

Vysoké učení technické v Brno  
Fakulta informačních technologií



## Mikroprocesorové a vestavěné systémy Přehrávač zvuků s efekty a vizualizací

Radek Libra (xlibra02)

2024

# Obsah

|                                             |    |
|---------------------------------------------|----|
| 1.Úvod .....                                | 3  |
| 2.Rozbor a návrh řešení .....               | 4  |
| 3.Vlastní řešení .....                      | 6  |
| 4.Postup pro zprovoznění projektu .....     | 10 |
| 5.Závěrečné zhodnocení a autoevaluace ..... | 11 |
| Zdroje .....                                | 13 |

# 1.Úvod

Zadáním tohoto projektu bylo navrhnout a implementovat vestavěné aplikace na libovolně zvolenou platformu (tento projekt na ESP32), která splňuje požadavky na přehrávání zvuků s možností aplikace efektů a vizualizací. Aplikace umožňuje výběr jednoho z alespoň osmi zvuků, na které lze aplikovat minimálně 3 různé efekty. Zvuky jsou přehrávány prostřednictvím poskytnutého reproduktoru a jejich průběh je možné si vizualizovat na připojeném OLED displeji.

Cílem tohoto projektu bylo osvojení si praktického využití možností mikrokontroleru, jako je obsluha periférií (reproduktor, OLED displej, dotykový senzor) a práce s převodem digitálních dat na analogové pro účely generování zvuku. Toto téma jsem si vybral, protože propojuje práci s hardwarem a softwarem a umožňuje mi získat zkušenosti s ovládáním periférií, převodem digitálních dat na analogová a návrhem jednoduchého uživatelského rozhraní. Navíc mi projekt nabídl možnost kreativně navrhnout efekty a vizualizaci.

Pro řešení toho projektu jsem vytvořil aplikaci s menu, které umožňuje intuitivní výběr 8 zvuků a 4 efektů. Zvuk je generován pomocí vestavěného digitálně-analogového převodníku (DAC) a přehráván skrze reproduktor. OLED displej zobrazuje aktuální stav aplikace, včetně vizualizace přehrávaného zvuku a jednotlivá menu. Dotykový kapacitní senzor umožňuje interakci s uživatelem, kdy krátkým stisknutím se přepíná mezi možnostmi a dlouhým se tyto možnosti potvrzují.

Projekt splňuje všechny povinné požadavky, včetně přehrávání osmi různých zvuků s možností aplikace tří efektů (např. echo, přidání šumu, změna rychlosti přehrávání) a vizualizace. Navíc obsahuje nepovinné prvky, jako je uživatelsky přívětivé menu, dotykové ovládání a OLED displej pro interakci. Jeden z rozporů, který se objevil při implementaci, byl spojen s vizualizací a přehráváním zvuku současně. Kvůli omezeným výpočetním kapacitám mikrokontroleru by kombinace obou funkcí vedla ke zpomalení zvuku, a proto byla vizualizace oddělena jako samostatná volba v menu. Toto řešení zajišťuje plynulý chod aplikace a umožňuje uživateli si volit mezi jednotlivými funkcemi dle potřeby.

## 2. Rozbor a návrh řešení

### Přehled dostupných prostředků a metod

Pro realizaci projektu byla zvolena platforma **ESP32**, která splňuje všechny požadavky zadání. ESP32 nabízí:

- **Integrovaný DAC:** Umožňuje přímý převod digitálních dat na analogový signál pro přehrávání zvuků.
- **Podpora OLED displejů:** Zobrazuje vizualizace, stav aplikace a menu.
- **Podpora externích periférií:** Aplikace využívá externí dotykový senzor, který zajišťuje interakci s uživatelem.

Pro vývoj aplikace bylo použito **Arduino IDE**, které poskytuje jednoduché prostředí pro programování mikrokontrolerů a širokou podporu knihoven. K ovládání OLED displeje byla využita knihovna **Adafruit SSD1306**, která usnadňuje práci s grafickými prvky, jako jsou texty, čáry a geometrické tvary.

