

Emulátor ARMv6 procesoru pro emulaci prostředí Raspberry Pi

Bc. Jakub Šilhavý

vedoucí práce: Ing. Martin Úbl

Katedra informatiky a výpočetní techniky
Fakulta aplikovaných věd
Západočeská univerzita v Plzni

17. 06. 2024

Cíl práce

- návrh a implementace emulátoru platformy **Raspberry Pi Zero**
 - emulace instrukcí procesoru ARM1176JZF-S (ARMv6)
 - emulace základních periferií µC BCM2835 (GPIO, Mini_UART, BSC, ...)

① vzdělávací účely

- vizualizace principů OS
- embedded vývoj

② testování a ladění SW

③ prototypování HW

- připojení externích periferií
- návrh vlastního systému



Figure 1: Raspberry Pi Zero

- použití **KIV-RTOS** pro ověření správnosti výsledného emulátoru

ARM procesory a jejich aplikace



Figure 2: ARM aplikace

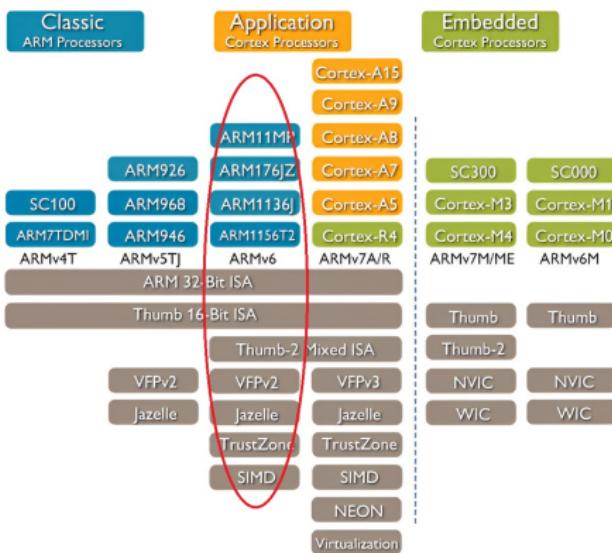


Figure 3: ARM CPU roadmap

- vhodné pro seznámení se s programováním v JSA
 - vizualizace, ladění programu
- floating-point instrukce
- platformová nezávislost

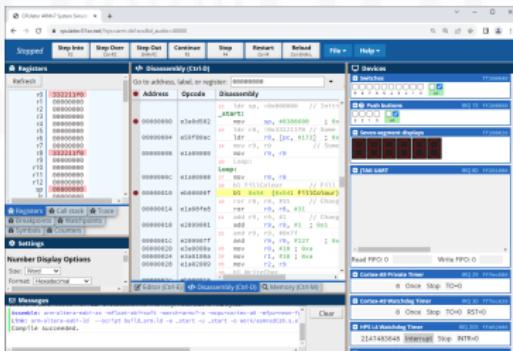


Figure 4: ▶ CPUlator

Omezení

- emulace pouze CPU (ne celého SoC)
- minimální podpora pokročilých systémových operací
 - ⇒ nevhodné pro testování principů OS
- limitovaná podpora připojení externích periferií



Figure 5: ▶ QEMU

- podpora vícero architektur
 - x86, MIPS, ARM, ...
- připojení externího debuggeru (GNU)
- plná podpora systémových operací

Omezení

- emulace pouze CPU (ne celého SoC)
- limitovaná podpora připojení externích periferií
- `_start` symbol očekáván na adrese 0x00010000 (ARM)
 - ⇒ nekompatibilita s *first-stage BL Rpi0* (0x00008000)
- problémy se `systimer`

ARM1176JZF-S

- ARMv6 instrukce
- přepínání režimů CPU
- ALU, MAC a MMU (+ TLB)
- vyjímky a přerušení
- podpora ko-procesorů
 - CP15, CP10
- systémová sběrnice

BCM2835

- RAM
- interrupt controller
- ARM timer
- TRNG
- GPIO
- BSC_1 (I^2C)
- AUX (Mini_UART)
- debug monitor*

-
- cílem bylo emulovat nejčastěji používané periferie
 - dekompoziční návrh architektury
 - ⇒ snadné rozšíření o další periferie

- jednotné rozhraní pro externí periferie
- načtené při inicializaci jako sdílené knihovny
 - možnost načtení vícero instancí (např. led.dll)
- nezávislé na toolchainu jádra emulátoru
 - `extern "C" __declspec(dllexport)`

