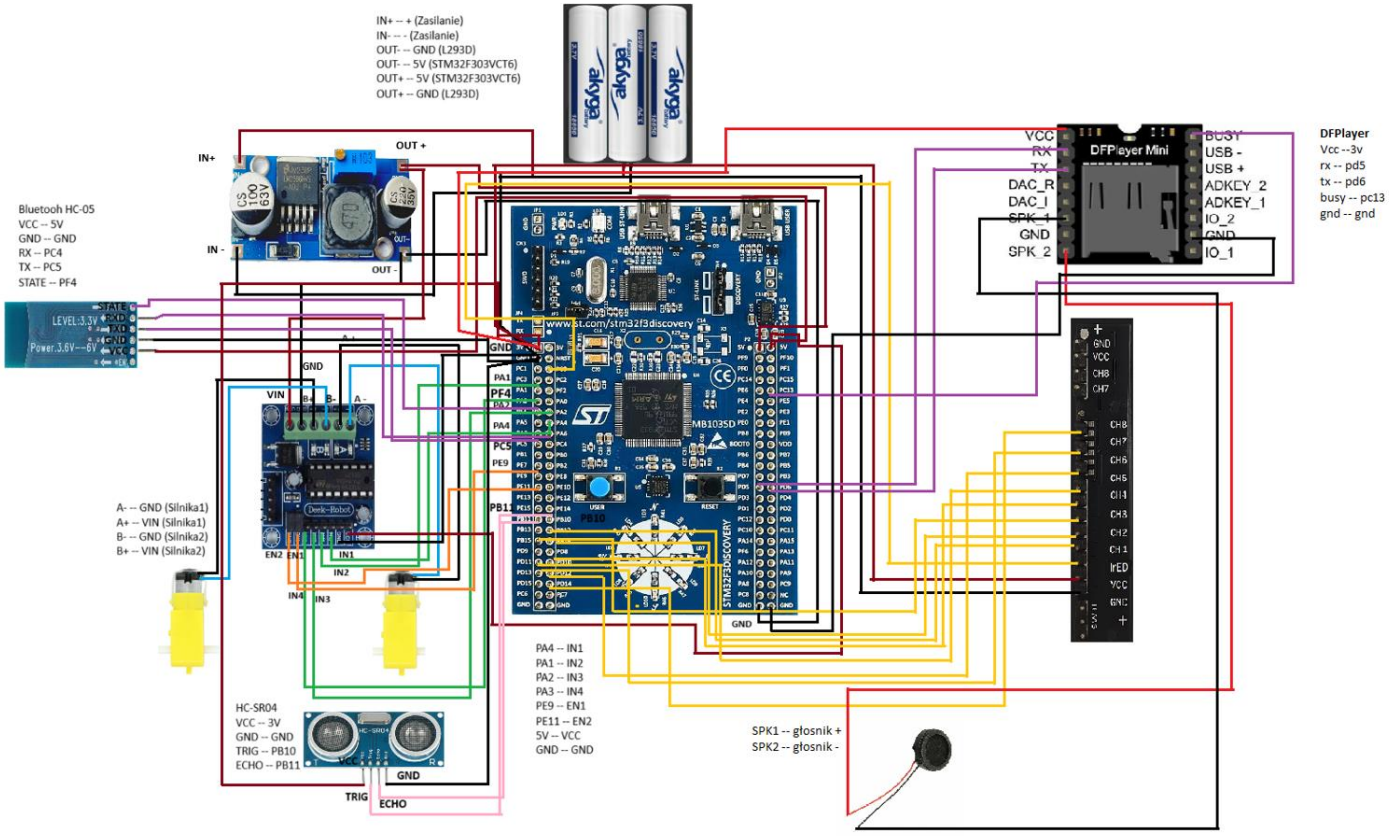


---

3. Mechanika robota

Mechanika robota oparta jest na podwoziu typu Chassis Rectangle 2WD, z dwukołowym napędem oraz z jednym dodatkowym kołem obrotowym. Napęd realizują 2 silniki DC 5V z wbudowaną przekładnią z kołami o wymiarach 65 x 26 mm. Elementy mechaniczne takie jak: koszyk na ogniwa, koło obrotowe, przetwornica, sterownik silników oraz same silniki zostały zamontowane za pomocą śrubek montażowych o rozmiarze m3, podzespoły zostały zamontowane w taki sposób, aby rozkład masy był jak najbardziej równomierny oraz aby zachować stabilność robota. Do połączenia wszystkich elementów zastosowaliśmy przewody połączeniowe typu jumper oraz przewody które zostały przylutowane, które zostały tak poprowadzone, aby nie kolidowały z innymi elementami.

4. Schemat elektroniczny robota



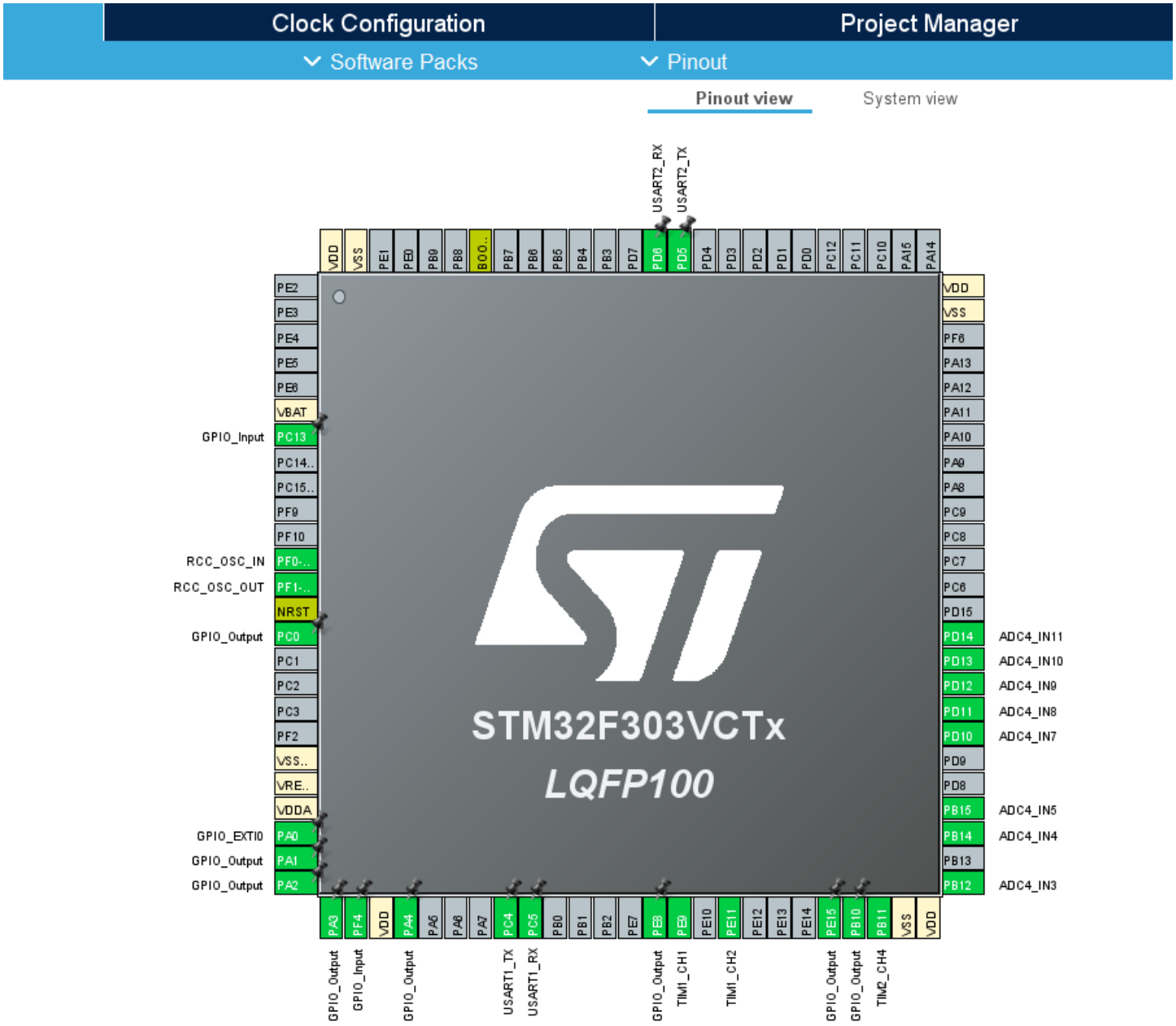
Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

5. Oprogramowanie sterujące

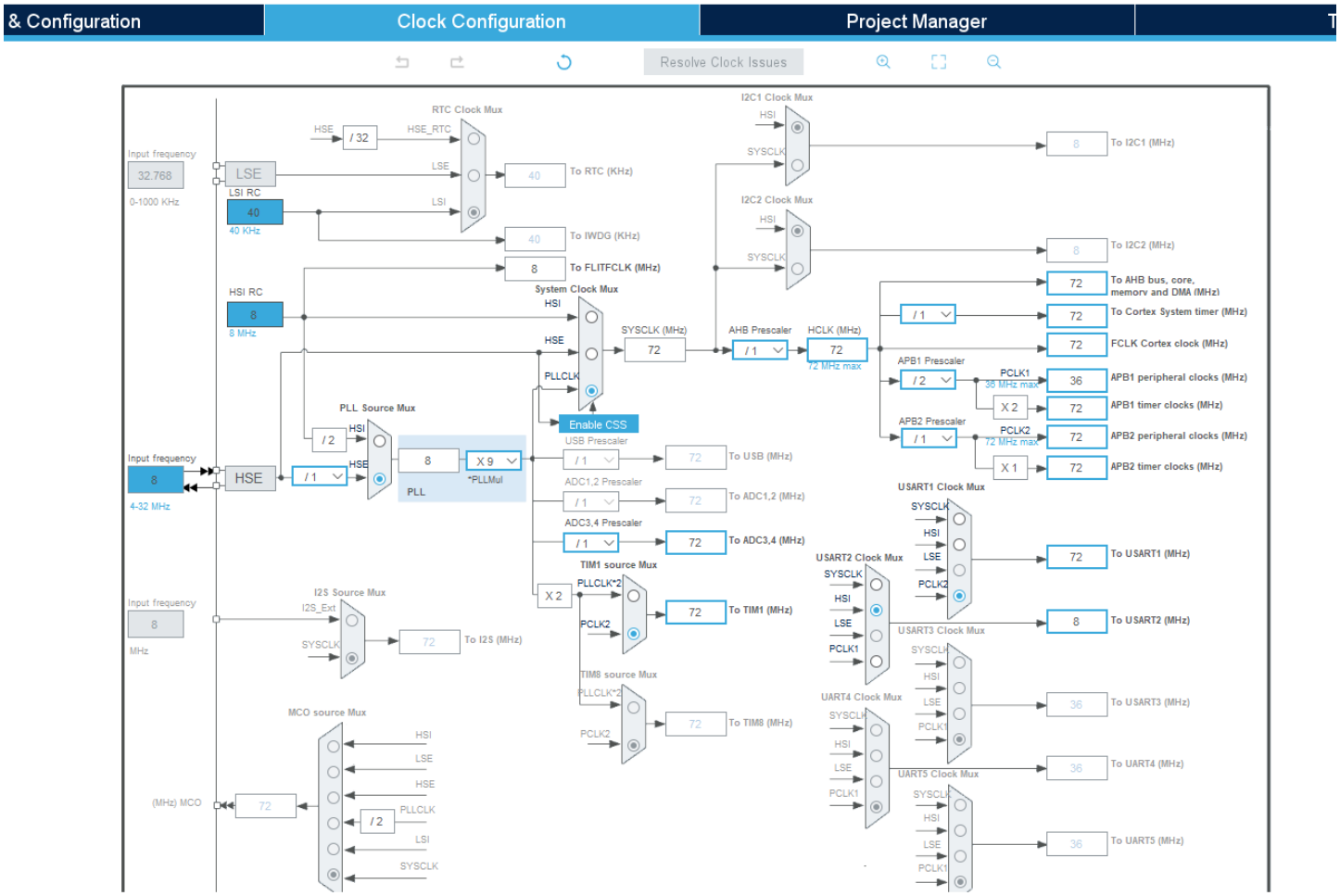
// Najważniejsze fragmenty kodu źródłowego wraz z opisem

