VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií

Technická zpráva

Aplikace ovládaná dvojicí rotačních enkodérů

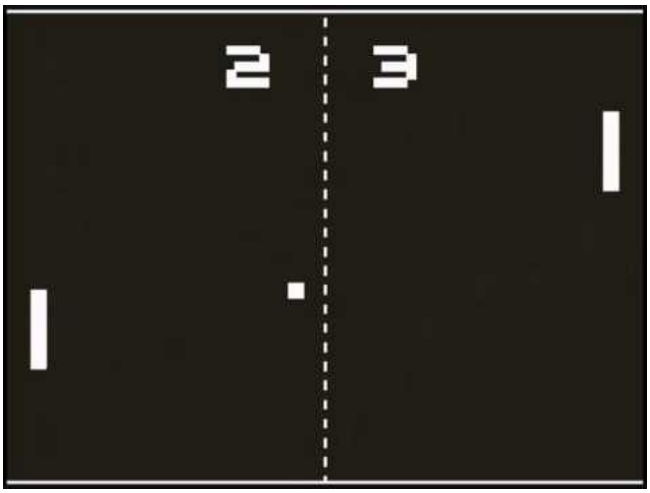
22. ledna 2025 Michálek Kryštof (xmicha94)

Obsah

1 Úvod

Cílem tohoto projektu je za použití dvojice rotačních enkodérů s tlačítky (KX/Y-040) a mikrořadičem ESP32 sestrojit jednoduchou aplikaci. Jako aplikaci jsem si zvolil hru Pong, která se společně například s hrami Space Invaders či Pac-Man řadí mezi naprosté klasiky.

Enkodéry jsou využity k ovládání odrazových plošin jednotlivých hráčů. Pomocí tlačítek lze hru znovu spustit. V tomto projektu jsem využil převážně technologie přerušení, real-time operačního systém FreeRTOS a přístup ke sdílenému zdroji pomocí semaforu.



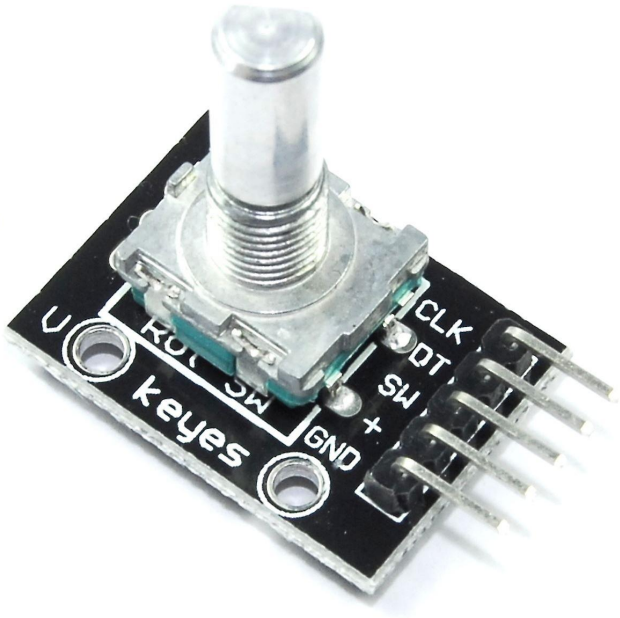
Obrázek 1: Hra pong 1972

2 Popis problému a motivace

V rámci tohoto projektu jsem se setkal s několika obtížemi. Například s příliš častými přerušeními vyvolaných enkodéry, zákmity či problémovým přístupem ke sdílenému zdroji. Překonáním těchto obtíží se stala hra poměrně plynulá a celkově hratelná.

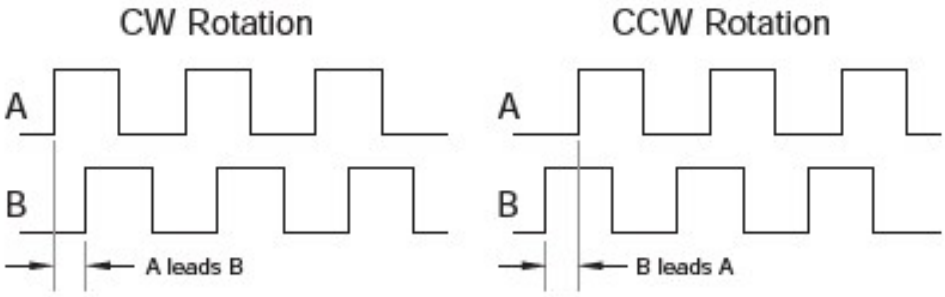
2.1 Technologické možnosti rotačních enkodérů

Rotační enkodér KY-040 je zařízení, které při otáčení osy poskytuje informace o směru rotace a počtu otáček. Obsahuje také tlačítko, které se aktivuje stiskem osy. Na rozdíl od běžných potenciometrů umožňuje nekonečné otáčení v obou směrech. Pro zprovoznění tohoto enkodéru je potřeba propojit 5 pinů: CLK, DT, SW, + a GND. V kombinaci s OLED displejem a ESP32 se z enkodérů stává intuitivní ovládací prvek pro interaktivní aplikace.