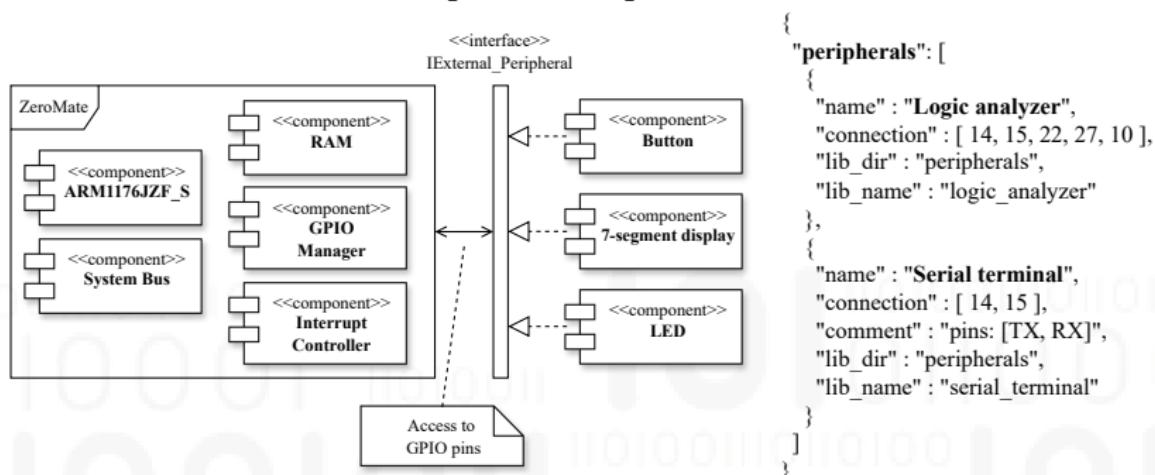
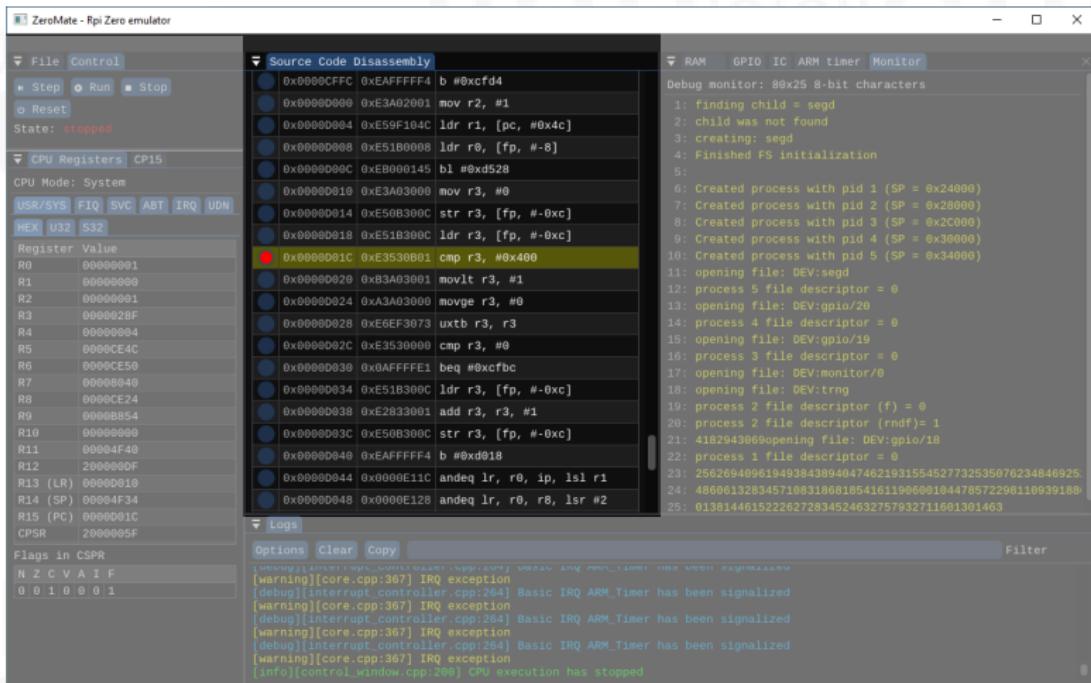
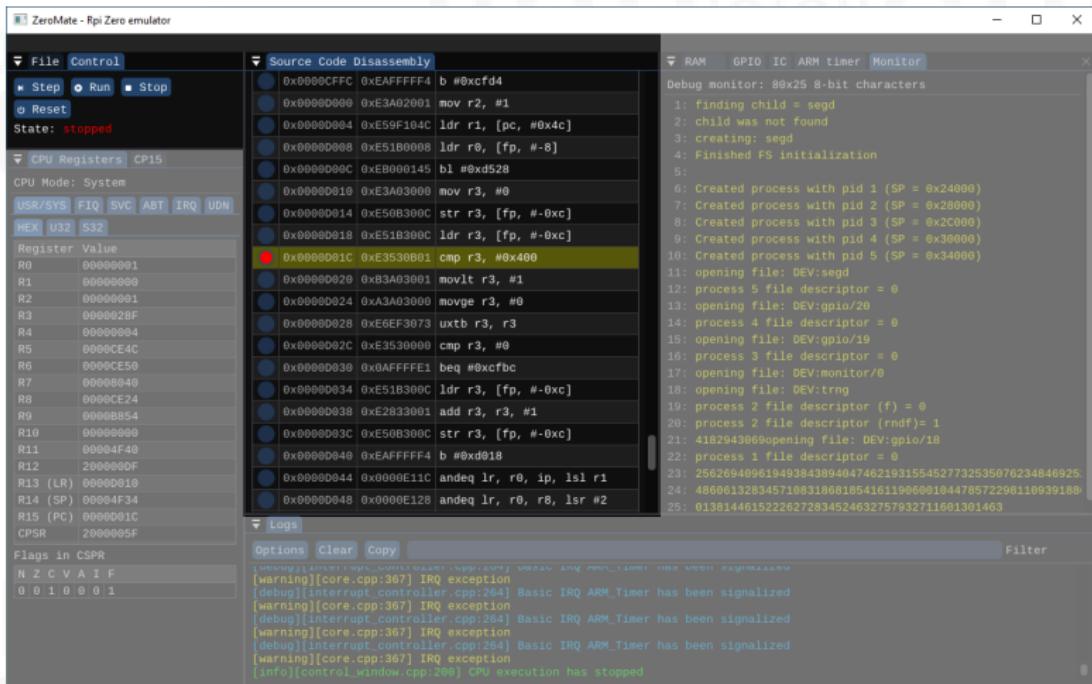