Konfiguracja ioc

Pinout

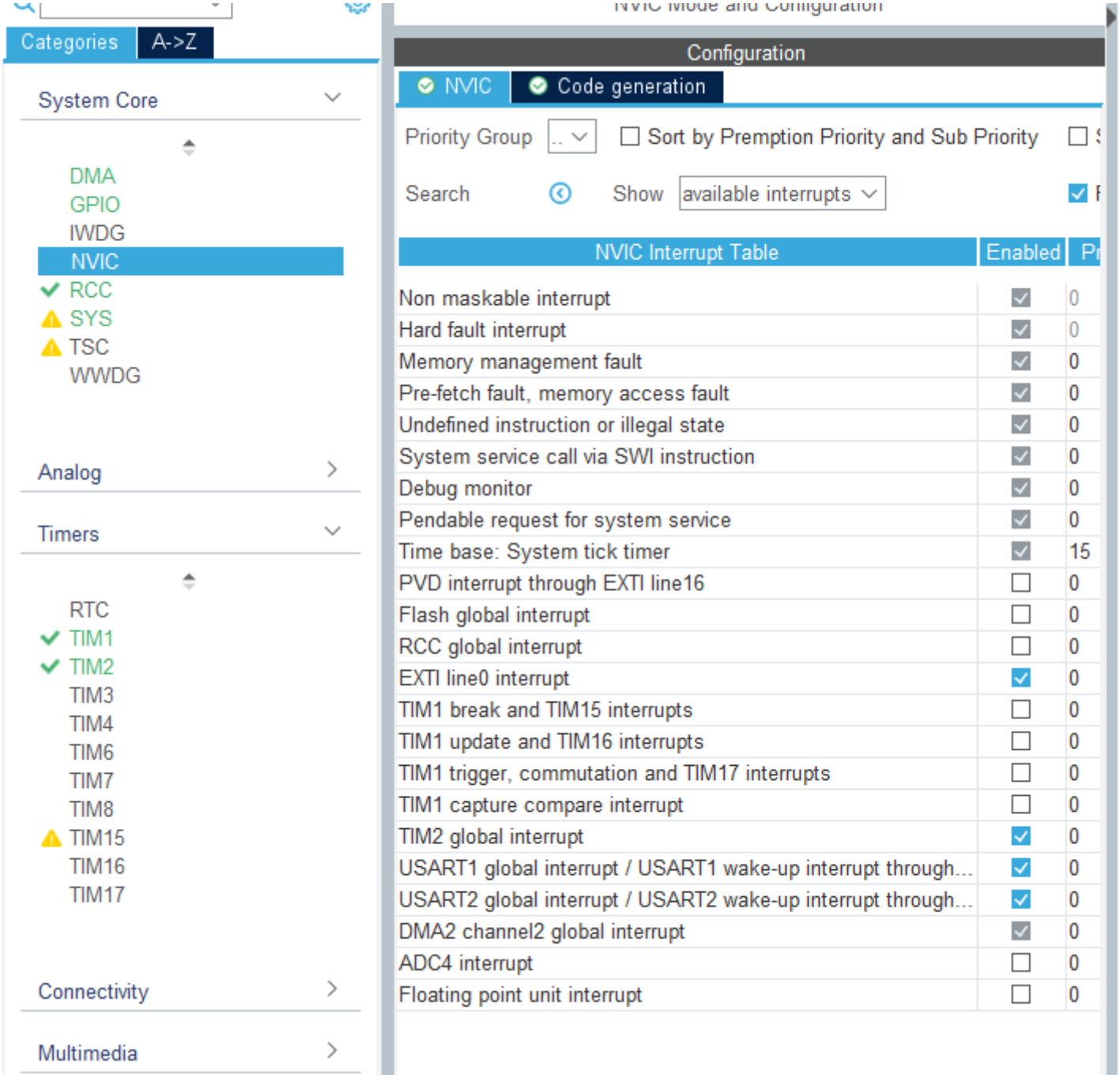


CLOCK

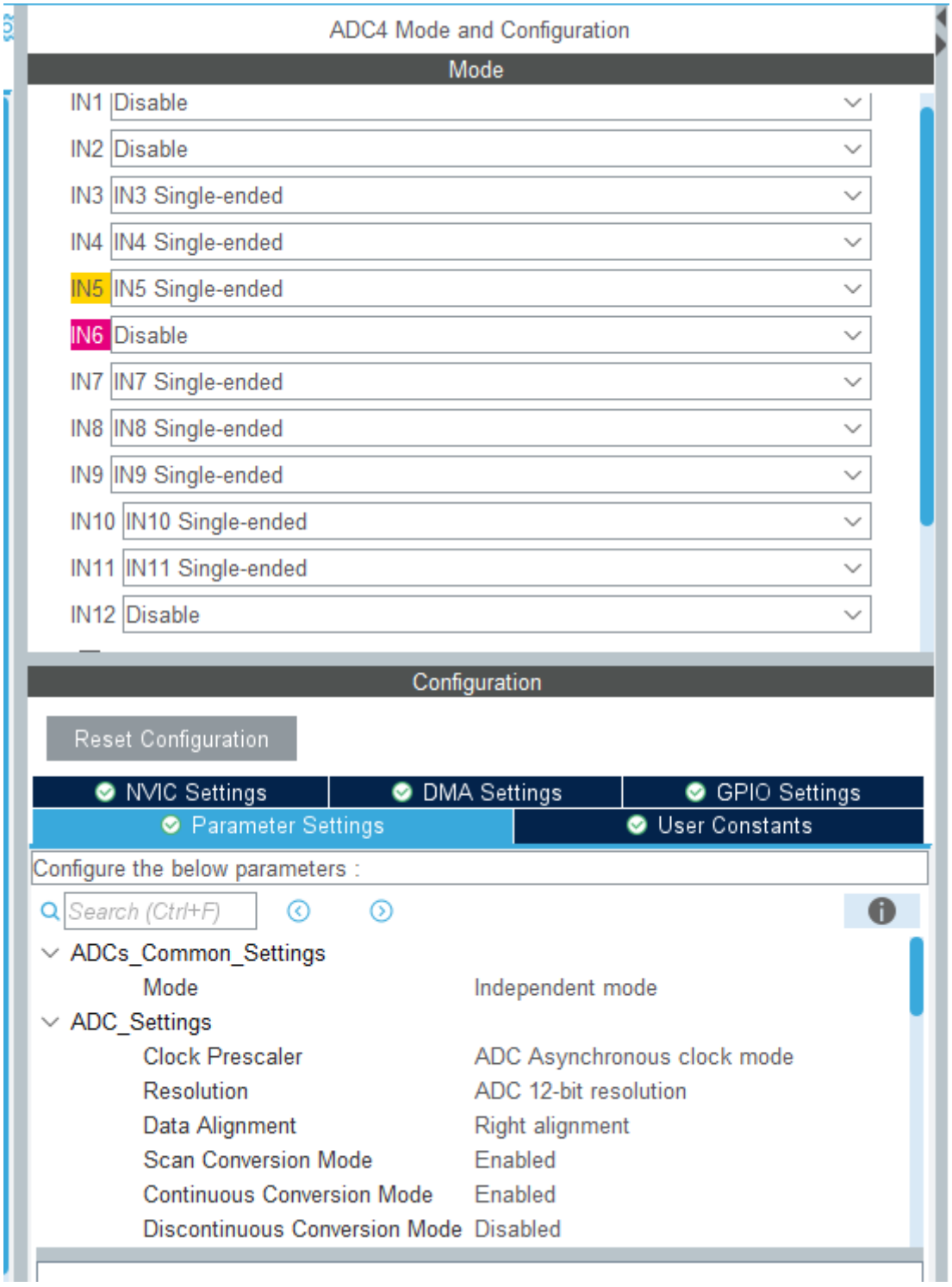

& Configuration
Clock Configuration
Project Manager
Resolve Clock Issues
RTC Clock Mux
I2C1 Clock Mux
I2C2 Clock Mux
System Clock Mux
PLL Source Mux
USART1 Clock Mux
USART2 Clock Mux
USART3 Clock Mux
UART4 Clock Mux
UART5 Clock Mux
TIM1 source Mux
TIM8 source Mux
I2S Source Mux
MCO source Mux
Input frequency
32.768
0-1000 KHz
LSE
LSI RC
40
40 KHz
HSI RC
8
8 MHz
HSE
/ 32
HSE_RTC
LSI
To RTC (KHz)
To IWDG (KHz)
To FLITFCLK (MHz)
To I2C1 (MHz)
To I2C2 (MHz)
HSI
SYSCLK
PLLCLK
SYSCLK (MHz)
AHB Prescaler
HCLK (MHz)
72 MHz max
To AHB bus, core, memory and DMA (MHz)
To Cortex System timer (MHz)
FCLK Cortex clock (MHz)
APB1 Prescaler
PCLK1
36 MHz max
APB1 peripheral clocks (MHz)
APB1 timer clocks (MHz)
APB2 Prescaler
PCLK2
72 MHz max
APB2 peripheral clocks (MHz)
APB2 timer clocks (MHz)
Enable CSS
USB Prescaler
To USB (MHz)
ADC1,2 Prescaler
To ADC1,2 (MHz)
ADC3,4 Prescaler
To ADC3,4 (MHz)
PLL
*PLLMul
4-32 MHz
To USART1 (MHz)
To USART2 (MHz)
To USART3 (MHz)
To UART4 (MHz)
To UART5 (MHz)
To TIM1 (MHz)
To TIM8 (MHz)
To I2S (MHz)
(MHz) MCO

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

NVIC



ANALOG ADC4


ADC4 Mode and Configuration
Mode
IN1 Disable
IN2 Disable
IN3 IN3 Single-ended
IN4 IN4 Single-ended
IN5 IN5 Single-ended
IN6 Disable
IN7 IN7 Single-ended
IN8 IN8 Single-ended
IN9 IN9 Single-ended
IN10 IN10 Single-ended
IN11 IN11 Single-ended
IN12 Disable
Configuration
Reset Configuration
NVIC Settings
DMA Settings
GPIO Settings
Parameter Settings
User Constants
Configure the below parameters :
Search (Ctrl+F)
ADCs_Common_Settings
Mode Independent mode
ADC_Settings
Clock Prescaler ADC Asynchronous clock mode
Resolution ADC 12-bit resolution
Data Alignment Right alignment
Scan Conversion Mode Enabled
Continuous Conversion Mode Enabled
Discontinuous Conversion Mode Disabled

robota

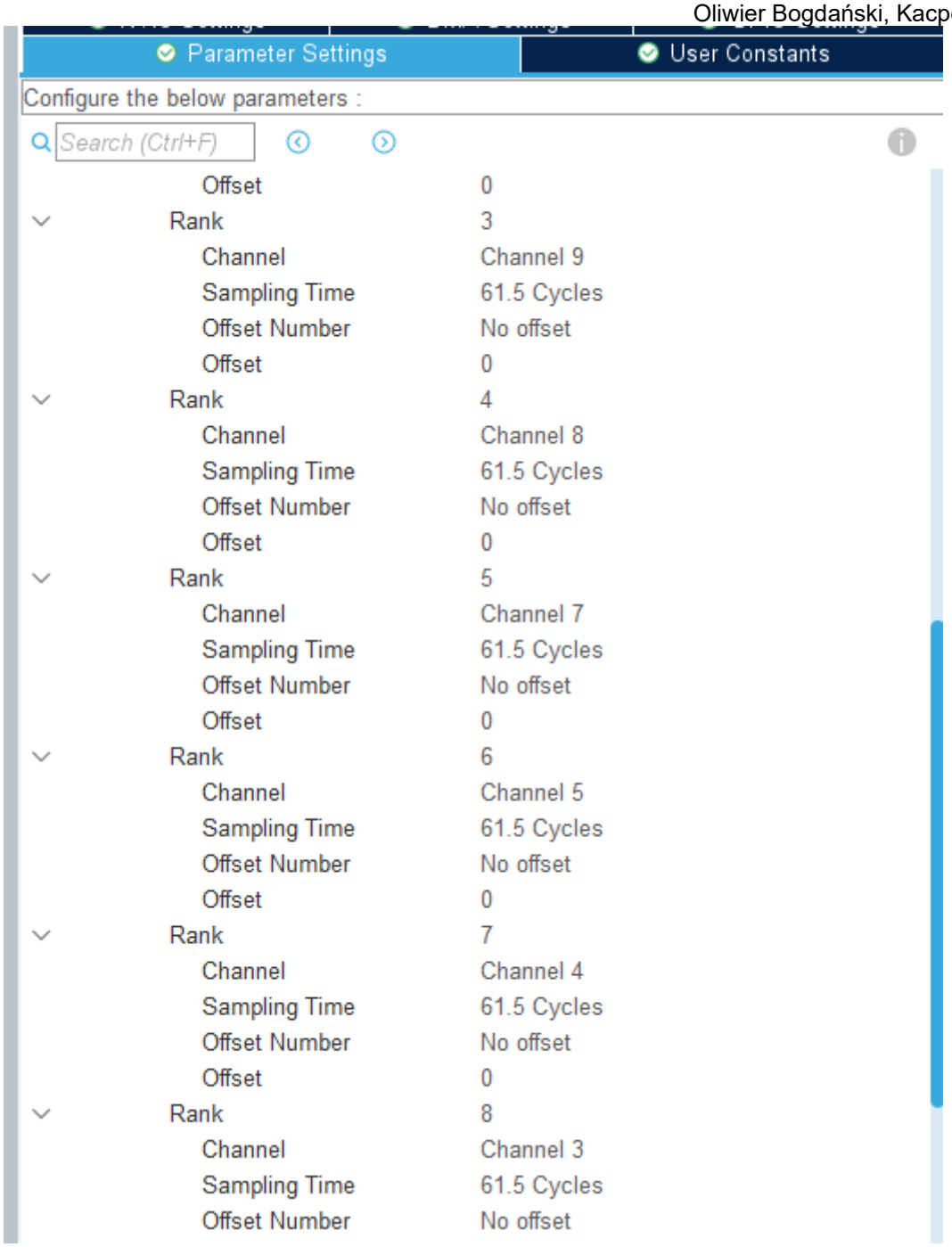
Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

NVIC Settings | DMA Settings | GPIO Settings | Parameter Settings | User Constants

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)

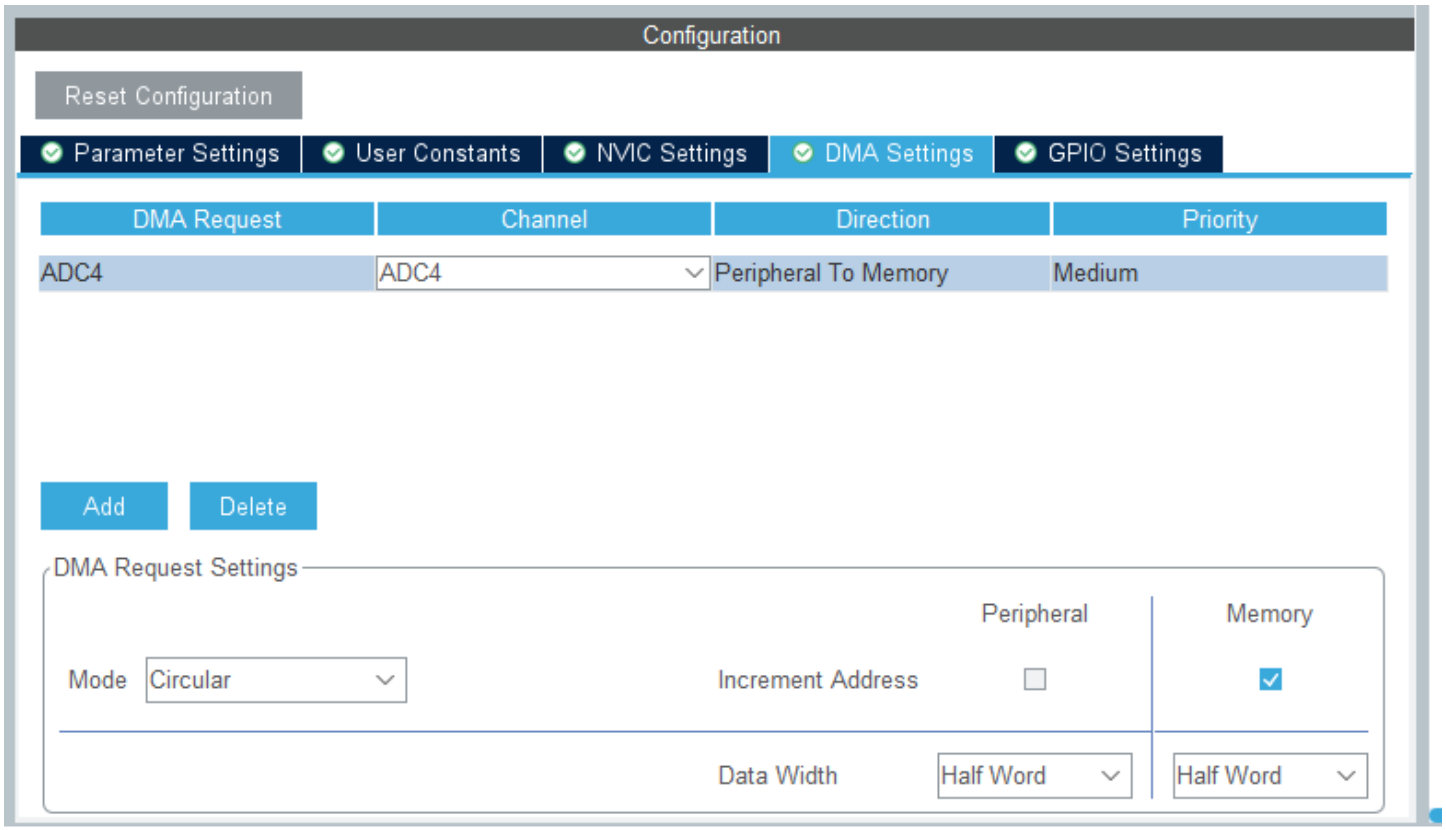
ADCs_Common_Settings	
Mode	Independent mode
ADC_Settings	
Clock Prescaler	ADC Asynchronous clock mode
Resolution	ADC 12-bit resolution
Data Alignment	Right alignment
Scan Conversion Mode	Enabled
Continuous Conversion Mode	Enabled
Discontinuous Conversion Mode	Disabled
DMA Continuous Requests	Enabled
End Of Conversion Selection	End of single conversion
Overrun behaviour	Overrun data overwritten
Low Power Auto Wait	Disabled
ADC_Regular_ConversionMode	
Enable Regular Conversions	Enable
Number Of Conversion	8
External Trigger Conversion S...	Regular Conversion launched by software
External Trigger Conversion E...	None
SequencerNbRanks	1
Rank	1
Channel	Channel 11
Sampling Time	61.5 Cycles
Offset Number	No offset
Offset	0
Rank	2
Channel	Channel 10
Sampling Time	61.5 Cycles
Offset Number	No offset


Parameter Settings
User Constants
Configure the below parameters :
Search (Ctrl+F)
Offset 0
Rank 3
Channel Channel 9
Sampling Time 61.5 Cycles
Offset Number No offset
Offset 0
Rank 4
Channel Channel 8
Sampling Time 61.5 Cycles
Offset Number No offset
Offset 0
Rank 5
Channel Channel 7
Sampling Time 61.5 Cycles
Offset Number No offset
Offset 0
Rank 6
Channel Channel 5
Sampling Time 61.5 Cycles
Offset Number No offset
Offset 0
Rank 7
Channel Channel 4
Sampling Time 61.5 Cycles
Offset Number No offset
Offset 0
Rank 8
Channel Channel 3
Sampling Time 61.5 Cycles
Offset Number No offset