Další použité prostředky zahrnují jednoduchý reproduktor s impedancí  $8\ \Omega$ , který je zesilován pomocí tranzistoru, a OLED displej pro vizualizaci a zobrazování menu.

### Návrh vlastního řešení

#### 1. Vstupy

- **Externí dotykový senzor:** Slouží k přepínání mezi možnostmi v menu a potvrzení výběru (krátký/dlouhý stisk).

#### 2. Výstupy

- **Reproduktor:** Zajišťuje přehrávání zvuků generovaných DAC.
- **OLED displej:** Slouží k zobrazení menu, vizualizace průběhu přehrávání zvuku a dalších informací.

#### 3. Klíčové komponenty

- **Menu a navigace:**
  - Víceúrovňové menu umožňuje intuitivní výběr zvuků, efektů a vizualizací.
- **Přehrávání zvuků:**
  - Data zvuků jsou uložena ve formě polí (`uint8_t`) a přehrávána pomocí DAC.
- **Efekty:**
  - Přehrání po zpátku, přidání šumu, zrychlení a zpomalení zvuku

- **Vizualizace:**

- Vizualizace je realizována pomocí jednoduchého VU metru na OLED displeji. Vizualizace a přehrávání zvuku jsou samostatné možnosti, aby byla zajištěna plynulost přehrávání.

#### **4. Základní popis chování**

##### **1. Spuštění aplikace:**

- Po inicializaci zobrazí aplikace hlavní menu.

##### **2. Výběr zvuku a efektu:**

- Uživatel vybírá zvuk a efekt pomocí externího dotykového senzoru.

##### **3. Přehrávání zvuku:**

- Vybraný zvuk je přehráván přes DAC a reproduktor, případně s aplikací vybraného efektu.
- Při volbě vizualizace OLED displej zobrazuje stav aplikace a průběh amplitudy zvuku.

## 3. Vlastní řešení

Projekt implementuje vestavěnou aplikaci pro **ESP32**, která umožňuje přehrávání osmi různých zvuků s možností aplikace čtyř efektů a vizualizace zvuku na OLED displeji. Celé řešení je ovládáno externím dotykovým senzorem. Tento projekt zahrnuje několik klíčových částí: přehrávání zvuků, aplikaci efektů, vizualizaci, uživatelské menu a správu periférií

### 1. Struktura aplikace

- **Menu systému:** Víceúrovňové menu umožňuje intuitivní výběr zvuků, efektů a vizualizace. V hlavním menu jsou dostupné volby: přehrání zvuku, vizualizace, výběr efektu a výběr zvuku. Tuto funkcionalitu zajišťuje funkce `displayMenu()`.
- **Přehrávání zvuků:** Zvuková data jsou uložena ve formě statického pole ve speciální knihovně `sounds.h`. Přehrávání zvuku je realizováno funkcí `playSound()`, která posílá data na DAC a umožňuje aplikaci efektů.
- **Efekty:** Efekty jako echo, přidání šumu, zrychlení a zpomalení přehrávání jsou implementovány v rámci funkce `playSound()` pomocí podmíněného větvení dle vybraného efektu.
- **Vizualizace:** Vizualizace je zajištěna funkcí `playSoundWithVisualization()`, která na základě dat zvuku vykresluje jednoduchý VU metr na OLED displeji během přehrávání.
- **Dotykový senzor:** Externí kapacitní dotykový senzor umožňuje interakci s uživatelem pomocí krátkých a dlouhých stisků. Krátký stisk slouží k přepínání možností v menu, dlouhý stisk k potvrzení volby. Ovládání je realizováno funkcí `handleTouch()`.

### 2. Použité komponenty

#### 1. ESP32

ESP32 je univerzální mikrokontrolér s vestavěnou podporou Wi-Fi a Bluetooth. Díky svým bohatým možnostem vstupů a výstupů a vysokému výkonu je ideální pro tento projekt. V projektu zajišťuje následující funkce:

- Přehrávání zvuku pomocí vestavěného DAC převodníku na pinu GPIO 26.
- Interakci s dotykovým senzorem pro ovládání menu (GPIO 25).
- Komunikaci s OLED displejem prostřednictvím protokolu SPI.
- Generování efektů a vizualizací.