Figure 6: Rozhraní externích periferií

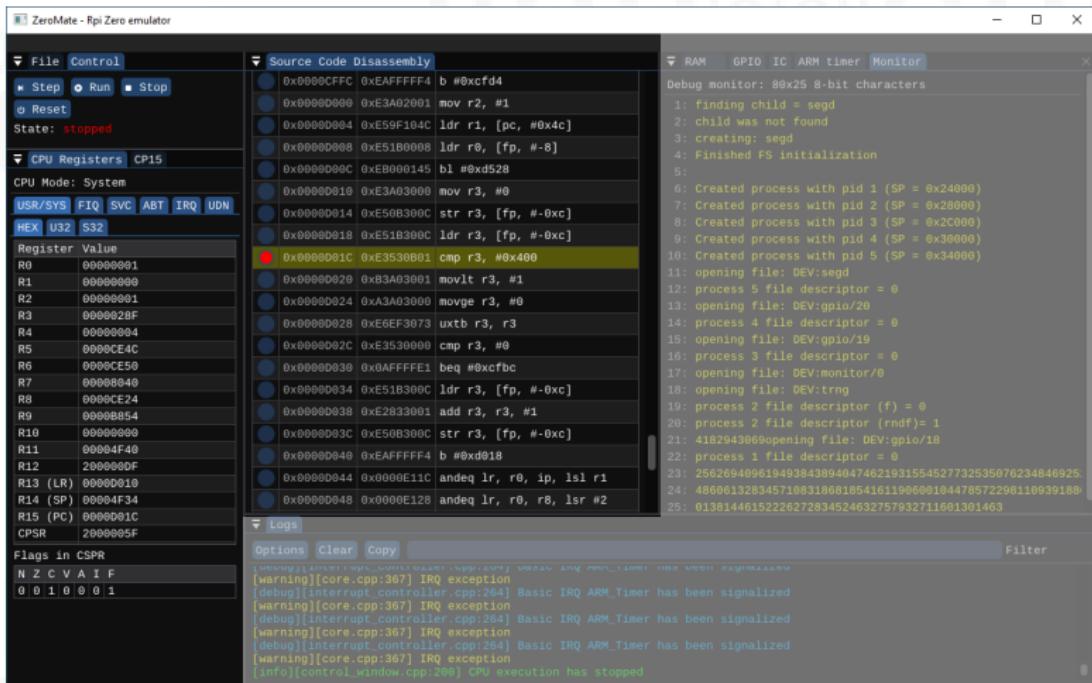
ZeroMate - uživatelské rozhraní



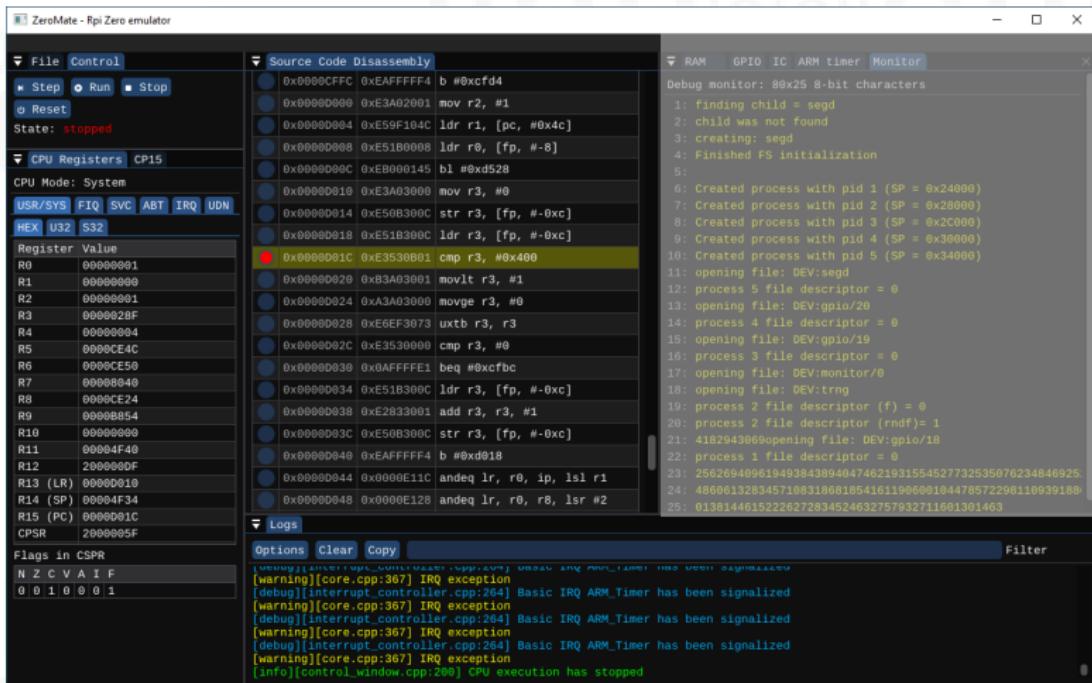
ZeroMate - uživatelské rozhraní