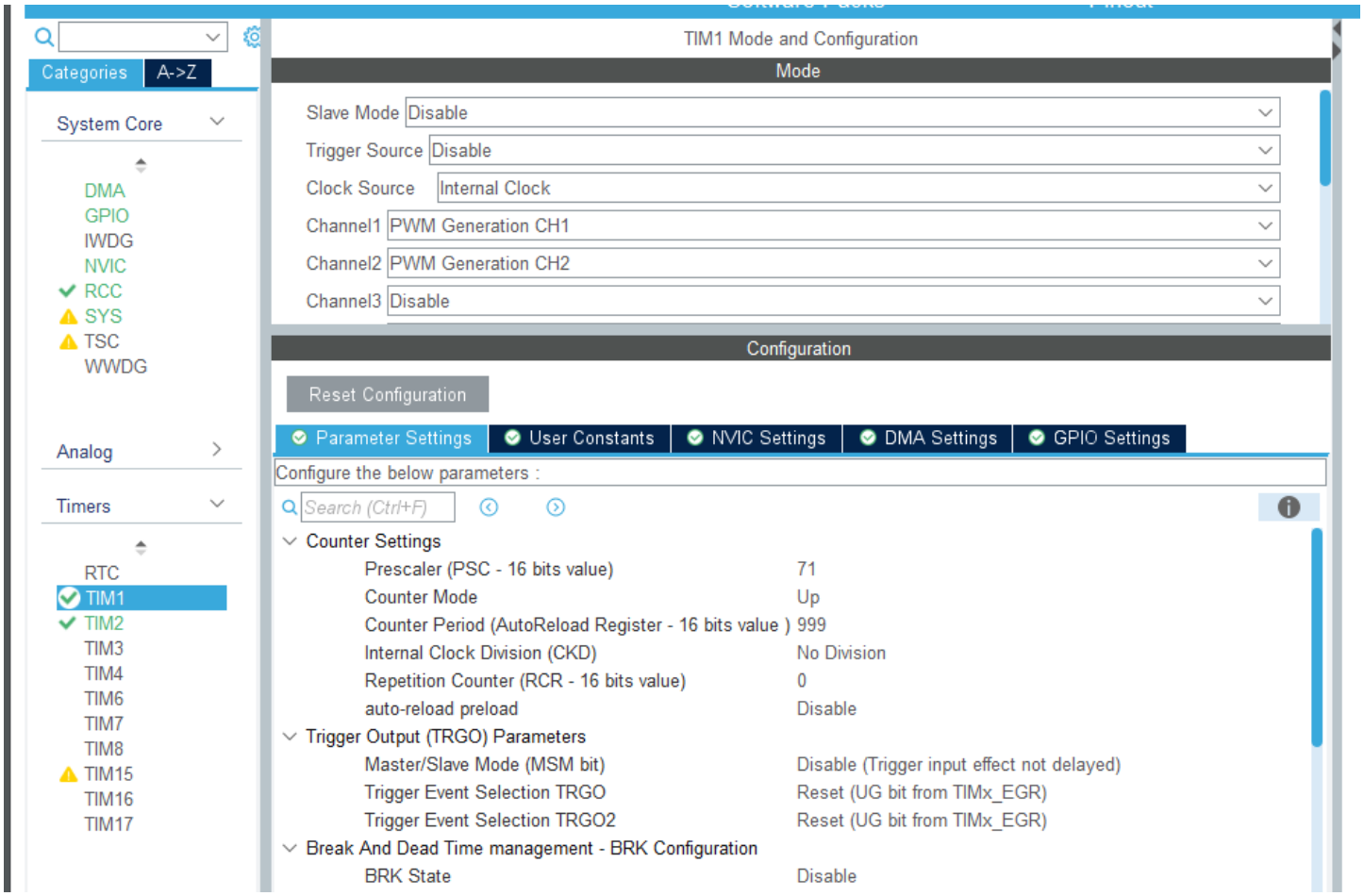
robota

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

DMA



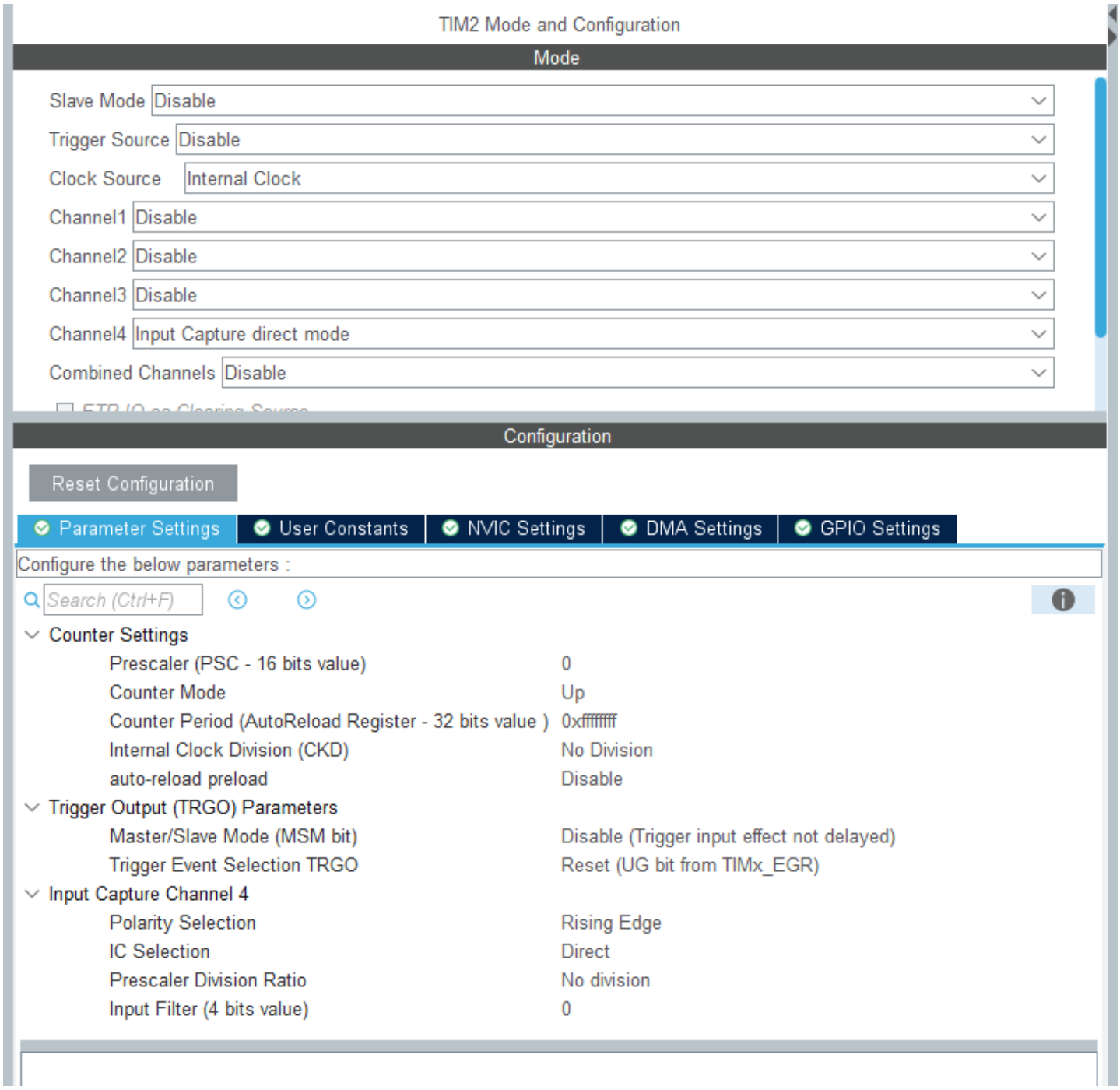
TIM1


TIM1 Mode and Configuration
Categories
A->Z
System Core
DMA
GPIO
IWDG
NVIC
RCC
SYS
TSC
WWDG
Analog
Timers
RTC
TIM1
TIM2
TIM3
TIM4
TIM6
TIM7
TIM8
TIM15
TIM16
TIM17
Mode
Slave Mode Disable
Trigger Source Disable
Clock Source Internal Clock
Channel1 PWM Generation CH1
Channel2 PWM Generation CH2
Channel3 Disable
Configuration
Reset Configuration
Parameter Settings
User Constants
NVIC Settings
DMA Settings
GPIO Settings
Configure the below parameters :
Search (Ctrl+F)
Counter Settings
Prescaler (PSC - 16 bits value) 71
Counter Mode Up
Counter Period (AutoReload Register - 16 bits value) 999
Internal Clock Division (CKD) No Division
Repetition Counter (RCR - 16 bits value) 0
auto-reload preload Disable
Trigger Output (TRGO) Parameters
Master/Slave Mode (MSM bit) Disable (Trigger input effect not delayed)
Trigger Event Selection TRGO Reset (UG bit from TIMx_EGR)
Trigger Event Selection TRGO2 Reset (UG bit from TIMx_EGR)
Break And Dead Time management - BRK Configuration
BRK State Disable