## 2. OLED displej

OLED displej komunikuje s ESP32 prostřednictvím protokolu SPI (Serial Peripheral Interface). Použité piny:

- GND – Připojen k zemi (GND) na ESP32.
- VCC – Napájení, připojeno na 3.3V na ESP32.
- D0 (CLK) – SPI hodinový signál (GPIO 18) na ESP32.
- D1 (MOSI) – SPI datový signál (GPIO 23) na ESP32.
- RES (Reset) – Resetovací pin displeje, připojen na GPIO 16 na ESP32.
- DC (Data/Command) – Pin pro přepínání mezi příkazem a daty, připojen na GPIO 17 na ESP32.
- CS (Chip Select) – Výběrový pin čipu, připojen na GPIO 5 na ESP32.

K ovládání displeje byla použita knihovna **Adafruit\_SSD1306**, která poskytuje snadné vykreslování textů a grafiky. Displej zobrazuje jednotlivé nabídky menu, vizualizace a stav aplikace.

## 3. Reproduktor

Zvukový signál je generován pomocí vestavěného DAC převodníku ESP32 na pinu GPIO 26 a přehráván přes reproduktor. Protože ESP32 nemá dostatečný výstupní výkon, byl pro zesílení zvukového signálu použit tranzistor.

Zapojení zesilovacího obvodu:

- DAC výstup (GPIO 26) je připojen na vstup báze tranzistoru přes rezistor 1 k $\Omega$ .
- Kolektor tranzistoru je připojen k jednomu konci reproduktoru.
- Emitor tranzistoru je spojen se zemí.
- Druhý konec reproduktoru je připojen na napájení (3.3V).

Použití tranzistoru umožňuje dostatečné zesílení signálu pro zajištění slyšitelného přehrávání zvuků.

## 4. Dotykový senzor

Dotykový kapacitní senzor je připojen k pinu GPIO 25. Používá se pro interakci s uživatelem.