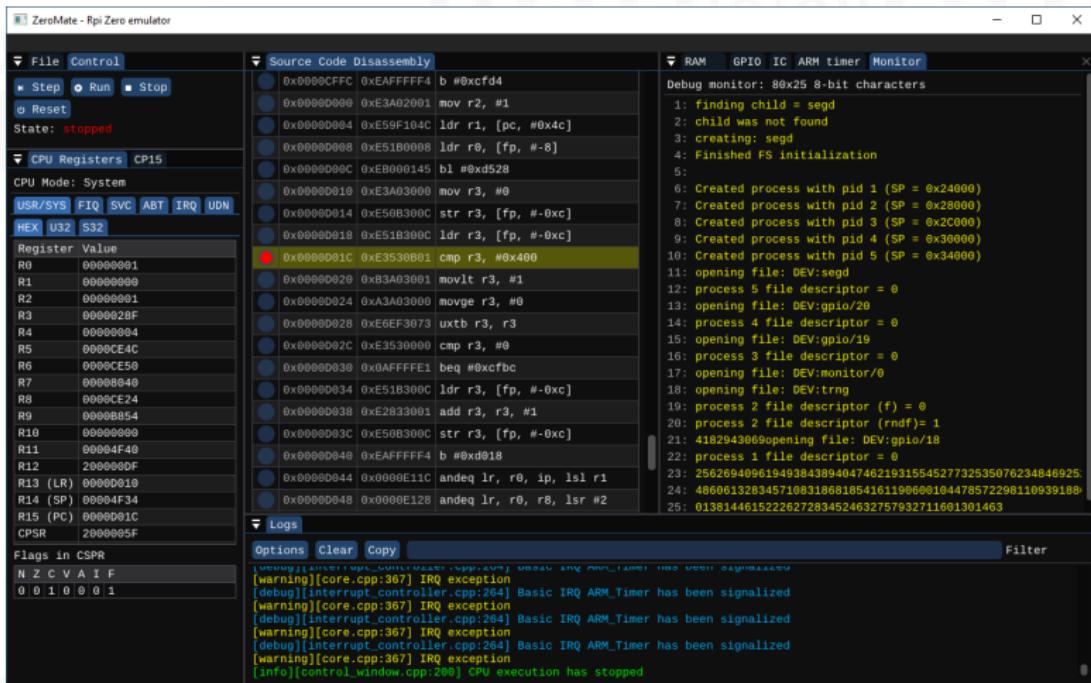
ZeroMate - uživatelské rozhraní



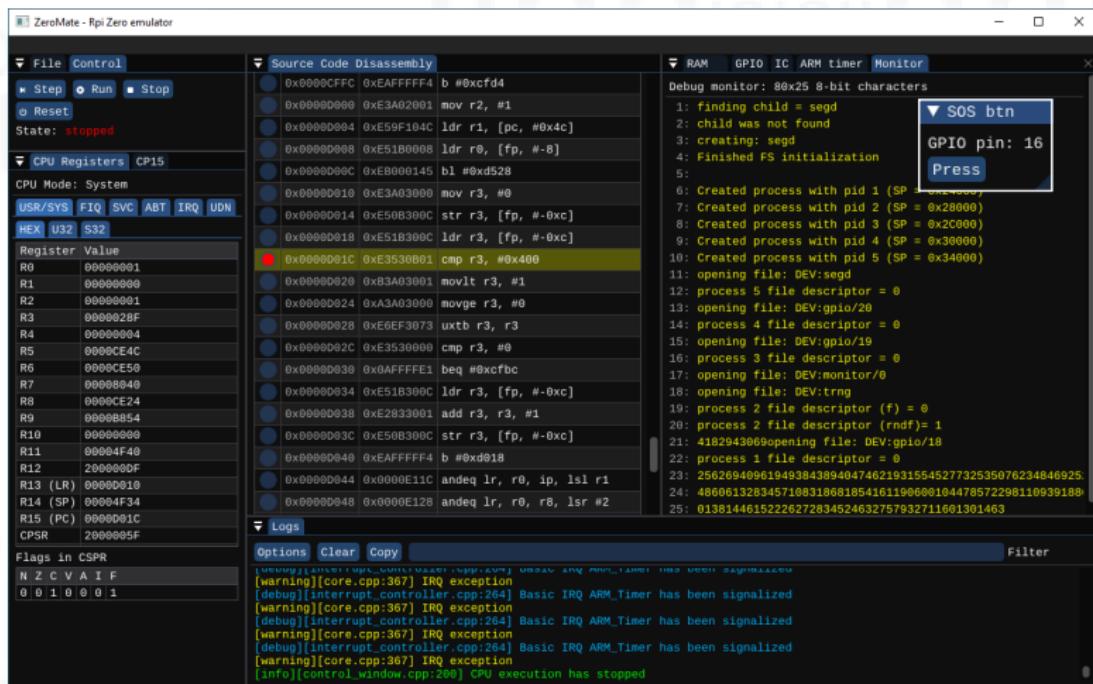
ZeroMate - uživatelské rozhraní



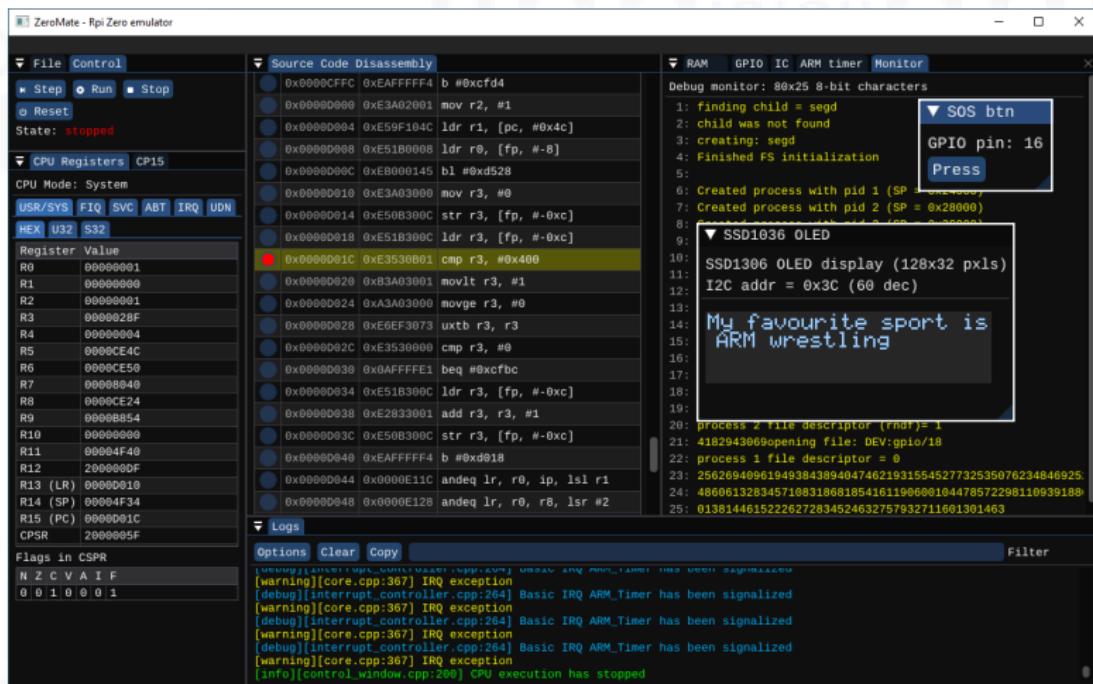