robota

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

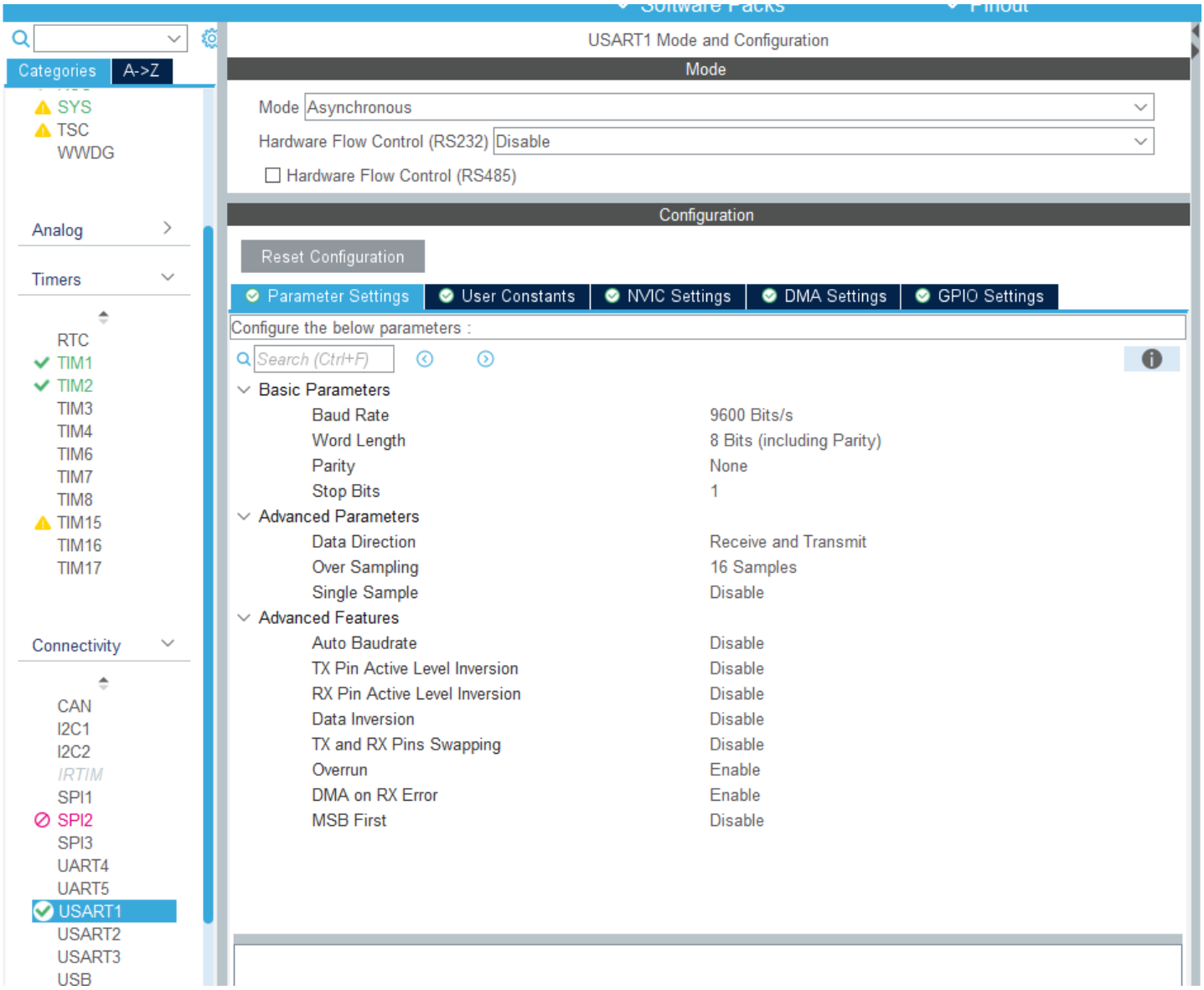
TIM2



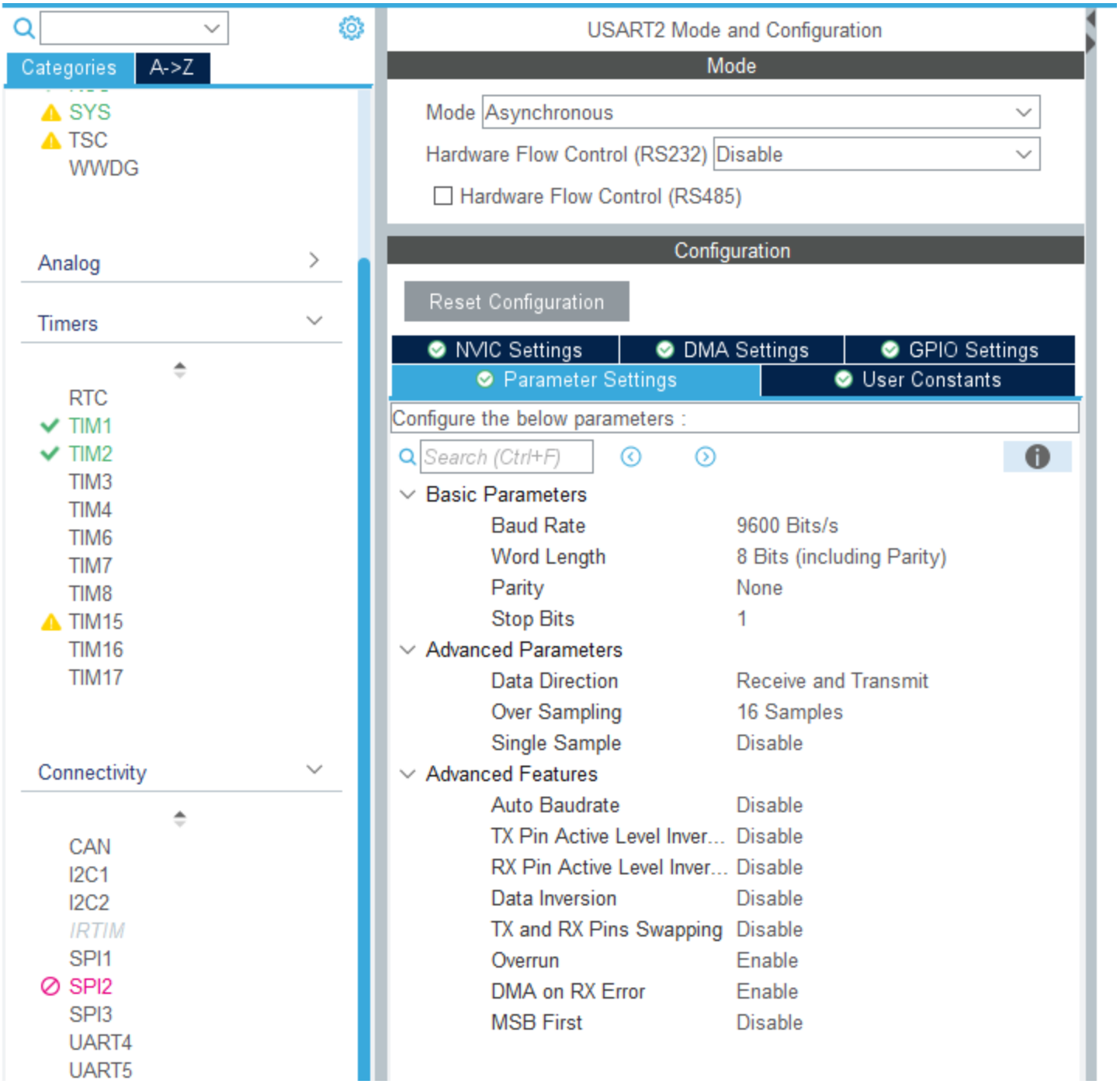
robota

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

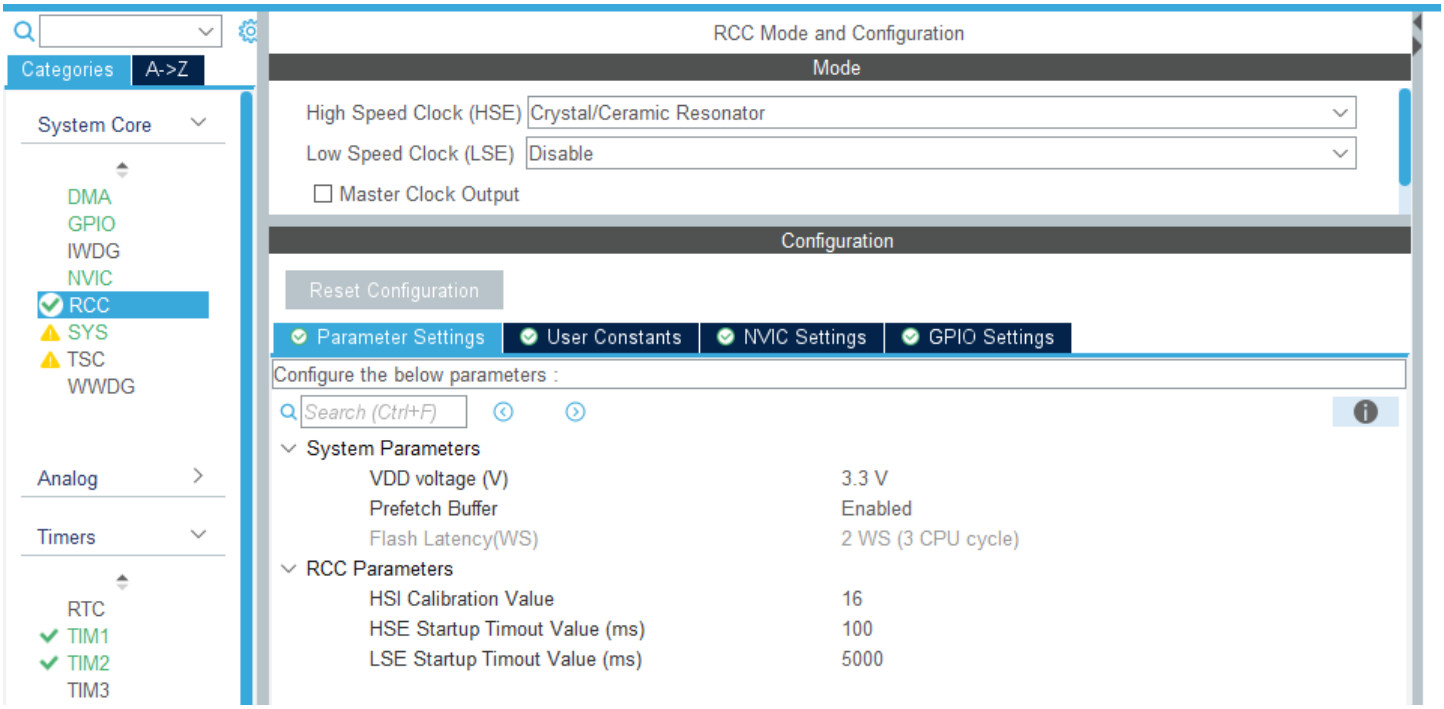
USART1



USART2


Categories
A->Z
SYS
TSC
WWDG
Analog
Timers
RTC
TIM1
TIM2
TIM3
TIM4
TIM6
TIM7
TIM8
TIM15
TIM16
TIM17
Connectivity
CAN
I2C1
I2C2
IRTIM
SPI1
SPI2
SPI3
UART4
UART5
USART2 Mode and Configuration
Mode
Mode Asynchronous
Hardware Flow Control (RS232) Disable
Hardware Flow Control (RS485)
Configuration
Reset Configuration
NVIC Settings
DMA Settings
GPIO Settings
Parameter Settings
User Constants
Configure the below parameters :
Search (Ctrl+F)
Basic Parameters
Baud Rate 9600 Bits/s
Word Length 8 Bits (including Parity)
Parity None
Stop Bits 1
Advanced Parameters
Data Direction Receive and Transmit
Over Sampling 16 Samples
Single Sample Disable
Advanced Features
Auto Baudrate Disable
TX Pin Active Level Inver... Disable
RX Pin Active Level Inver... Disable
Data Inversion Disable
TX and RX Pins Swapping Disable
Overrun Enable
DMA on RX Error Enable
MSB First Disable

RCC


RCC Mode and Configuration
Categories
A->Z
System Core
DMA
GPIO
IWDG
NVIC
RCC
SYS
TSC
WWDG
Analog
Timers
RTC
TIM1
TIM2
TIM3
Mode
High Speed Clock (HSE)
Crystal/Ceramic Resonator
Low Speed Clock (LSE)
Disable
Master Clock Output
Configuration
Reset Configuration
Parameter Settings
User Constants
NVIC Settings
GPIO Settings
Configure the below parameters :
Search (Ctrl+F)
System Parameters
VDD voltage (V)
3.3 V
Prefetch Buffer
Enabled
Flash Latency(WS)
2 WS (3 CPU cycle)
RCC Parameters
HSI Calibration Value
16
HSE Startup Timout Value (ms)
100
LSE Startup Timout Value (ms)
5000

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

Kod Programu

Main.c

```c
  */
/* USER CODE END Header */
/* Includes ------------------------------------------------------------------*/
#include "main.h"

/* Private includes ----------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "line_follower.h"
#include "dfplayer_mini.h"
#include <string.h> // Potrzebne dla strlen
#include <stdio.h>
#include <ctype.h>
/* USER CODE END Includes */

/* Private typedef -----------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN PTD */

/* USER CODE END PTD */

/* Private define ------------------------------------------------------------*/
/* USER CODE BEGIN PD */

// Typ enum dla trybów pracy robota
typedef enum {
    ROBOT_MODE_STOPPED,
    ROBOT_MODE_LINE_FOLLOWER,
    ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL
} RobotOperatingMode;

#define ADC_CHANNELS 8 // Definicja liczby kanałów ADC używanych do odczytu czujników linii
#define BT_COMMAND_BUFFER_SIZE 32 // Maksymalna długość komendy BT

uint16_t adc_buffer[ADC_CHANNELS]; // Bufor przechowujący odczyty z czujników linii (ADC)

volatile uint8_t robot_running = 0; // Zmienna globalna ustawiana w przerwaniu po naciśnięciu przycisku użytkownika (USER button).

volatile uint32_t echo_start = 0;   // Czas (w tickach timera) rozpoczęcia odbieranego echa
volatile uint32_t echo_end = 0;     // Czas (w tickach timera) zakończenia odbieranego echa
volatile uint8_t echo_captured = 0; // Flaga statusu przechwytywania echa (0: nic, 1: start, 2: koniec).

static char bt_command_buffer[BT_COMMAND_BUFFER_SIZE]; // Bufor na komendy z Bluetooth
static volatile uint8_t bt_cmd_buffer_idx = 0;         // Indeks w buforze komend BT

// Początkowe wartości PWM dla sterowania Bluetooth
const uint16_t INITIAL_BT_PWM_SPEED_LEFT  = 999; // Początkowa prędkość dla lewego silnika przy sterowaniu BT
const uint16_t INITIAL_BT_PWM_SPEED_RIGHT = 900; // Początkowa prędkość dla prawego silnika przy sterowaniu BT
/* USER CODE END PD */
```

```c
/* USER CODE BEGIN PV */
volatile RobotOperatingMode current_robot_mode = ROBOT_MODE_STOPPED; // Domyślny tryb robota
static uint8_t dfp_current_volume = 12; // Domyślna głośność (0-30)
static uint8_t dfp_is_commanded_to_play = 0; // Czy użytkownik zażądał odtwarzania
static uint8_t dfp_is_user_paused = 0;      // Czy użytkownik zapauzował

// Zmienne przechowujące aktualne docelowe prędkości PWM dla sterowania BT
static uint16_t current_bt_pwm_left = INITIAL_BT_PWM_SPEED_LEFT;
static uint16_t current_bt_pwm_right = INITIAL_BT_PWM_SPEED_RIGHT;

// Stała różnica prędkości między lewym a prawym silnikiem, obliczana na podstawie wartości początkowych
static const int16_t pwm_speed_diff = INITIAL_BT_PWM_SPEED_LEFT - INITIAL_BT_PWM_SPEED_RIGHT;
/* USER CODE END PV */

/* Private function prototypes -----------------------------------------------*/
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_DMA_Init(void);
static void MX_TIM1_Init(void);
static void MX_TIM2_Init(void);
static void MX_USART1_UART_Init(void);
static void MX_ADC4_Init(void);
static void MX_USART2_UART_Init(void);
/* USER CODE BEGIN PFP */

// Prototypy funkcji, które mogą być używane przez inne moduły (np. line_follower)
void robot_drive(uint16_t pwm_right, uint8_t dir_right, uint16_t pwm_left, uint8_t dir_left);
void robot_stop(void);
void UART_SendString(char *str);
float HCSR04_ReadDistance(void);
void HCSR04_Trigger(void);
uint8_t HC05_State(void);

void ProcessBluetoothCommand(char* command_str);
/* USER CODE END PFP */

