

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ESP32: Měření srdečního tepu  
analogový senzor

# Contents

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Použité HW komponenty</b>	<b>2</b>
2.1	WeMos D1 R32 UNO ESP32 . . . . .	2
2.2	Pulse Sensor . . . . .	2
2.3	OLED displej s SSD1306 ovladačem . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Použité SW komponenty</b>	<b>2</b>
3.1	ESP-IDF Framework . . . . .	2
3.2	SSD1306 ovladač . . . . .	3
3.2.1	Nastavení I2C komunikace . . . . .	3
3.2.2	Verze ovladače . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Implementace</b>	<b>3</b>
4.1	Práce s analog-digitálním převodníkem . . . . .	3
4.1.1	Práce s A-D převodníkem . . . . .	3
4.2	Spracování dat z Pulse Sensoru . . . . .	4
4.3	Kalkulace tepové frekvence . . . . .	4
<b>5</b>	<b>Výsledná aplikace</b>	<b>4</b>
5.1	Videoukázka aplikace . . . . .	4
<b>6</b>	<b>Hodnocení</b>	<b>4</b>
6.1	Dokumentace . . . . .	4
6.2	Přístup . . . . .	4
6.3	Funkčnost . . . . .	4
6.4	Kvalita . . . . .	4
6.5	Prezentace . . . . .	4

# 1 Úvod

Tento dokument popisuje návrh a implementaci systému pro měření srdečního tepu. Projekt byl realizován na platformě ESP32 od společnosti Espressif s dvěma jádry o frekvenci 240 MHz, 520 KB integrované SRAM a 4 MB flash paměti. Systém využívá senzor srdečního tepu PulseSensor, jehož analogový výstup je zpracováván mikrokontrolerem a výsledné hodnoty jsou zobrazeny na grafickém OLED displeji typu SSD1306.

## 2 Použité HW komponenty

Tato kapitola obsahuje popis použitých HW komponent, které byly využity při realizaci projektu.

### 2.1 WeMos D1 R32 UNO ESP32

Pro realizaci projektu byla využita vývojová deska Wemos D1 R32, která je postavena na čipu ESP32-WROOM-32 od společnosti Espressif, jež patří mezi velmi dostupné vývojové platformy, typu SoC (System-On-Chip). ESP32 se vyznačuje nízkou spotřebou a integrovanými technologiemi Wi-Fi, Bluetooth a integruje výkonový zesilovač, anténní přepínač, RF balun, nízkošumový přijímací zesilovač, filtry a moduly pro správu napájení. [1, 2]

### 2.2 Pulse Sensor

Pro měření srdečního tepu (tj. rychlosti srdečního tepu) byl použit snímač Pulse Sensor, který využívá technologii fotopletysmografie. Tato technologie je založena na detekci změn objemu krve v tkáni prostřednictvím měření změn intenzity světla procházejícího touto tkání.

Hemoglobin obsažený v krvi pohlcuje světlo vysílané světelnou diodou. Senzor následně detekuje změny v množství světla, které projde tkání, což umožňuje sledovat různé fáze krevního oběhu. [3]

### 2.3 OLED displej s SSD1306 ovladačem

Pro vizualizaci dat byl použit displej založený na technologii OLED (Organic Light Emitting Diode), která zajišťuje vysoký kontrast, nízkou spotřebu energie a široký pozorovací úhel. Konkrétně se jedná o displej s rozlišením 128x64 pixelů o velikosti 0,96 palce, využívající komunikační rozhraní I2C. Displej je ovládán pomocí driveru SSD1306, podporující základní operace pro kreslení grafiky a zobrazování textu. [4]

## 3 Použité SW komponenty

### 3.1 ESP-IDF Framework

Pro implementaci softwarového řešení byl použit framework ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework). Tento oficiální framework od společnosti Espressif postavený na základě FreeRTOS poskytuje nástroje, knihovny a API pro vývoj aplikací na platformě ESP32. ESP-IDF umožňuje efektivní programování vestavěných systémů s podporou mnoha funkcí, jako jsou vícevláknový provoz a síťová komunikace. Framework zároveň podporuje přímou a jednoduchou práci s periferiemi, jako jsou ADC, I2C, SPI a UART.[5, 6]

## 3.2 SSD1306 ovladač

Pro řízení OLED displeje (SSD1306) byl použit open-source ovladač z GitHub projektu *esp-idf-ssd1306* [7], postaven na projektu *ssd1306-esp-idf-i2c* [8]. Tento ovladač je kompatibilní s frameworkem ESP-IDF (verze 5.0 a vyšší) a podporuje nový I2C driver dostupný od verze ESP-IDF 5.2. Ovladač je přizpůsoben pro práci s OLED displeji různých konfigurací, přičemž v tomto projektu je využívána varianta s rozlišením 128x64 pixelů a komunikací přes I2C.

### 3.2.1 Nastavení I2C komunikace

Pro I2C komunikaci byly v projektu použity následující piny ESP32:

- **SCL** (I2C hodinový signál): GPIO22
- **SDA** (I2C datový signál): GPIO23

Tyto hodnoty lze změnit v souboru `sdkconfig` pomocí nástroje `menuconfig`, jež je součástí ESP-IDF frameworku.