ZeroMate - uživatelské rozhraní



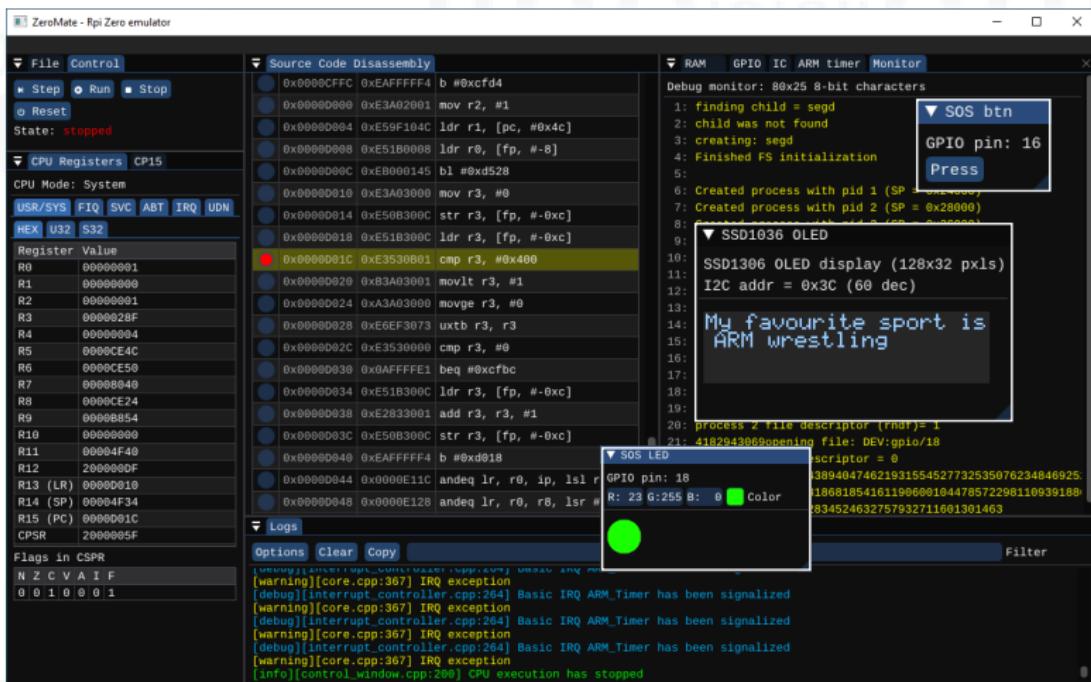
ZeroMate - externí periferie



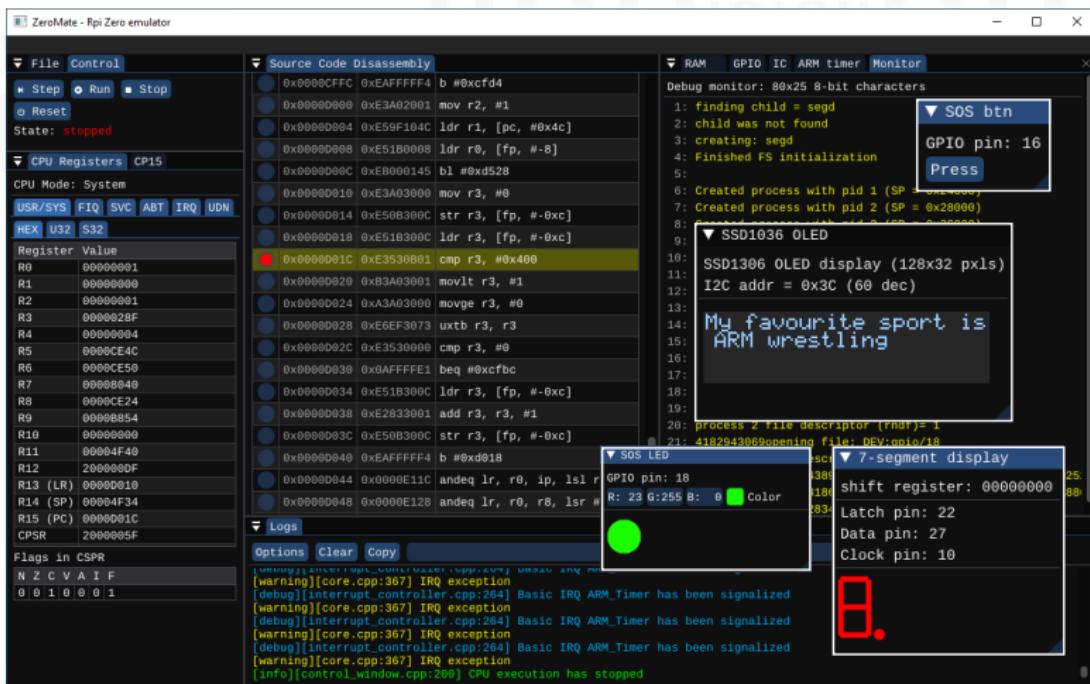
ZeroMate - externí periferie