```

```c
//Funkcja do uruchamiania robota w żądanym kierunku i prędkoscią za pomocą parametrów

void robot_drive(uint16_t pwm_right, uint8_t dir_right,
                 uint16_t pwm_left, uint8_t dir_left)
{
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim1, TIM_CHANNEL_1, pwm_right); // Ustawia wypełnienie PWM na kanale 1 (prawy silnik) - kontrola prędkości
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim1, TIM_CHANNEL_2, pwm_left); // Ustawia wypełnienie PWM na kanale 2 (lewy silnik) - kontrola prędkości
    // ustawianie odpowiednich stanów logicznych na wyjściach GPIO
    // prawy silnik
    if (dir_right) {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_SET);   // IN1
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, GPIO_PIN_RESET); // IN2
    } else {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_RESET); // IN1
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, GPIO_PIN_SET);   // IN2
    }

    // lewy silnik
    if (dir_left) {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_SET);   // IN3
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET); // IN4
    } else {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET); // IN3
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_SET);   // IN4
    }

}

// Funkcja zatrzymująca ruch robota. Ustawia wszystkie wyjścia GPIO NA 0 oraz wypełnienie PWM na 0 na obu silnikach
void robot_stop()
{
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_4, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_1, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_2, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_3, GPIO_PIN_RESET);
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim1, TIM_CHANNEL_1, 0);
    __HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim1, TIM_CHANNEL_2, 0);
}

// Funkcja Generuje krótki (10µs) impuls na pinie TRIG czujnika HC-SR04, aby zainicjować pomiar odległości
void HCSR04_Trigger(void)
{
    // Ustawia pin PB10 (TRIG) w stan wysoki, czeka 10 mikrosekund, a następnie ustawia go w stan niski.
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_10, GPIO_PIN_SET);
    HAL_Delay(0.01);  // 10 us za pomocą HAL_Delay. Do zmiany w przyszłości aby liczyło czas za pomocą timera.
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_10, GPIO_PIN_RESET);
}
```

```c
// Funkcja mierząca odległość za pomocą czujnika HC-SR04
// Inicjuje pomiar, czeka na impuls echa, oblicza czas jego trwania i przelicza na odległość w cm
// Używa timera TIM2 w trybie Input Capture do pomiaru czasu trwania impulsu echa
float HCSR04_ReadDistance(void)
{
    echo_captured = 0; // Reset flagi statusu przechwytywania echa

    // Uruchamia timer TIM2 w trybie Input Capture na kanale 4 (oczekiwanie na zbocze narastające)
    HAL_TIM_IC_Start_IT(&htim2, TIM_CHANNEL_4);

    HCSR04_Trigger(); // Wywołanie funkcji wysyłającej impuls

    uint32_t timeout = HAL_GetTick() + 100; // timeout na 100ms
    while (echo_captured < 2) // Czeka, aż zostaną przechwycone oba zbocza impulsu echa (start i end)
    {
        if (HAL_GetTick() > timeout)
        {
            return -1.0f; // wystąpił timeout (brak echa w ciągu 100ms), funkcja zwraca błąd -1.0f
        }
    }
    // Zatrzymanie timera
    HAL_TIM_IC_Stop_IT(&htim2, TIM_CHANNEL_4);

    uint32_t ticks; // Zmienna na czas trwania impulsu echa w tickach timera
    if (echo_end >= echo_start)         // Normalny przypadek
        ticks = echo_end - echo_start;
    else                                // Przypadek przepełnienia licznika timera
        ticks = (0xFFFFFFFF - echo_start + echo_end);

    float distance = ticks * 0.000239463f;
    // Obliczony współczynnik dla zegara systemowego 72MHz i prędkosci dzwięku ok 343m/s
    // Daje on wystarczającą dokładność dla wykrywania przeszkód podczas jazdy oraz
    // mierzenia dystansu w zakresie pracy czujnika

    return distance; // Zwrócenie obliczonej odległości
}

// Funkcja pomocnicza do wysyłająca wiadomości poprzez UART
// Jako parametr przyjmuje wskaźnik do ciągu znaków do wysłania
void UART_SendString(char *str) {
    HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t*)str, strlen(str), HAL_MAX_DELAY);
}


// Funkcja sprawdzająca stan połączenia Bluetooth
uint8_t HC05_State(void) {
    // Zwraca 1 jeśli połączony (HC-05 wysyła HIGH na pinie State)
    return HAL_GPIO_ReadPin(GPIOF, GPIO_PIN_4);
}
```

```
217
218 // Funkcja przetwarzająca komendy z Bluetooth sterując ruchem robota lub zmieniając jego tryb pracy.
219 // Wywoływana po odebraniu pełnej komendy zakończonej znakiem nowej linii.
220 void ProcessBluetoothCommand(char* command_str) {
221     char msg[70]; // Bufor na wiadomości dla UART
222     int value;    // Zmiennna do przechowywania wartości liczbowych z komend (np. głośność, numer utworu, procent prędkości)
223
224     // Wysyłanie potwierdzenia odebrania komendy (debugowanie)
225     // snprintf(msg, sizeof(msg), "BT Odebrana komenda: [%s]\r\n", command_str);
226     // UART_SendString(msg);
227
228     if (strlen(command_str) == 0) { // Ignoruje puste komendy
229         return;
230     }
231
232     char command_char = tolower(command_str[0]); // Pobiera pierwszy znak komendy i zamienia na małą literę
233
234     switch (command_char) {
235         case 'f': // Przód
236             if (strlen(command_str) == 1) {
237                 if (current_robot_mode == ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL) {
238                     robot_drive(current_bt_pwm_right, 1, current_bt_pwm_left, 1);
239                     UART_SendString("BT CMD: FWD\r\n");
240                 } else {
241                     UART_SendString("BT Info: Tryb manualny nie aktywny\r\n");
242                 }
243             } else {
244                  snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
245                  UART_SendString(msg);
246             }
247             break;
248         case 'b': // Tył
249             if (strlen(command_str) == 1) {
250                 if (current_robot_mode == ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL) {
251                     robot_drive(current_bt_pwm_right, 0, current_bt_pwm_left, 0);
252                     UART_SendString("BT CMD: BCK\r\n");
253                 } else {
254                     UART_SendString("BT Info: Tryb manualny nie aktywny\r\n");
255                 }
256             } else {
257                  snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
258                  UART_SendString(msg);
259             }
260             break;
261         case 'l': // Lewo
262             if (strlen(command_str) == 1) {
263                 if (current_robot_mode == ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL) {
264                     robot_drive(current_bt_pwm_right, 1, current_bt_pwm_left, 0);
265                     UART_SendString("BT CMD: LEFT\r\n");
266                 } else {
267                     UART_SendString("BT Info: Tryb manualny nie aktywny\r\n");
```

```
            }
            break;
        case 'l': // Lewo
            if (strlen(command_str) == 1) {
                if (current_robot_mode == ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL) {
                    robot_drive(current_bt_pwm_right, 1, current_bt_pwm_left, 0);
                    UART_SendString("BT CMD: LEFT\r\n");
                } else {
                    UART_SendString("BT Info: Tryb manualny nie aktywny\r\n");
                }
            } else {
                 snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
                 UART_SendString(msg);
            }
            break;
        case 'r': // Prawo
            if (strlen(command_str) == 1) {
                if (current_robot_mode == ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL) {
                    robot_drive(current_bt_pwm_right, 0, current_bt_pwm_left, 1);
                    UART_SendString("BT CMD: RIGHT\r\n");
                } else {
                    UART_SendString("BT Info: Tryb manualny nie aktywny\r\n");
                }
            } else {
                 snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
                 UART_SendString(msg);
            }
            break;
        case 's': // Stop
            if (strlen(command_str) == 1) {
                robot_running = 0; // flaga na 0
                robot_stop();
                current_robot_mode = ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL; // Po stop pozostaje w trybie manualnym aby płynnej sterować aplikacją w telefonie
                line_follower_reset_state();
                UART_SendString("BT CMD: STOP\r\n");
            } else {
                 snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
                 UART_SendString(msg);
            }
            break;

        case 'a': // Tryb autonomiczny - śledzenie linii
             if (strlen(command_str) == 1) {
                if (current_robot_mode != ROBOT_MODE_LINE_FOLLOWER || !robot_running) { // Jeśli nie był już w LF i nie jechał
                     robot_stop(); // Zatrzymanie, jeśli np. jedzie w trybie BT
                }
                current_robot_mode = ROBOT_MODE_LINE_FOLLOWER;
                robot_running = 1; // Odrazu jedzie (zmienna z PA0 ustawiona na 1)
                line_follower_reset_state();
                UART_SendString("BT CMD: Tryb -> Sledzenie linii\r\n");
             } else {
```

```
299
300         case 'a': // Tryb autonomiczny - śledzenie linii
301             if (strlen(command_str) == 1) {
302                 if (current_robot_mode != ROBOT_MODE_LINE_FOLLOWER || !robot_running) { // Jeśli nie był już w LF i nie jechał
303                     robot_stop(); // Zatrzymanie, jeśli np. jedzie w trybie BT
304                 }
305                 current_robot_mode = ROBOT_MODE_LINE_FOLLOWER;
306                 robot_running = 1; // Odrazu jedzie (zmienna z PA0 ustawiona na 1)
307                 line_follower_reset_state();
308                 UART_SendString("BT CMD: Tryb -> Sledzenie linii\r\n");
309             } else {
310                 snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
311                 UART_SendString(msg);
312             }
313             break;
314
315         case 'm': // Tryb manualny - sterowanie Bluetooth
316             if (strlen(command_str) == 1) {
317                 if (robot_running && current_robot_mode == ROBOT_MODE_LINE_FOLLOWER) {
318                     robot_stop(); // Zatrzymanie jeśli jedzie
319                 }
320                 current_robot_mode = ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL;
321                 robot_running = 0; // W trybie manualnym, `robot_running` nie kontroluje robotem bezpośrednio
322                 line_follower_reset_state();
323                 UART_SendString("BT CMD: Tryb -> Sterowanie reczne\r\n");
324             } else {
325                 snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
326                 UART_SendString(msg);
327             }
328             break;
329
330             // --- Sterowanie DFPlayer Mini ---
331
332
333         case '1': // Odtwórz utwór 1
334                     dfplayer_play_track(1);
335                 dfp_is_commanded_to_play = 1;
336                 dfp_is_user_paused = 0;
337                 UART_SendString("BT CMD: Track 1\r\n");
338                 break;
339
```

```
341             // Odtwórz utwór T<numer>
342             case 't': // Komenda 'T' z parametrem numeru utworu
343                 if (command_char == 't' && strlen(command_str) > 1) {
344                     if (sscanf(command_str + 1, "%d", &value) == 1) {
345                         if (value > 0 && value <= 255) { // DFPlayer obsługuje do 255 utworów w folderze głównym
346                             dfplayer_play_track((uint16_t)value);
347                             dfp_is_commanded_to_play = 1;
348                             dfp_is_user_paused = 0;
349                             snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Playing Track %d\r\n", value);
350                             UART_SendString(msg);
351                         } else {
352                             UART_SendString("BT ERR: Numer utworu poza zakresem (1-255)\r\n");
353                         }
354                     } else {
355                         UART_SendString("BT ERR: Bledny format komendy utworu. Uzyj T<numer_1_255>\r\n");
356                     }
357                 } else if (command_char == 't' && strlen(command_str) == 1) { // Samo 't' bez parametru
358                     UART_SendString("BT ERR: Komenda T wymaga numeru utworu. Uzyj T<numer_1_255>\r\n");
359                 } else { // Coś innego zaczynającego się na 't'
360                     snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
361                     UART_SendString(msg);
362                 }
363                 break;
364 
365             case '+': // Głośniej
366                 if (strlen(command_str) == 1) {
367                     if (dfp_current_volume < 30) {
368                         dfp_current_volume++;
369                     }
370                     dfplayer_set_volume(dfp_current_volume);
371                     snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Glosnosc w gore (%d/30)\r\n", dfp_current_volume);
372                     UART_SendString(msg);
373                 } else {
374                     snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
375                     UART_SendString(msg);
376                 }
377                 break;
378             case '-': // Ciszej
379                 if (strlen(command_str) == 1) {
380                     if (dfp_current_volume > 0) {
381                         dfp_current_volume--;
382                     }
383                     dfplayer_set_volume(dfp_current_volume);
384                     snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Glosnosc w dol (%d/30)\r\n", dfp_current_volume);
385                     UART_SendString(msg);
386                 } else {
387                     snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
388                     UART_SendString(msg);
389                 }
390                 break;
391             case 'n': // Następny utwór
392                 if (strlen(command_str) == 1) {
393                     dfplayer_next_track();
```

```
391         case 'n': // Następny utwór
392             if (strlen(command_str) == 1) {
393                 dfplayer_next_track();
394                 dfp_is_commanded_to_play = 1;
395                 dfp_is_user_paused = 0;
396                 UART_SendString("BT CMD: Następny utwór\r\n");
397             } else {
398                 snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
399                 UART_SendString(msg);
400             }
401             break;
402         case 'v': // Poprzedni utwór (v) LUB Ustaw głośność (V<poziom>)
403             if (command_char == 'v' && strlen(command_str) == 1) {
404                 dfplayer_prev_track();
405                 dfp_is_commanded_to_play = 1;
406                 dfp_is_user_paused = 0;
407                 UART_SendString("BT CMD: Poprzedni utwór\r\n");
408             }
409             // Ustaw głośność V<poziom>
410             else if (command_char == 'v' && strlen(command_str) > 1) { // Komenda 'V' z parametrem głośności
411                 if (sscanf(command_str + 1, "%d", &value) == 1) {
412                     if (value >= 0 && value <= 30) {
413                         dfp_current_volume = (uint8_t)value;
414                         dfplayer_set_volume(dfp_current_volume);
415                         snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Glosnosc ustawiona na %d/30\r\n", dfp_current_volume);
416                         UART_SendString(msg);
417                     } else {
418                         UART_SendString("BT ERR: Glosnosc poza zakresem (0-30)\r\n");
419                     }
420                 } else {
421                     UART_SendString("BT ERR: Bledny format komendy glosnosci. Uzyj V<0-30>\r\n");
422                 }
423             }
424             else {
425                  snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
426                  UART_SendString(msg);
427             }
428             break;
429         case 'p': // Pauza/Wznów
430             if (strlen(command_str) == 1) {
431                 if (dfp_is_commanded_to_play) { // Działa tylko, jeśli muzyka była odtwarzana
432                     if (!dfp_is_user_paused) {
433                         dfplayer_pause();
434                         dfp_is_user_paused = 1;
435                         UART_SendString("BT CMD: Pauza\r\n");
436                     } else {
437                         dfplayer_resume();
438                         dfp_is_user_paused = 0;
439                         UART_SendString("BT CMD: Wznowiono\r\n");
440                     }
441                 } else {
442                     UART_SendString("BT Info: Nie odtwarzam muzyki.\r\n");
443                 }
```

```
            }
            break;
        case 'p': // Pauza/Wznów
            if (strlen(command_str) == 1) {
                if (dfp_is_commanded_to_play) { // Działa tylko, jeśli muzyka była odtwarzana
                    if (!dfp_is_user_paused) {
                        dfplayer_pause();
                        dfp_is_user_paused = 1;
                        UART_SendString("BT CMD: Pauza\r\n");
                    } else {
                        dfplayer_resume();
                        dfp_is_user_paused = 0;
                        UART_SendString("BT CMD: Wznowiono\r\n");
                    }
                } else {
                    UART_SendString("BT Info: Nie odtwarzam muzyki.\r\n");
                }
            } else {
                 snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
                 UART_SendString(msg);
            }
            break;
         case 'x': // Stop odtwarzania
            if (strlen(command_str) == 1) {
                dfplayer_stop();
                dfp_is_commanded_to_play = 0;
                dfp_is_user_paused = 0;
                UART_SendString("BT CMD: Muzyka stop\r\n");
            } else {
                 snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
                 UART_SendString(msg);
            }
            break;

            // Ustaw prędkość W<procent_0_100>
            case 'w': // Komenda 'W' z parametrem procentu prędkości
                if (command_char == 'w' && strlen(command_str) > 1) { // Sprawdzanie czy jest podany parametr
                    if (sscanf(command_str + 1, "%d", &value) == 1) {
                        if (value >= 0 && value <= 100) {
                            // Obliczanie docelowego PWM dla lewego silnika (0-999) na podstawie procentu
                            uint16_t target_pwm_left = (uint16_t)((value / 100.0f) * 999.0f);

                            // Ograniczenie górne PWM do 999
                            if (target_pwm_left > 999) target_pwm_left = 999;

                            current_bt_pwm_left = target_pwm_left; // Ustawia nowe PWM dla lewego silnika

                            // Obliczanie PWM dla prawego silnika używając stałej różnicy
                            int16_t calculated_right_pwm = target_pwm_left - pwm_speed_diff;

                            // Sprawdzanie czy PWM dla prawego silnika nie jest ujemne i nie przekracza 999
                            if (calculated_right_pwm < 0) {
                                current_bt_pwm_right = 0;
```

```
            // Ustaw prędkość W<procent_0_100>
            case 'w': // Komenda 'W' z parametrem procentu prędkości
                if (command_char == 'w' && strlen(command_str) > 1) { // Sprawdzanie czy jest podany parametr
                    if (sscanf(command_str + 1, "%d", &value) == 1) {
                        if (value >= 0 && value <= 100) {
                            // Obliczanie docelowego PWM dla lewego silnika (0-999) na podstawie procentu
                            uint16_t target_pwm_left = (uint16_t)((value / 100.0f) * 999.0f);

                            // Ograniczenie górne PWM do 999
                            if (target_pwm_left > 999) target_pwm_left = 999;

                            current_bt_pwm_left = target_pwm_left; // Ustawia nowe PWM dla lewego silnika

                            // Obliczanie PWM dla prawego silnika używając stałej różnicy
                            int16_t calculated_right_pwm = target_pwm_left - pwm_speed_diff;

                            // Sprawdzanie czy PWM dla prawego silnika nie jest ujemne i nie przekracza 999
                            if (calculated_right_pwm < 0) {
                                current_bt_pwm_right = 0;
                            } else if (calculated_right_pwm > 999) {
                                current_bt_pwm_right = 999;
                            }
                            else {
                                current_bt_pwm_right = (uint16_t)calculated_right_pwm; // Ustawia nowe PWM dla prawego silnika
                            }

                            snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Predkosc ustawiona na %d%% (L:%d, P:%d)\r\n", value, current_bt_pwm_left, current_bt_pwm_right);
                            UART_SendString(msg);
                        } else {
                            UART_SendString("BT ERR: Procent predkosci poza zakresem (0-100)\r\n");
                        }
                    } else {
                        UART_SendString("BT ERR: Bledny format komendy predkosci. Uzyj W<0-100>\r\n");
                    }
                } else if (command_char == 'w' && strlen(command_str) == 1) { // Samo 'w' bez parametru
                    UART_SendString("BT ERR: Komenda W wymaga procentu predkosci. Uzyj W<0-100>\r\n");
                } else {
                    snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
                    UART_SendString(msg);
                }
                break;

        default:
            snprintf(msg, sizeof(msg), "BT CMD: Nieznana komenda '%s'\r\n", command_str);
            UART_SendString(msg);
            break;
    }
}
```