### 3.2.2 Verze ovladače

SSD1306 open-source ovladač poskytuje dvě verze (*ssd1306\_i2c\_new* a *ssd1306\_i2c\_legacy*) využívající komunikační rozhraní I2C, v projektu je použit nový I2C driver dostupný od ESP-IDF verze 5.2. Maximální frekvence I2C hodinového signálu je nastavena na 400 kHz, což odpovídá specifikacím v datasheetu SSD1306.

## 4 Implementace

### 4.1 Práce s analog-digitálním převodníkem

Pulse Sensor je analogový senzor, jehož signál musí být převeden na digitální hodnotu, aby mohl být dále zpracováván mikrokontrolerem. K tomu je využíván analog-digitální převodník (ADC) integrovaný v ESP32. Implementace práce s ADC zahrnuje inicializaci převodníku, získávání hodnot z konkrétního kanálu a jeho uvolnění po použití.

#### 4.1.1 Práce s A-D převodníkem

Funkce `ADC_Init` inicializuje ADC pomocí ESP-IDF API. ADC jednotka 1 je zvolena jako výchozí a konfigurace zahrnuje:

- Rozlišení 12 bitů (`ADC_BITWIDTH_12`), tedy rozsah 0–4095.
- Tlumení signálu o 11 dB (`ADC_ATTEN_DB_11`), což umožňuje číst napětí v rozsahu 0–3,3 V.
- Použití kanálu 7 (`ADC_CHANNEL_7`), který je přiřazen k pinu připojenému k Pulse Sensoru.

Inicializace probíhá pomocí funkcí:

- `adc_oneshot_new_unit()` pro vytvoření nové ADC jednotky.
- `adc_oneshot_config_channel()` pro konfiguraci konkrétního ADC kanálu.

Funkce `ADC_GetValue` je určena k získání aktuální hodnoty z ADC kanálu. Používá se metoda `adc_oneshot_read`, vracující syrovou (RAW) 12-bitovou hodnotu odpovídající měřenému napětí.

Celková konfigurace A-D převodníku je v této implementaci nakonfigurován pro použití s kanálem 7 na pinu IO35 (GPIO35).

## 4.2 Spracování dat z Pulse Sensoru

V během běhu aplikace jsou vzorky, získané z A-D převodníku ukládány do pole `!aSampleBuff`, velikost tohoto pole je možné upravit pomocí makra `!SAMPLE_BUFF_SIZE` v základní konfiguraci je toto pole nastaveno na velikost 3, která poskytuje slušnou citlivost, jelikož s růstem `!aSampleBuff` se projevují změny detekovaného cévního systému.

Výsledek klouzavého průměru je následně zpracován Kalmanovým filtrem. Kalmanův filtr byl v řešení použit z důvodu přesnější odhadu reálných hodnot v přítomnosti šumu v datech měřených z ADC (analogově-digitálního převodníku), filtr pomáhá minimalizovat tento šum tím, že kombinuje měření a předchozí odhad k výpočtu "lepší" hodnoty než surové (raw) měření. Dále predikuje chybu měření a predikce dynamicky tak přizpůsob svou citlivost, která vede ke stabilnějším výsledkům, i když se podmínky měření mění. Algoritmus pracuje ve dvou krocích prvním je predikce stavu a chybové hodnoty, následuje výpočet tzv. kalmanova zisku. Pomocí kalmanova zisku se aktualizuje nový odhad stavu systému a na základě odchylky očekávaného a nového stavu se stanoví nový chybový odhad.

## 4.3 Kalkulace tepové frekvence

text.

## 5 Výsledná aplikace

Zde bude popis jak s programem zacházet a pracovat.

### 5.1 Videoukázka aplikace

## 6 Hodnocení

### 6.1 Dokumentace

Hodnocení své dokumentace.

### 6.2 Přístup

Hodnocení přístupu k projektu.

### 6.3 Funkčnost

Funkčnost výsledného programu.

### 6.4 Kvalita

Jak hodnotíš svůj kod?

### 6.5 Prezentace

Video poskytuje demonstraci funkčnosti projektu a poskytuje základní informace o projektu a nastavení aplikace.

## References

- [1] laskakit. Wemos d1 r32 uno esp32. [online], 2024. [cit. 2024-11-16].
- [2] Espressif Systems. Esp32-wroom-32 datasheet. [online], 2024. [cit. 2024-11-16].
- [3] TechnoLab Creation. Heartbeat sensor using arduino (heart rate monitor). [online], 2024. [cit. 2024-11-16].
- [4] Adafruit. Ssd1306 datasheet. [online], 2024. [cit. 2024-11-16].
- [5] Espressif Systems. Espressif iot development framework. [online], 2024. [cit. 2024-11-16].
- [6] Espressif Systems. Esp-idf programming guide. [online], 2024. [cit. 2024-11-16].
- [7] nopnop2002. esp-idf-ssd1306 driver from github. [online], 2024. [cit. 2024-11-16].
- [8] yanbe. ssd1306-esp-idf-i2c driver from github. [online], 2024. [cit. 2024-11-16].