## 5. Zvuková data (sound.h)

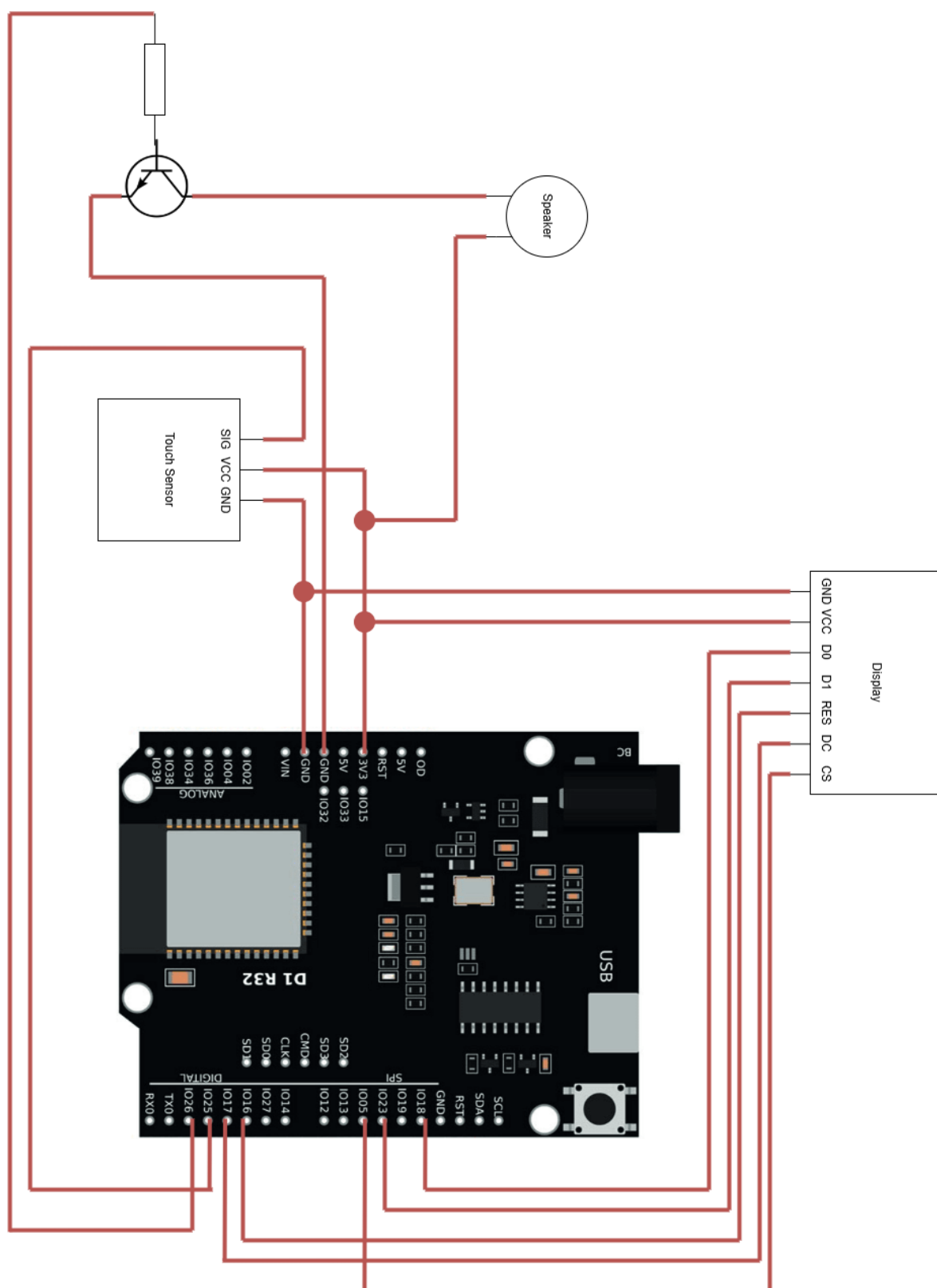
Všechna zvuková data jsou uložena v samostatném souboru sound.h, který obsahuje jednotlivé zvukové stopy ve formátu pole.

### 3. Problémy během vývoje

- **Vizualizace a přehrávání zvuku současně**
  - **Problém:** Při pokusu o současné přehrávání zvuků a aktualizaci OLED displeje došlo ke zpomalení zvuku.
  - **Řešení:** Vizualizace byla oddělena jako samostatná možnost v menu, aby bylo přehrávání zvuku plynulé.
- **Nízká hlasitost zvuku**
  - **Problém:** Výstup z DAC byl příliš slabý.
  - **Řešení:** Použití tranzistoru k zesílení signálu pro reproduktor.
- **Chyby v menu při posouvání**
  - **Problém:** Navigace na konec seznamu zvuků vykazovala nesprávné zobrazování položek.
  - **Řešení:** Úprava posouvání menu pomocí kontrolování offsetu.



## 4. Zapojení



## 4. Postup pro zprovoznění projektu

### 1. Instalace Arduino IDE

Nejprve je nutné stáhnout a nainstalovat Arduino IDE z oficiálních stránek: [arduino.cc](https://www.arduino.cc).

### 2. Přidání podpory desky ESP32

- Otevřete v Arduino IDE nabídku Soubor > Nastavení.
- Do pole Additional Board Manager URLs vložte následující odkaz:  
[https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json)
- V nabídce Nástroje > Vývojová deska > Správce desek vyhledejte esp32 by Espressif Systems a nainstalujte jej.

### 3. Otevření projektu

- Otevřete Arduino IDE.
- Načtěte hlavní .ino soubor projektu.
- Do stejné složky, kde se nachází .ino soubor, vložte také soubor sounds.h, který obsahuje definice zvukových dat.