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

Funkcja Main()

```c
int main(void)
{

  /* USER CODE BEGIN 1 */

  /* USER CODE END 1 */

  /* MCU Configuration--------------------------------------------------------*/

  /* Reset of all peripherals, Initializes the Flash interface and the Systick. */
  HAL_Init();

  /* USER CODE BEGIN Init */

  /* USER CODE END Init */

  /* Configure the system clock */
  SystemClock_Config();

  /* USER CODE BEGIN SysInit */

  /* USER CODE END SysInit */

  /* Initialize all configured peripherals */
  MX_GPIO_Init();
  MX_DMA_Init();
  MX_TIM1_Init();
  MX_TIM2_Init();
  MX_USART1_UART_Init();
  MX_ADC4_Init();
  MX_USART2_UART_Init();
  /* USER CODE BEGIN 2 */

  // Inicjalizacja DFPlayer Mini
  dfplayer_init(&huart2, GPIOC, GPIO_PIN_13);
  HAL_Delay(500);

  HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_1);// Start generowania sygnału PWM na kanale 1 (prawy silnik)
  HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_2); // Start generowania sygnału PWM na kanale 2 (lewy silnik)

  HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_SET); // IrED = 1 -> Diody IR w czujniku odbiciowym włączone

  line_follower_init(); // Inicjalizacja modułu śledzenia linii

  //const uint16_t pwm_r = 980; // Minimalnie niższe wypełnienie PWM dla prawego silnika, by skorygować tor jazdy
  //const uint16_t pwm_l = 999; // Maksymalne wypełnienie PWM (pełna prędkość) dla lewegp silnika

  // Uruchomienie nasłuchiwania na porcie UART1 dla komend Bluetooth.
  // Odbieranie pojedynczych bajtów do bufora bt_command_buffer.
  HAL_UART_Receive_IT(&huart1, (uint8_t*)&bt_command_buffer[bt_cmd_buffer_idx], 1);

  HAL_ADC_Start_DMA(&hadc4, (uint32_t*)adc_buffer, ADC_CHANNELS); // Uruchomienie konwersji ADC w trybie DMA
                                                                  // Odczyty z `ADC_CHANNELS` kanałów będą
```

```
551
552   HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_1);// Start generowania sygnału PWM na kanale 1 (prawy silnik)
553   HAL_TIM_PWM_Start(&htim1, TIM_CHANNEL_2); // Start generowania sygnału PWM na kanale 2 (lewy silnik)
554
555   HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_0, GPIO_PIN_SET); // IrED = 1 -> Diody IR w czujniku odbiciowym włączone
556
557   line_follower_init(); // Inicjalizacja modułu śledzenia linii
558
559   //const uint16_t pwm_r = 980; // Minimalnie niższe wypełnienie PWM dla prawego silnika, by skorygować tor jazdy
560   //const uint16_t pwm_l = 999; // Maksymalne wypełnienie PWM (pełna prędkość) dla lewegp silnika
561
562   // Uruchomienie nasłuchiwania na porcie UART1 dla komend Bluetooth.
563   // Odbieranie pojedynczych bajtów do bufora bt_command_buffer.
564   HAL_UART_Receive_IT(&huart1, (uint8_t*)&bt_command_buffer[bt_cmd_buffer_idx], 1);
565
566   HAL_ADC_Start_DMA(&hadc4, (uint32_t*)adc_buffer, ADC_CHANNELS); // Uruchomienie konwersji ADC w trybie DMA
567                                                                   // Odczyty z `ADC_CHANNELS` kanałów będą
568                                                                   // automatycznie zapisywane do `adc_buffer
569
570   /* USER CODE END 2 */
571
572   /* Infinite loop */
573   /* USER CODE BEGIN WHILE */
574
575
576   // Ustawienie początkowego trybu i stanu
577   current_robot_mode = ROBOT_MODE_STOPPED; //  Ustawienie początkowego trybu robota na zatrzymany
578   robot_running = 0; // Domyślnie zatrzymany
579
580   // Wysłanie komunikatów powitalnych przez UART
581   UART_SendString("Robot Gotowy!!!\r\nWyślij 'A' aby włączyć Podążanie po linii, 'M' dla ręcznego sterowania.\r\n");
582   UART_SendString("Aktualny Tryb: Zatrzymano. Wciśnij PA0 albo wyślij komendę BT.\r\n");
583
584   while (1)
585   { // sterowanie diodą state (PE8)
586       if (HC05_State()) {
587           HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);  // Dioda ON (połączony)
588       }
589       else {
590           HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET); // Dioda OFF (brak połączenia)
591       }
592
593       /* Kontrola diody LED dla statusu BUSY DFPlayera */
594          if (dfplayer_is_busy()) {
595              // DFPlayer jest zajęty (gra muzykę) - zaświeć diodę na PE15
596              HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_SET);
597          } else {
598              // DFPlayer jest wolny (nie gra) - zgaś diodę na PE15
599              HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
600          }
601     /* USER CODE END WHILE */
```

```
    if (HC05_State()) {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);  // Dioda ON (połączony)
    }
    else {
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOE, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET); // Dioda OFF (brak połączenia)
    }
  /* USER CODE END WHILE */

  /* USER CODE BEGIN 3 */
    // switch sterujący robotem w zależności od ustawionego trybu
    switch (current_robot_mode) {
            case ROBOT_MODE_LINE_FOLLOWER:
                if (robot_running) {
                    float distance = HCSR04_ReadDistance(); // Pomiar dystansu

                    if (distance >= 16.0f || distance < 0.0f) { // Jeśli nie ma przeszkody lub błąd czujnika
                        line_follower_process(); // Wywołanie funkcji śledzenia linii
                        HAL_Delay(1); // krótkie opóźnienie
                    } else { // Przeszkoda wykryta
                        robot_stop();
                        UART_SendString("Przeszkoda: Zatrzymano.\r\n");
                        // Opcjonalnie: Zawracanie
                        // UART_SendString("Przeszkoda: Zawracam.\r\n");
                        // HAL_Delay(500);
                        // robot_drive(BT_PWM_SPEED_RIGHT, 1, BT_PWM_SPEED_LEFT, 0);
                        // HAL_Delay(680);
                        // robot_stop();
                        // HAL_Delay(50);
                    }
                } else {
                    robot_stop(); // zatrzymanie po wcisnieciu przycisku
                    line_follower_reset_state();
                    HAL_Delay(200);
                }
                break;

            case ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL:
                // Logika ruchu jest obsługiwana w ProcessBluetoothCommand poprzez przerwanie UART
                HAL_Delay(50); // Krótkie opóźnienie
                break;

            case ROBOT_MODE_STOPPED:
                // Robot jest zatrzymany, silniki wyłączone
                HAL_Delay(200); // odciążanie CPU
                break;
  }
  /* USER CODE END 3 */
}
}
```

robota

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

Funkcje callback

```c
/* USER CODE BEGIN 4 */
// Funkcja obsługująca przerwanai zewnętrzne wywoływane przez wciśniecie User Button (PA0)
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
{
    if (GPIO_Pin == GPIO_PIN_0) // Sprawdza, czy przerwanie pochodzi od przycisku użytkownika (PA0)
    {
        // Prosty debounce
        static uint32_t last_press_time = 0; // Zmienna przechowuje czas ostatniego zarejestrowanego naciśnięcia
        if (HAL_GetTick() - last_press_time < 250) { // 250ms debounce
            return; // Ignoruj to naciśnięcie
        }
        last_press_time = HAL_GetTick();

        if (current_robot_mode == ROBOT_MODE_LINE_FOLLOWER) {
            robot_running = !robot_running; // Przełącz stan start/stop dla line-followera
            if (robot_running) {
                line_follower_reset_state(); // Resetowanie stanu przy starcie
                UART_SendString("PA0: START podążania po linii\r\n");
            } else { // Zatrzymanie robota
                robot_stop();
                UART_SendString("PA0: STOP podążania po linii\r\n");
            }
        } else if (current_robot_mode == ROBOT_MODE_BLUETOOTH_MANUAL) {
            // W trybie manualnym BT, PA0 działa jako nagły stop
            robot_stop();
            UART_SendString("PA0: Zatrzymano ręczne sterowanie\r\n");
        } else if (current_robot_mode == ROBOT_MODE_STOPPED) {
            // Jeśli zatrzymany, PA0 może go przełączyć i uruchomić w trybie Line Follower
            current_robot_mode = ROBOT_MODE_LINE_FOLLOWER;
            robot_running = 1; // Uruchomianie od razu
            line_follower_reset_state();
            UART_SendString("PA0: Zmieniono tryb na podążanie po linii\r\n");
        }
    }
}
```

```c
// funkcja obsługująca przerwania od timera w trybie Input Capture (przechwytywania wejścia)
// Wywoływana, gdy timer wykryje zbocze na skonfigurowanym kanale
// służy do pomiaru czasu trwania impulsu echo z HC-SR04
void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
    // Sprawdzanie, czy przerwanie pochodzi od TIM2 i jego aktywnego kanału 4
    if (htim->Instance == TIM2 && htim->Channel == HAL_TIM_ACTIVE_CHANNEL_4)
    {
        if (echo_captured == 0) // Jeśli to pierwsze (narastające) zbocze impulsu echo
        {
            echo_start = HAL_TIM_ReadCapturedValue(htim, TIM_CHANNEL_4); // Odczytaj i zapisz wartość licznika timera (czas startu)

            // Zmień polaryzację przechwytywania na zbocze opadające, aby złapać koniec impulsu
            __HAL_TIM_SET_CAPTUREPOLARITY(htim, TIM_CHANNEL_4, TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_FALLING);
            echo_captured = 1; // Ustawia flagę, że start echa został przechwycony
        }
        else if (echo_captured == 1) // Jeśli to drugie (opadające) zbocze impulsu echo
        {
            echo_end = HAL_TIM_ReadCapturedValue(htim, TIM_CHANNEL_4); // Odczytaj i zapisz wartość licznika timera (czas końca)

            // Zmień polaryzację z powrotem na zbocze narastające dla następnego pomiaru
            __HAL_TIM_SET_CAPTUREPOLARITY(htim, TIM_CHANNEL_4, TIM_INPUTCHANNELPOLARITY_RISING);
            echo_captured = 2; // Ustaw flagę, że koniec echa został przechwycony (pomiar kompletny)
        }
    }
}
```

```
1192 // Callback wywoływany po odebraniu danych przez UART (Bluetooth)
1193 void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart)
1194 {
1195   if (huart->Instance == USART1) // Sprawdza, czy przerwanie pochodzi od USART1
1196   {
1197     uint8_t received_char = bt_command_buffer[bt_cmd_buffer_idx]; // Pobierz właśnie odebrany znak
1198
1199     // Sprawdzenie czy odebrano znak końca linii
1200     if (received_char == '\n') // Jeśli odebrano LF
1201     {
1202         bt_command_buffer[bt_cmd_buffer_idx] = '\0'; // Kończenie stringa w miejscu LF
1203         // Uniknięcie pustych komend poprzez zamianę CR na \0
1204         if (bt_cmd_buffer_idx > 0 && bt_command_buffer[bt_cmd_buffer_idx - 1] == '\r') {
1205             bt_command_buffer[bt_cmd_buffer_idx - 1] = '\0';
1206         }
1207
1208         if (strlen(bt_command_buffer) > 0) { // Przetwarza tylko jeśli komenda nie jest pusta
1209             ProcessBluetoothCommand(bt_command_buffer);
1210         }
1211
1212         bt_cmd_buffer_idx = 0; // Reset indeksu dla nowej komendy
1213         memset(bt_command_buffer, 0, BT_COMMAND_BUFFER_SIZE); // Czyszczenie buforu
1214     }
1215     else if (received_char == '\r') // Jeśli odebrano CR
1216     {
1217         bt_command_buffer[bt_cmd_buffer_idx] = '\0'; // Kończenie stringa w miejscu CR
1218         // Komenda jest gotowa do przetworzenia
1219         if (strlen(bt_command_buffer) > 0) {
1220              ProcessBluetoothCommand(bt_command_buffer);
1221         }
1222         bt_cmd_buffer_idx = 0; // Reset indeksu dla nowej komendy
1223         memset(bt_command_buffer, 0, BT_COMMAND_BUFFER_SIZE); // Czyszczenie bufora
1224     }
1225     else
1226     {
1227         // Jeśli to zwykły znak to dodaje do bufora i inkrementuje indeks
1228         // Sprawdzenie, czy nie przekroczono rozmiaru bufora
1229         if (bt_cmd_buffer_idx < BT_COMMAND_BUFFER_SIZE - 1) {
1230             bt_cmd_buffer_idx++;
1231         } else {
1232             // Jeśli bufor jest pełny a nie było znaku końca to błąd
1233             UART_SendString("BT ERR: Bufor komendy przepełniony\r\n");
1234             bt_cmd_buffer_idx = 0; // Reset buforu
1235             memset(bt_command_buffer, 0, BT_COMMAND_BUFFER_SIZE);
1236         }
1237     }
1238     // Ponowne włączanie nasłuchiwania i zapisanie go w aktualnej pozycji w buforze
1239     HAL_UART_Receive_IT(&huart1, (uint8_t*)&bt_command_buffer[bt_cmd_buffer_idx], 1);
1240   }
1241 }
1242
```

Line_follower.h

plik nagłówkowy dla line_follower zawierający definicje i parametry

```c
/*
 * line_follower.h
 */

#ifndef LINE_FOLLOWER_H_
#define LINE_FOLLOWER_H_

#include "main.h"
#include <stdint.h>

//Konfiguracja Śledzenia Linii
#define ADC_CHANNELS 8 // Liczba czujników linii (kanałów ADC)

#define LINE_FOLLOWER_KP 0.001f // Współczynnik proporcjonalny (P) regulatora PID do korekcji błędu pozycji
#define LINE_FOLLOWER_KD 0.001f // Współczynnik różniczkujący (D) regulatora PID do tłumienia oscylacji

#define LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM 650 // Podstawowa prędkość PWM silników
#define LINE_FOLLOWER_MIN_SPEED_PWM 650 // Minimalna dopuszczalna prędkość PWM silników
#define LINE_FOLLOWER_MAX_SPEED_PWM 850// Maksymalna dopuszczalna prędkość PWM silników

// Definicja bazowych prędkości PWM dla obu silników uwzględniając kalibrację
#define LEFT_MOTOR_BASE_PWM (LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM + 20 > LINE_FOLLOWER_MAX_SPEED_PWM ? LINE_FOLLOWER_MAX_SPEED_PWM : LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM + 20)
#define RIGHT_MOTOR_BASE_PWM LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM

#define SENSOR_LINE_THRESHOLD 600 // Próg odczytu ADC, powyżej którego uznaje się,
                                  //że czujnik jest nad linią (białe tło, czarna linia)
#define SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER 1000 // Mnożnik używany do obliczania ważonej pozycji linii

// Docelowa wartość pozycji, gdy robot jest idealnie na środku linii
#define LINE_CENTER_POSITION ( ( (ADC_CHANNELS - 1) * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER ) / 2 )

//Konfiguracja ostrych zakrętów
#define SHARP_TURN_PWM 700 // Prędkość PWM silników podczas wykonywania ostrego zakrętu
#define SHARP_TURN_DURATION_MS 600 // Czas trwania manewru ostrego zakrętu w milisekundach
#define SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE 2 // Liczba skrajnych zewnętrznych czujników,
                                          //które muszą wykryć linię, aby zidentyfikować ostry zakręt

#define SHARP_TURN_INNER_SENSORS_INACTIVE 3 // Liczba wewnętrznych czujników (od strony zakrętu),
                                            // które muszą NIE wykrywać linii,
                                            // aby potwierdzić ostry zakręt

//Konfiguracja oszukiwania zgubionej linii
#define LOST_LINE_REVERSE_PWM 710           // Prędkość PWM podczas cofania
#define LOST_LINE_REVERSE_DURATION_MS 400   // Czas cofania po zgubieniu linii
#define LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM 550        // Prędkość PWM podczas obrotu w miejscu przy szukaniu
#define LOST_LINE_SWEEP_DURATION_MS 550     // Czas jednego obrotu przy szukaniu
#define LOST_LINE_MAX_SEARCH_CYCLES 5       // Liczba pełnych cykli poszukiwania (lewo-prawo) zanim robot się podda


// Stany robota
typedef enum {
    STATE_FOLLOWING_LINE,                   // Stan gdy robot jedzie po linii

    // Stany dla zgubionej linii
    STATE_LOST_LINE_INITIATE_SEARCH,        // Stan początkowy po zgubieniu linii
    STATE_LOST_LINE_REVERSING,              // Robot cofa
    STATE_LOST_LINE_SEARCH_LEFT,            // Robot szuka obracając się w lewo w miejscu
    STATE_LOST_LINE_SEARCH_RIGHT,           // Robot szuka obracając się w prawo w miejscu
    STATE_LOST_LINE_FAIL_STOP,              // Robot się poddaje i zatrzymuje

    // Stany dla ostrych zakrętów
    STATE_DETECTED_SHARP_LEFT_TURN,
    STATE_PERFORMING_SHARP_LEFT_TURN,
    STATE_DETECTED_SHARP_RIGHT_TURN,
    STATE_PERFORMING_SHARP_RIGHT_TURN,
} RobotLineState;

extern uint16_t adc_buffer[ADC_CHANNELS]; // Bufor przechowujący odczyty z czujników linii (ADC)

void line_follower_init(void);            // Funkcja inicjalizująca moduł śledzenia linii
void line_follower_process(void);         // Główna funkcja przetwarzająca logikę śledzenia linii, wywoływana cyklicznie
void line_follower_reset_state(void);     // Funkcja resetująca stan robota do początkowego (np. STATE_FOLLOWING_LINE)

#endif /* LINE_FOLLOWER_H_ */
```