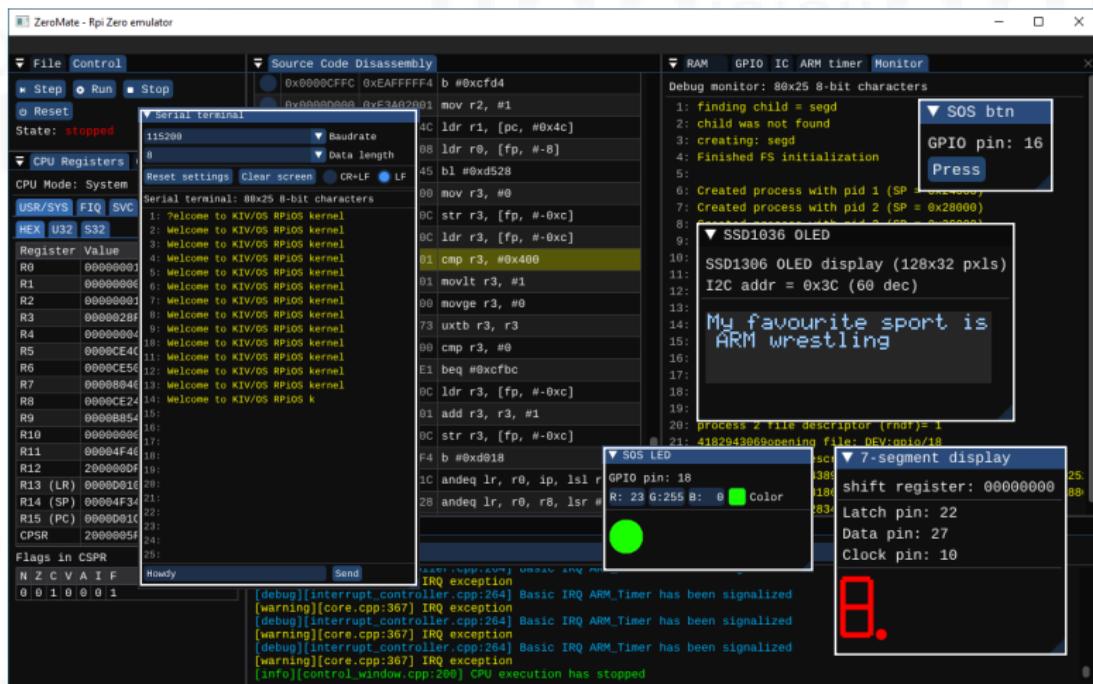
ZeroMate - externí periferie



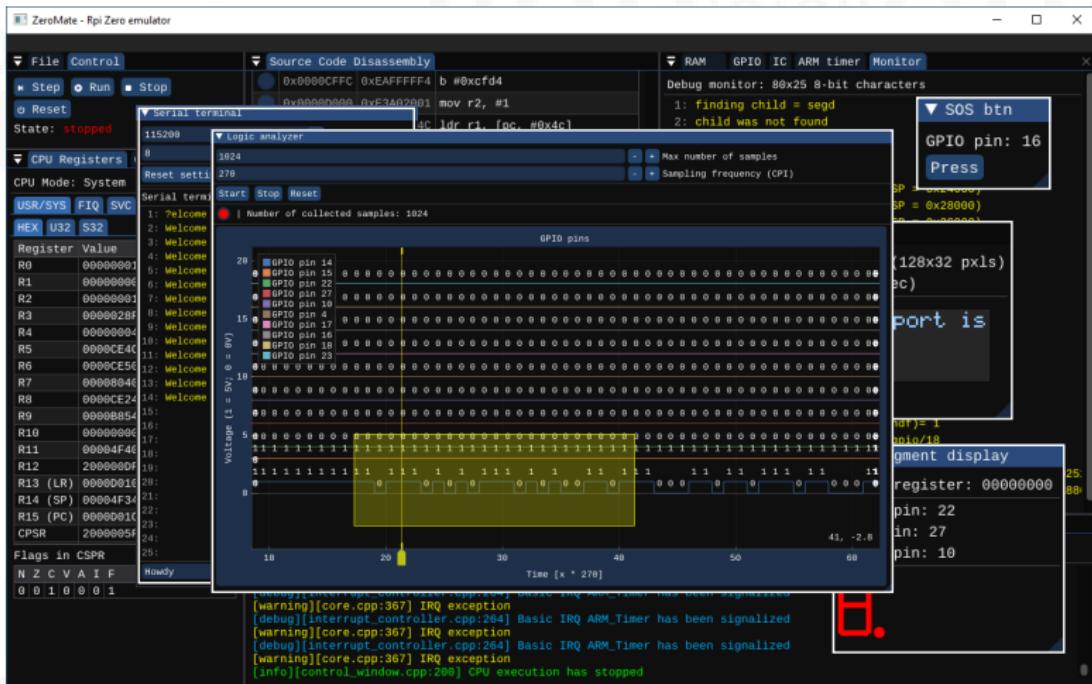
ZeroMate - externí periferie



ZeroMate - externí periferie



ZeroMate - externí periferie



Vývoj a použité technologie



► <https://github.com/silhavyj/ZeroMate>



- knihovny třetích stran automaticky staženy a sestaveny (.gitmodules + CMake)