### 4. Instalace potřebných knihoven

- Přejděte do nabídky Nástroje > Správce knihoven.
- Nainstalujte knihovny:
- Adafruit SSD1306 (pro OLED displej),
- Adafruit GFX (pro grafiku na displeji).

# 5. Závěrečné zhodnocení a autoevaluace

## Závěrečné zhodnocení

Projekt splnil všechny povinné požadavky uvedené v zadání, a dokonce i některé nepovinné. Bylo navrženo a implementováno řešení pro přehrávání zvuků s možností výběru z osmi různých zvukových souborů a aplikace tří efektů: zrychlení, zpomalení a šumu. Pro zpřístupnění uživatelského rozhraní byl využit OLED displej, na kterém je možné vybírat jednotlivé zvuky, efekty, a v případě vizualizace zobrazit průběh zvuku. Dotykový senzor umožňuje intuitivní ovládání aplikace s krátkým stisknutím pro pohyb v menu a dlouhým stisknutím pro potvrzení voleb.

Z praktického hlediska projekt demonstroval schopnosti ESP32 při ovládání periférií, jako je reproduktor, displej a senzor, a zároveň ukázal možnost implementace digitálně-analogového převodu pro generování zvuků. Díky externímu zesílení pomocí tranzistoru byl zvuk reproduktoru dostatečně hlasitý i pro testovací prostředí.

Jedinou odchylkou od ideální implementace je oddělení vizualizace zvuku a jeho přehrávání, protože obě operace současně vedly ke zpomalení zvuku, což by negativně ovlivnilo uživatelský zážitek. Přesto toto řešení umožňuje intuitivní přepínání mezi jednotlivými funkcemi.

## Autoevaluace

### 1. Funkčnost řešení (4/5 bodů)

- Moje řešení splňuje většinu požadavků na funkčnost:
  - Aplikace umožňuje přehrávání osmi zvuků prostřednictvím DAC převodníku.
  - Je možné aplikovat tři efekty na zvuky (zrychlení, zpomalení, šum).
  - Implementována vizualizace zvuku na OLED displeji.
- U vizualizace však dochází ke zpomalení přehrávání zvuku, což ovlivňuje její plnou integraci. Proto strhávám 1 bod.

### 2. Kvalita řešení (1,5/2 bodu)

- Uživatelská přívětivost: **1 bod**
  - Řešení je uživatelsky přívětivé díky intuitivnímu menu na OLED displeji a jednoduchému ovládání dotykovým senzorem.
- Způsob implementace: **0,5 bodu**
  - Implementace je funkční a přehledná, ale v některých částech by bylo vhodné použít efektivnější algoritmy (např. vizualizace zvuku).

### 3. Prezentace (2/2 body)

#### 4. Dokumentace řešení (2/3 body)

- Dokumentace obsahuje všechny požadované kapitoly (úvod, rozbor, vlastní řešení, závěrečné zhodnocení).
- Některé části by však mohly být rozpracovány detailněji. Například by bylo vhodné podrobněji popsat způsoby testování implementace a jejich výsledky. Z tohoto důvodu strhávám 1 bod.

#### 5. Přístup k řešení (1/2 body)

- K řešení jsem přistupoval systematicky, postupoval jsem od návrhu a implementace základní funkcionality k přidávání efektů, vizualizace a uživatelského rozhraní.
- Přesto jsem neimplementoval nepovinné rozšíření týkající se práce s mikrofonom, což by mohlo přidat na celkové hodnotě řešení. Proto strhávám 1 bod.

#### Celkové hodnocení

- **F = 4, Q = 1,5, P = 2, D = 2, E = 1**
- **Celkové hodnocení: 10,5 bodu** (z maxima 14 bodů).

# Zdroje

Instructables. (n.d.). *ESP-32 Based Audio Player*. Dostupné z:  
<https://www.instructables.com/ESP-32-Based-Audio-Player/>

Adafruit. (n.d.). *Adafruit-GFX-Library*. GitHub. Dostupné z:  
<https://github.com/adafruit/Adafruit-GFX-Library>