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

Line_follower.c

Zmienne

```c
#include "line_follower.h" //import zmiennych i definicji z pliku nagłówkowego
#include "main.h"
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

// Tablica wag przypisanych do każdego czujnika. Wagi rosną od lewej do prawej,
// co pozwala na obliczenie środka ciężkości wykrytej linii.
static const int32_t sensor_weights[ADC_CHANNELS] = {
    0 * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER, 1 * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER, 2 * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER, 3 * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER,
    4 * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER, 5 * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER, 6 * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER, 7 * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER
};

// Statyczne zmienne modułu przechowujące jego wewnętrzny stan

static float line_last_error_for_decision = 0.0f; // Ostatni zarejestrowany błąd pozycji linii,
//używany do podjęcia decyzji o kierunku poszukiwania linii po jej zgubieniu.
//Aktualizowany tylko, gdy linia jest wykrywana stabilnie

static float line_last_error_for_pid = 0.0f;      // Ostatni zarejestrowany błąd pozycji linii,
//używany do obliczenia członu różniczkującego regulatora PID

static int32_t last_known_position = LINE_CENTER_POSITION; // Ostatnia znana pozycja linii, nawet jeśli była chwilowa
static RobotLineState_t current_robot_state = STATE_FOLLOWING_LINE; // Aktualny stan robota
static uint32_t state_timer = 0; // Zmienna używana do odmierzania czasu trwania określonych stanów lub operacji
static uint8_t search_cycle_counter = 0; // Licznik cykli poszukiwania wykonanych podczas szukania zgubionej linii

```

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

Funkcje pomocnicze

```
// Prototypy funkcji prywatnych
static int32_t calculate_line_position(uint16_t *sensor_values);
static void handle_lost_line(void);
static void handle_sharp_turns(int32_t position, uint16_t *sensor_values);


// Funkcja pomocnicza inicjalizująca stan modułu szukania linii. Wytołana tylko raz

void line_follower_init(void) {
    line_last_error_for_decision = 0.0f;
    line_last_error_for_pid = 0.0f;
    last_known_position = LINE_CENTER_POSITION; // Zakładamy, że na starcie robot jest na środku linii
    current_robot_state = STATE_FOLLOWING_LINE; // Domyślny stan początkowy.
    state_timer = HAL_GetTick(); // Inicjalizacja prostego timera stanów za pomocą HAL
    search_cycle_counter = 0; // Zmienna zliczająca ilość cykli poszukiwania
}

// Resetuje stan modułu, pozwalając na uruchomienie od npwa podążania za linią
void line_follower_reset_state(void) {
    line_last_error_for_decision = 0.0f;
    line_last_error_for_pid = 0.0f;
    current_robot_state = STATE_FOLLOWING_LINE;
    search_cycle_counter = 0;
}

```

```
// Funkcja pomocnicza obliczająca pozycję linii na podstawie odczytów z czujników odbiciowych
// Zwraca wartość pozycji lub -1, jeśli linia nie została wykryta.

static int32_t calculate_line_position(uint16_t *sensor_values) {
    uint32_t weighted_sum = 0;          // Suma ważona (wartość czujnika * waga czujnika)
    uint16_t sum_of_active_sensors = 0; // Suma wartości aktywnych czujników
    uint8_t active_sensor_count = 0;    // Liczba czujników, które wykryły linie
    uint8_t first_active_sensor = ADC_CHANNELS; // Indeks pierwszego aktywnego czujnika od lewej

    // Czujnik jest uznawany za aktywny, jeśli jego odczyt przekracza próg SENSOR_LINE_THRESHOLD
    for (uint8_t i = 0; i < ADC_CHANNELS; i++) {
        if (sensor_values[i] > SENSOR_LINE_THRESHOLD) {
            weighted_sum += (uint32_t)sensor_values[i] * sensor_weights[i];
            sum_of_active_sensors += sensor_values[i];
            active_sensor_count++;
            if (i < first_active_sensor) { // Zapamiętanie indeksu pierwszego aktywnego czujnika.
                first_active_sensor = i;
            }
        }
    }

    if (active_sensor_count == 0) {
        return -1; // -1 oznacza że, linia nie została wykryta przez żaden czujnik
    }

    // Jeśli wszystkie czujniki widzą linię (np szeroka linia) to uznajemy, że robot jest na środku
    if (active_sensor_count == ADC_CHANNELS) {
        last_known_position = LINE_CENTER_POSITION;
        return LINE_CENTER_POSITION;
    }

    // Jeśli tylko jeden czujnik jest aktywny, jego pozycja jest traktowana jako pozycja linii.
    if (active_sensor_count == 1) {
        if (first_active_sensor == 0) { // Aktywny tylko skrajny lewy czujnik.
            last_known_position = sensor_weights[0];
            return sensor_weights[0];
        }
        if (first_active_sensor == ADC_CHANNELS - 1) { // Aktywny tylko skrajny prawy czujnik.
            last_known_position = sensor_weights[ADC_CHANNELS - 1];
            return sensor_weights[ADC_CHANNELS - 1];
        }
    }
    // Jeśli aktywny jest jeden ze środkowych czujników to obliczana jest średnia ważona
    // Normalizacja wyniku daje większą wagę czujnikom z silniejszym sygnałem
    last_known_position = weighted_sum / sum_of_active_sensors;
    return last_known_position; // Zwracamy pozycję
}
```

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

Główna logika

```
// Główna funkcja przetwarzająca logikę podążania za linią wywoływana cyklicznie

void line_follower_process(void) {
    // Obliczanie aktualnej pozycji linii na podstawie danych z bufora ADC
    int32_t current_position = calculate_line_position(adc_buffer);

    //Debug UART do sprawdzania wartości wskazywanych przez czujniki
    char uart_buf[120];
    sprintf(uart_buf, "ADC:[%4u %4u %4u %4u %4u %4u %4u %4u] Pos:%ld State:%d\r\n",
            adc_buffer[0], adc_buffer[1], adc_buffer[2], adc_buffer[3],
            adc_buffer[4], adc_buffer[5], adc_buffer[6], adc_buffer[7],
            current_position, current_robot_state);
     UART_SendString(uart_buf);

    // W pierwszej kolejności sprawdzamy czy nie ma zakrętu
    handle_sharp_turns(current_position, adc_buffer);
    // Jeśli robot jest w trakcie zakrętu pomijamy resztę logiki
    if (current_robot_state == STATE_PERFORMING_SHARP_LEFT_TURN ||
        current_robot_state == STATE_PERFORMING_SHARP_RIGHT_TURN) {
        return;
    }

    // Linia jest znaleziona
    if (current_position != -1) {

        current_robot_state = STATE_FOLLOWING_LINE; // Ustawienie stanu robota na podążanie za linią
        search_cycle_counter = 0; // Zresetowanie licznika cykli poszukiwania bo linia została znaleziona

        // Obliczenie błędu jako odchylenia aktualnej pozycji robota od idealnej pozycji linii
        float error = (float)current_position - LINE_CENTER_POSITION;

        // Aktualizacja zmiennej line_last_error_for_decision tylko wtedy,
        //gdy błąd nie jest ekstremalny czyli np kiedy linia nie jest na skraju
        uint8_t active_sensors_count_temp = 0;
        for(int i=0; i<ADC_CHANNELS; ++i) if(adc_buffer[i] > SENSOR_LINE_THRESHOLD) active_sensors_count_temp++;

        if (abs((int)error) < (LINE_CENTER_POSITION * 0.85f) && active_sensors_count_temp > 0) {
            line_last_error_for_decision = error;
        }

        // Obliczenie członu różniczkującego (D) regulatora PID.
        float derivative = error - line_last_error_for_pid;
        // Obliczenie korekty prędkości silników za pomocą regulatora PD (Proporcjonalno-Różniczkującego)
        float motor_speed_correction = (LINE_FOLLOWER_KP * error) + (LINE_FOLLOWER_KD * derivative);
        // Zapisanie bieżącego błędu do użycia w następnej iteracji jako `line_last_error_for_pid`
        line_last_error_for_pid = error;
```

```
147
148         // Obliczenie docelowych wartości PWM dla silników
149
150         // Korekta jest odejmowana od lewego silnika i dodawana do prawego i
151         // powoduje to skręt w kierunku przeciwnym do znaku błędu
152         int16_t pwm_left_target = LEFT_MOTOR_BASE_PWM - (int16_t)motor_speed_correction;
153         int16_t pwm_right_target = RIGHT_MOTOR_BASE_PWM + (int16_t)motor_speed_correction;
154
155         // Ograniczenie prędkości silników do zdefiniowanych limitów w line_follower.h
156         if (pwm_left_target > LINE_FOLLOWER_MAX_SPEED_PWM) pwm_left_target = LINE_FOLLOWER_MAX_SPEED_PWM;
157         else if (pwm_left_target < LINE_FOLLOWER_MIN_SPEED_PWM) pwm_left_target = LINE_FOLLOWER_MIN_SPEED_PWM;
158
159         if (pwm_right_target > LINE_FOLLOWER_MAX_SPEED_PWM) pwm_right_target = LINE_FOLLOWER_MAX_SPEED_PWM;
160         else if (pwm_right_target < LINE_FOLLOWER_MIN_SPEED_PWM) pwm_right_target = LINE_FOLLOWER_MIN_SPEED_PWM;
161
162         // Dodatkowa korekta dla bardzo dużych błędów (min sytuacje gdy linia jest na skrajnych czujnikach)
163         // Ma to na celu wymuszenie ostrzejszego skrętu
164         //zmienna `extreme_error_threshold` określa próg dla bardzo dużego błędu
165
166         const int32_t extreme_error_threshold = (ADC_CHANNELS / 2 - 1) * SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER * 0.8f;
167         if (abs((int)error) > extreme_error_threshold) {
168             if (error > 0) { // Linia mocno po prawej, robot musi skręcić w prawo (lewe koło szybciej, prawe wolniej)
169                 pwm_left_target = LINE_FOLLOWER_MAX_SPEED_PWM;
170                 pwm_right_target = LINE_FOLLOWER_MIN_SPEED_PWM - 200 > 0 ? LINE_FOLLOWER_MIN_SPEED_PWM - 200 : 0; // Zmniejszenie prędkości prawego
171             } else { // Linia mocno po lewej, robot musi skręcić w lewo
172                 pwm_right_target = LINE_FOLLOWER_MAX_SPEED_PWM;
173                 pwm_left_target = LINE_FOLLOWER_MIN_SPEED_PWM - 200 > 0 ? LINE_FOLLOWER_MIN_SPEED_PWM - 200 : 0;
174             }
175         }
176
177         // Sterowanie silnikami z obliczonymi wartościami PWM i kierunkiem
178         robot_drive(pwm_right_target, 1, pwm_left_target, 1);
179
180         // Na końcu sprawdzamy czy linia nie została zgubiona (current_position == -1)
181     } else {
182         // Jeśli robot nie jest już w stanie poszukiwania lub wykonywania ostrego zakrętu,
183         // a był wcześniej w stanie podążania za linią lub właśnie wykrył zakręt i zgubił linię,
184         // to inicjujemy procedurę poszukiwania
185         if (current_robot_state == STATE_FOLLOWING_LINE || current_robot_state == STATE_DETECTED_SHARP_LEFT_TURN ||
186             current_robot_state == STATE_DETECTED_SHARP_RIGHT_TURN) {
187
188             current_robot_state = STATE_LOST_LINE_INITIATE_SEARCH;
189
190             // Zmienne `line_last_error_for_decision` i `last_known_position`
191             // przechowują wartości sprzed zgubienia linii i zostaną użyte w funkcji handle_lost_line
192         }
193         handle_lost_line(); // Jeśli linia zgubiona to wywołujemy funkcję obsługującą ten stan
194     }
195 }
196
```

Funkcja obsługująca zgubienie linii

```c
// Funkcja obsługująca logikę zachowania robota po zgubieniu linii
// Linia jest poszukiwana sekwencyjnie do momentu aż robot znajdzie linię w ciągu ustalonej liczby cykli poszukiwania
static void handle_lost_line(void) {
    uint32_t current_time = HAL_GetTick(); // Pobranie aktualnego czasu systemowego.

    switch (current_robot_state) {
    // Inicjalizacja sekwencji
        case STATE_LOST_LINE_INITIATE_SEARCH:
            // Najpierw zaczyna on cofnięcia
            current_robot_state = STATE_LOST_LINE_REVERSING;
            state_timer = current_time; // Zapisz czas rozpoczęcia cofania.
            search_cycle_counter = 0;   // Zresetuj licznik cykli dla nowej sekwencji poszukiwania
            robot_drive(LOST_LINE_REVERSE_PWM, 0, LOST_LINE_REVERSE_PWM, 0); // Cofanie prosto z ustalonym PWM dla cofania
            break;

        case STATE_LOST_LINE_REVERSING:
            // Sprawdzanie czy nie upłynął czas przeznaczony na cofanie
            if (current_time - state_timer > LOST_LINE_REVERSE_DURATION_MS) {
                // Po cofnięciu robot decyduje o pierwszym kierunku obrotu w miejscu
                // Decyzja jest podjęta na podstawie wartości `line_last_error_for_decision` lub, jeśli jest on bliski zera, na `last_known_position`
                // Jeśli linia była po prawej (błąd > 0 lub LKP > centrum), to zaczyna szukać w prawo

                // LKP - last_known_position

                if (line_last_error_for_decision > SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER / 4 || (abs((int)line_last_error_for_decision) <=
                        SENSOR_WEIGHT_MULTIPLIER / 4 && last_known_position > LINE_CENTER_POSITION)) {
                    current_robot_state = STATE_LOST_LINE_SEARCH_RIGHT;
                    robot_drive(LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 0, LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 1); // Obrót w prawo
                } else { // Linia była po lewej, na środku, lub błąd był nieznaczny i LKP <= centrum
                    current_robot_state = STATE_LOST_LINE_SEARCH_LEFT;
                    robot_drive(LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 1, LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 0); // Obrót w lewo
                }
                state_timer = current_time; // Zapisz czas rozpoczęcia obrotu
            } else {
                // Kontynuuj cofanie, jeśli czas nie upłynął
                robot_drive(LOST_LINE_REVERSE_PWM, 0, LOST_LINE_REVERSE_PWM, 0);
            }
            break;
```

```
235
236         case STATE_LOST_LINE_SEARCH_LEFT:
237             // Sprawdzanie czy upłynął czas przeznaczony na obrót w lewo
238             if (current_time - state_timer > LOST_LINE_SWEEP_DURATION_MS) {
239                 // Zakończono obrót w lewo robot przełącza się na obrót w prawo
240                 current_robot_state = STATE_LOST_LINE_SEARCH_RIGHT;
241                 state_timer = current_time;
242                 robot_drive(LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 0, LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 1); // Obrót w prawo
243                 UART_SendString("Lost: Sweeping Right (from Left)\r\n");
244                 search_cycle_counter++; // Inkrementacja licznika cykli
245             } else {
246                 // Kontynuacja obrotu w lewo
247                 robot_drive(LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 1, LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 0);
248             }
249             break;
250
251         case STATE_LOST_LINE_SEARCH_RIGHT:
252             // Sprawdzanie czy upłynął czas przeznaczony na obrót w prawo
253             if (current_time - state_timer > LOST_LINE_SWEEP_DURATION_MS) {
254                 // Zakończono obrót w prawo
255                 // Sprawdzanie czy nie przekroczono maksymalnej liczby cykli poszukiwania
256                 // mnożnik *2 bo jeden cykl to obrót w lewo i w prawo, -1 bo licznik zaczyna od 0
257                 if (search_cycle_counter >= LOST_LINE_MAX_SEARCH_CYCLES * 2 -1) {
258                     current_robot_state = STATE_LOST_LINE_FAIL_STOP;
259                     robot_stop(); // Zatrzymaj robota.
260                     UART_SendString("Linia zgubiona: Koniec cykli poszukiwania. Zatrzymano Robota.\r\n");
261                 } else {
262                     // Robot przełącza się na obrót w lewo, kontynuując poszukiwanie.
263                     current_robot_state = STATE_LOST_LINE_SEARCH_LEFT;
264                     state_timer = current_time;
265                     robot_drive(LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 1, LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 0); // Obrót w lewo
266                     search_cycle_counter++; // Inkrementuj licznik cykli (pół cyklu)
267                 }
268             } else {
269                 // Kontynuacja obrotu w prawo
270                 robot_drive(LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 0, LOST_LINE_SWEEP_TURN_PWM, 1);
271             }
272             break;
273
274         case STATE_LOST_LINE_FAIL_STOP:
275             robot_stop(); // Zatrzymanie robota
276             break;
277
278         default:
279             // W przypadku nieoczekiwanego stanu inicjujemy poszukiwanie jeszcze raz
280             current_robot_state = STATE_LOST_LINE_INITIATE_SEARCH;
281             break;
282     }
283 }
```