- [GoogleTest](#) [ImGui](#) [dylib](#) [ELFIO](#) [GLFW](#) [capstone](#)

1) Unit testy

- jádro emulátoru (exekuce ARMv6 instrukcí)
- GoogleTest, CI (regresní testy), **pokrytí $\approx 78\%$**

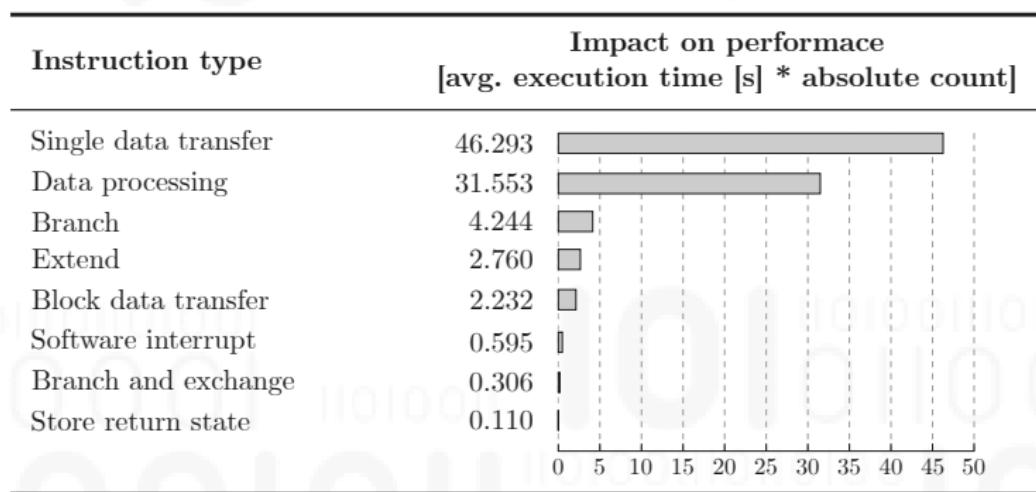
2) Funkční testy

- BCM2835 periferie
- připravená sada příkladů (.ELF)
 - UART, FPU, GPIO, I²C, plánování procesů (EDF, RTL), ARM timer, ...
 - **součástí repozitáře jako examples**

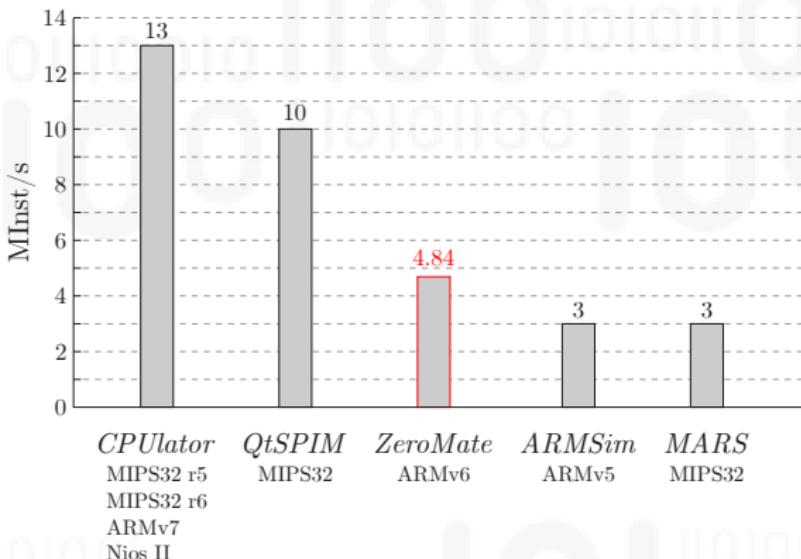
3) Aplikační testy, GUI

- KIV/OS cvičení
- dotazník hodnocení celkové použitelnosti

- výkon emulátoru \approx 4-5 Minst/s ([► KIV-RTOS](#))
- analýza rychlosti emulace jednotlivých instrukcí
 - \Rightarrow potenciální optimalizace



Porovnání výkonnosti s ostatními emulátory



- pouze orientační (<https://cpulator.01xz.net/>, 2023)
- ZeroMate jako jediný podporuje MMU
 - využití s každým přístupem do paměti ($\approx 42\%$ instrukcí)

IPC

- např. pomocí socketů
- spuštění vícero instancí ZeroMate emulátoru
 - ⇒ emulace distribuovaných systémů & algoritmů

CI-only mód

- integrace do CI/CD pipeline
- validace programů v rámci výuky
 - např. definováním očekávané UART komunikace (I/O)

Další dle potřeby uživatelů, hlášených bugů, ...

Návrhy na budoucí vylepšení

Děkuji Vám za pozornost

▶ <https://github.com/silhavyj/ZeroMate>



Otázka

Odpověď

Otázka

Odpověď