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

Zakręty

```
// Funkcja obsługująca wykrywanie i wykonywanie ostrych zakrętów.
static void handle_sharp_turns(int32_t position, uint16_t *sensor_values) {
    uint8_t active_left_outer = 0;  // Liczba aktywnych czujników na skrajnej lewej stronie
    uint8_t active_right_outer = 0; // Liczba aktywnych czujników na skrajnej prawej stronie
    uint8_t active_center = 0;      // Liczba aktywnych czujników w środkowej części
    uint8_t total_active = 0;       // Całkowita liczba aktywnych czujników

    // Zliczanie aktywnych czujników w poszczególnych strefach
    // Zmienna SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE definiuje, ile skrajnych czujników jest branych pod uwagę
    for(int i = 0; i < ADC_CHANNELS; i++) {
        if (sensor_values[i] > SENSOR_LINE_THRESHOLD) {
            total_active++;
            if (i < SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE) active_left_outer++;
            else if (i >= ADC_CHANNELS - SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE) active_right_outer++;
            else active_center++;
        }
    }

    uint32_t current_time = HAL_GetTick(); // Pobranie czasu

    // Logika wykonywania ostrego zakrętu w lewo
    if (current_robot_state == STATE_PERFORMING_SHARP_LEFT_TURN) {
        // Zakończenie manewru skrętu, jeśli upłynął zdefiniowany czas lub jeśli środkowe czujniki ponownie wykryły linię
        if (current_time - state_timer > SHARP_TURN_DURATION_MS || (active_center > 0 && total_active < ADC_CHANNELS -1 && total_active > 0)) {
            int32_t pos_after_turn = calculate_line_position(sensor_values); // Sprawdzamy pozycję lini po zakręcie
            // Jeśli linia jest znaleziona i widoczna przez środkowe czujniki to ustawiamy odpowiedni stan
            if (pos_after_turn != -1 && active_center > 0) {
                current_robot_state = STATE_FOLLOWING_LINE;
                line_last_error_for_pid = 0; // Reset błędu PID w celu uniknięcia gwałtownej reakcji
                robot_drive(LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM, 1, LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM, 1);
            } else { // Linia nie została znaleziona lub nie jest widoczna centralnie po zakręcie
                current_robot_state = STATE_LOST_LINE_INITIATE_SEARCH; // Rozpocznij poszukiwanie linii
                // handle_lost_line zostanie wywołane w głównej pętli line_follower_process
            }
        } else {
             // Kontynuacja wykonywania ostrego skrętu w lewo
             robot_drive(SHARP_TURN_PWM, 1, (uint16_t)(SHARP_TURN_PWM * 0.3f), 0);
        }
        return; // Zakończenie jeśli wykonujemy zakręt
    }

    // Logika wykonywania ostrego zakrętu w prawo podobnie jak w lewo
    if (current_robot_state == STATE_PERFORMING_SHARP_RIGHT_TURN) {
        if (current_time - state_timer > SHARP_TURN_DURATION_MS || (active_center > 0 && total_active < ADC_CHANNELS-1 && total_active > 0 )) {
            int32_t pos_after_turn = calculate_line_position(sensor_values);
            if (pos_after_turn != -1 && active_center > 0) {
                current_robot_state = STATE_FOLLOWING_LINE;
                line_last_error_for_pid = 0;
                robot_drive(LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM, 1, LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM, 1);
            } else {
                current_robot_state = STATE_LOST_LINE_INITIATE_SEARCH;
```

```
331                 current_robot_state = STATE_FOLLOWING_LINE;
332                 line_last_error_for_pid = 0;
333                 robot_drive(LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM, 1, LINE_FOLLOWER_BASE_SPEED_PWM, 1);
334             } else {
335                 current_robot_state = STATE_LOST_LINE_INITIATE_SEARCH;
336             }
337         } else {
338             robot_drive((uint16_t)(SHARP_TURN_PWM * 0.3f), 0, SHARP_TURN_PWM, 1);
339         }
340         return;
341     }
342 
343     // Logika wykrywania ostrych zakrętów (tylko jeśli robot jest w stanie STATE_FOLLOWING_LINE i widzi linię)
344     if (current_robot_state == STATE_FOLLOWING_LINE && position != -1) {
345         // Warunek dla ostrego zakrętu w lewo:
346         // - Co najmniej SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE skrajnych lewych czujników jest aktywnych
347         // - Maksymalnie 1 aktywny czujnik w centrum (aby odróżnić od prostego odcinka)
348         // - Całkowita liczba aktywnych czujników mieści się w pewnym zakresie
349         // - Obliczona pozycja linii jest zdecydowanie po lewej stronie (mniejsza niż 1/3 LINE_CENTER_POSITION).
350         if (active_left_outer >= SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE &&
351             active_center <= 1 &&
352             total_active >= SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE && total_active <= SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE + 2 &&
353             position < (LINE_CENTER_POSITION / 3) )
354         {
355             current_robot_state = STATE_DETECTED_SHARP_LEFT_TURN;
356         }
357         // Warunek dla ostrego zakrętu w prawo (analogiczny):
358         // - Obliczona pozycja linii jest zdecydowanie po prawej stronie (większa niż centrum + 2/3 odległości od centrum do prawej krawędzi)
359         else if (active_right_outer >= SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE &&
360                  active_center <= 1 &&
361                  total_active >= SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE && total_active <= SHARP_TURN_OUTER_SENSORS_ACTIVE + 2 &&
362                  position > (LINE_CENTER_POSITION + (LINE_CENTER_POSITION / 3) * 2) )
363         {
364              current_robot_state = STATE_DETECTED_SHARP_RIGHT_TURN;
365         }
366     }
367 
368     // Rozpoczęcie wykonywania ostrego zakrętu po jego wykryciu
369     if (current_robot_state == STATE_DETECTED_SHARP_LEFT_TURN) {
370         current_robot_state = STATE_PERFORMING_SHARP_LEFT_TURN; // Zmiana stanu na wykonywanie.
371         state_timer = HAL_GetTick(); // Zapisanie czasu rozpoczęcia manewru
372         robot_drive(SHARP_TURN_PWM, 1, (uint16_t)(SHARP_TURN_PWM * 0.3f), 0);
373         return;
374     }
375 
376     if (current_robot_state == STATE_DETECTED_SHARP_RIGHT_TURN) {
377         current_robot_state = STATE_PERFORMING_SHARP_RIGHT_TURN;
378         state_timer = HAL_GetTick();
379         robot_drive((uint16_t)(SHARP_TURN_PWM * 0.3f), 0, SHARP_TURN_PWM, 1);
380         return;
381     }
382 }
383 
```

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

Dfplayer_mini.h

```c
/*
 * dfplayer_mini.h
 */

#ifndef INC_DFPLAYER_MINI_H_
#define INC_DFPLAYER_MINI_H_

#include "stm32f3xx_hal.h"

// Komendy DFPlayerMini
#define DFPLAYER_CMD_PLAY_TRACK          0x03 // Odtwórz konkretny utwór (folder/plik)
#define DFPLAYER_CMD_SET_VOLUME          0x06 // Ustaw głośność (0-30)
#define DFPLAYER_CMD_SET_EQ              0x07 // Ustaw EQ (0:Normal, 1:Pop, 2:Rock, 3:Jazz, 4:Classic, 5:Base)
#define DFPLAYER_CMD_NEXT_TRACK          0x01 // Następny utwór
#define DFPLAYER_CMD_PREV_TRACK          0x02 // Poprzedni utwór
#define DFPLAYER_CMD_PLAY                0x0D // Odtwarzaj
#define DFPLAYER_CMD_PAUSE               0x0E // Pauza
#define DFPLAYER_CMD_STOP                0x16 // Stop
#define DFPLAYER_CMD_SPECIFY_FOLDER_PLAY 0x0F // Odtwórz plik z konkretnego folderu np. 01/001.mp3
#define DFPLAYER_CMD_QUERY_STATUS        0x42 // Zapytaj o status
#define DFPLAYER_CMD_QUERY_VOLUME        0x43 // Zapytaj o głośność
#define DFPLAYER_CMD_QUERY_FILES_COUNT   0x48 // Zapytaj o liczbę plików
#define DFPLAYER_CMD_SELECT_DEVICE       0x09 // Wybierz urządzenie (0x02 dla karty SD)

void dfplayer_init(UART_HandleTypeDef *huart, GPIO_TypeDef* busy_port, uint16_t busy_pin);
void dfplayer_send_cmd(uint8_t cmd, uint16_t arg);
void dfplayer_play_track(uint16_t track_num); // Odtwarza utwór numer X (w folderze domyślnym lub głównym)
void dfplayer_play_track_in_folder(uint8_t folder_num, uint8_t track_num_in_folder); // Odtwarza folder/plik
void dfplayer_set_volume(uint8_t volume); // 0-30
void dfplayer_next_track(void);
void dfplayer_prev_track(void);
void dfplayer_pause(void);
void dfplayer_resume(void);
void dfplayer_stop(void);
uint8_t dfplayer_is_busy(void);

#endif /* INC_DFPLAYER_MINI_H_ */

```

Oliwier Bogdański, Kacper Szponar

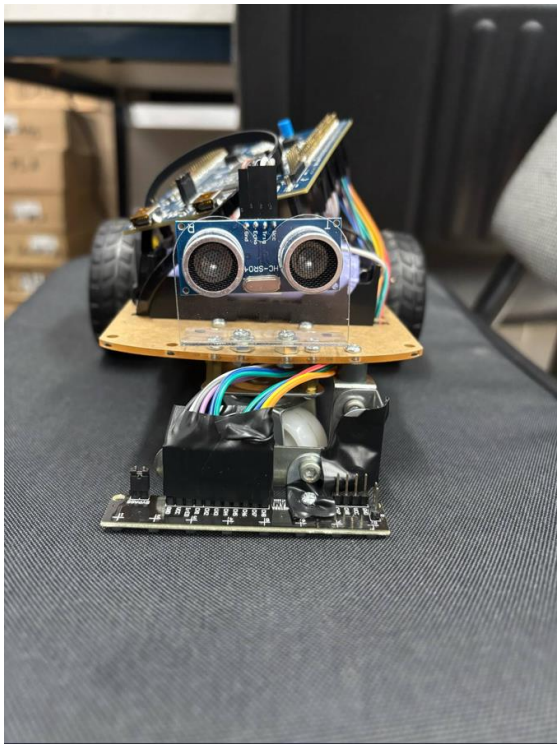
Dfplayer_mini.c

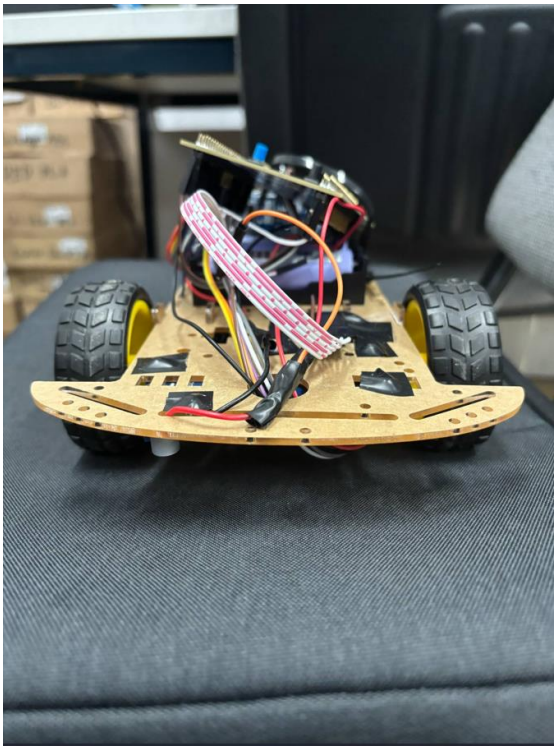
```c
/*
 * dfplayer_mini.c
 */


#include "dfplayer_mini.h"
#include <stdio.h>

static UART_HandleTypeDef *dfp_huart;
static GPIO_TypeDef* dfp_busy_port;
static uint16_t dfp_busy_pin;

// Bufor na komendę
static uint8_t cmd_buffer[10];

// Funkcja do obliczania sumy kontrolnej
static uint16_t calculate_checksum(uint8_t *buffer) {
    uint16_t sum = 0;
    for (int i = 1; i < 7; i++) { // Sumowanie od Version do Data_LSB
        sum += buffer[i];
    }
    return -sum;
}

void dfplayer_init(UART_HandleTypeDef *huart, GPIO_TypeDef* busy_port, uint16_t busy_pin) {
    dfp_huart = huart;
    dfp_busy_port = busy_port;
    dfp_busy_pin = busy_pin;

    HAL_Delay(1000); // Czas na inicjalizację

    // Wybranie karty SD jako źródło
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_SELECT_DEVICE, 0x0002); // 0x02 dla SD
    HAL_Delay(200);

    // Domyślna głośność
    dfplayer_set_volume(10);
    HAL_Delay(200);
}

```

```c
void dfplayer_send_cmd(uint8_t cmd_code, uint16_t arg) {
    cmd_buffer[0] = 0x7E; // Bajt startu
    cmd_buffer[1] = 0xFF; // Wersja
    cmd_buffer[2] = 0x06; // Długość (nie licząc Start, End, Checksum)
    cmd_buffer[3] = cmd_code; // Command
    cmd_buffer[4] = 0x00; // Feedback (0x01 - z feedbackiem, 0x00 - bez)
    cmd_buffer[5] = (uint8_t)(arg >> 8);    // Argument MSB
    cmd_buffer[6] = (uint8_t)(arg & 0xFF); // Argument LSB

    uint16_t checksum = calculate_checksum(cmd_buffer);
    cmd_buffer[7] = (uint8_t)(checksum >> 8);   // Suma kontrolna MSB
    cmd_buffer[8] = (uint8_t)(checksum & 0xFF); // Suma kontrolna LSB
    cmd_buffer[9] = 0xEF; // Bajt końcowy

    HAL_UART_Transmit(dfp_huart, cmd_buffer, 10, HAL_MAX_DELAY);
}

void dfplayer_play_track(uint16_t track_num) {
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_PLAY_TRACK, track_num);
}

void dfplayer_play_track_in_folder(uint8_t folder_num, uint8_t track_num_in_folder) {
    uint16_t arg = ((uint16_t)folder_num << 8) | track_num_in_folder;
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_SPECIFY_FOLDER_PLAY, arg);
}

void dfplayer_set_volume(uint8_t volume) {
    if (volume > 30) volume = 30;
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_SET_VOLUME, volume);
}

void dfplayer_next_track(void) {
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_NEXT_TRACK, 0);
}

void dfplayer_prev_track(void) {
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_PREV_TRACK, 0);
}

void dfplayer_pause(void) {
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_PAUSE, 0);
}

void dfplayer_resume(void) {
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_PLAY, 0);
}

void dfplayer_stop(void) {
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_STOP, 0);
}
```

```c
void dfplayer_pause(void) {
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_PAUSE, 0);
}

void dfplayer_resume(void) {
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_PLAY, 0);
}

void dfplayer_stop(void) {
    dfplayer_send_cmd(DFPLAYER_CMD_STOP, 0);
}

// Funkcja pomocnicza sprawdzająca stan logiczny pinu BUSY
// BUSY pin jest LOW gdy odtwarza, HIGH gdy jest wolny/zatrzymany
uint8_t dfplayer_is_busy(void) {
    if (GPIOC == NULL) return 0;
    return (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOC, GPIO_PIN_13) == GPIO_PIN_RESET); // Zwraca 1 jeśli gra, 0 jeśli wolny
}
```

6. Zdjęcia opracowanego robota





Oliwier Bogdański, Kacper Szponar