Obrázek 2: enkodér KY-040

Mechanicky funguje tak, že enkodér generuje dva obdélníkové signály. Ty jsou fázově posunuté o 90°. Tyto signály odpovídají střídavému spínání kontaktů. Směr otáčení zjistíme podle fázového posunu a aktuální polohu určujeme podle počtu impulzů.[1]



Obrázek 3: Graf fungování enkodéru[2]

2.2 Motivace k výběru tématu

Tento projekt jsem bral jako příležitost získat praktické zkušenosti s integrací hardwarových komponent a softwarovým vývojem na mikrořadičích. Hra Pong je navíc aplikace, která kreativním způsobem využívá všechny komponenty uvedené v zadání. Možnost pracovat po delší době s hardwarem a zprovoznit na něm napodobeninu hry Pong bylo pro mě přínosné a přinejmenším zábavné.

[1] https://embedded.fel.cvut.cz/sites/default/files/kurzy/lpe/rotary_encoder/Rotary_Encoder.pd

[2] https://www.haydonkerkpittman.com/learningzone/whitepapers/incremental-encoder-signals

3 Návrh řešení

3.1 Technologické prostředky

- **ESP32**
- **OLED displej**
- **Rotační enkodéry**
- **FreeRTOS**

3.2 Funkční požadavky

Aplikace by měla běžet plynule. Zobrazování by mělo být přesné a jednotlivé objekty by neměly zanechávat žádné chybné výstupy na displej. Otáčení enkodérů by se mělo plynule a realisticky přenášet do hry. Stisk tlačítka musí být správně zaznamenán a restartovat hru.

3.3 Architektura řešení

Pro správné zaznamenávání a přenášení dat do hry je použito přerušení pro enkodéry a tlačítka. Každá hardwarová komponenta má vlastní proces, aby byla správně zaznamenáván a zpracováván v reálném čase. Míč je také realizován svým vlastním procesem, který zajišťuje plynulou aktualizaci jeho polohy. Enkodéry mají fronty pro předávání událostí, které nastanou při přerušení.

4 Implementace

4.1 Hardwarová konfigurace

Rotační enkodéry a OLED displej jsou připojeny k ESP32 následovně:

- Zapojení enkodérů A a B:

```
// Piny pro enkodery
#define PLAYER_A_CLK GPIO_NUM_26
#define PLAYER_A_DT  GPIO_NUM_25

#define PLAYER_B_CLK GPIO_NUM_17
#define PLAYER_B_DT  GPIO_NUM_16

// Piny pro tlačítka
#define PLAYER_A_BUTTON GPIO_NUM_13
#define PLAYER_B_BUTTON GPIO_NUM_14
```

- Zapojení OLED displeje:

```
// Piny pro OLED display
#define OLED_RST GPIO_NUM_27
#define OLED_CS GPIO_NUM_5
#define OLED_DC GPIO_NUM_4
```

```
#define OLED_CLK GPIO_NUM_18
#define OLED_MOSI GPIO_NUM_23
```

4.2 Zpracování vstupů

Pro zpracování signálů z enkodérů a tlačítek byl použit systém přerušení. V následujícím kusu kódu je nastaveno, jaké změny na pinu aktivují přerušení, na kterých pinech bude nastaveno, definice pinů jako výstupních, použití pull-up rezistorů a přiřazení přerušení pro piny a funkci.

Nastavení přerušení:

```
// Enkoder hráče A
io_conf.intr_type = GPIO_INTR_ANYEDGE;
io_conf.pin_bit_mask = (1ULL << PLAYER_A_CLK) | (1ULL << PLAYER_A_DT);
io_conf.mode = GPIO_MODE_INPUT;
io_conf.pull_up_en = GPIO_PULLUP_ENABLE;
gpio_config(&io_conf);
gpio_install_isr_service(0);
gpio_isr_handler_add(PLAYER_A_CLK, player_a_isr_handler, NULL);
```

Obshluha přerušení:

```
// Funkce pro přerušení enkoderu hráče A
void IRAM_ATTR player_a_isr_handler(void* arg) {
    static int last_a = 0;
    int a = gpio_get_level(PLAYER_A_CLK);
    int b = gpio_get_level(PLAYER_A_DT);

    unsigned long interrupt_time = esp_timer_get_time() / 1000;

    if (a != last_a && a == 1 &&
        (interrupt_time - last_interrupt_time_a > DEBOUNCE_DELAY)) {
        BaseType_t xHigherPriorityTaskWoken = pdFALSE;
        int event = (b == a) ? 1 : -1;
        xQueueSendFromISR(xQueueEncoderA,
                          &event, &xHigherPriorityTaskWoken);
        portYIELD_FROM_ISR(xHigherPriorityTaskWoken);
        last_interrupt_time_a = interrupt_time;
    }
    last_a = a;
}
```

4.3 Úlohy v FreeRTOS

Každý hráč má vlastní úlohu pro zpracování vstupů z enkodérů.

Pomocná úloha pro hráčský proces - zpracování fronty:

```
// Pomocná funkce pro frontu hráče A
void playerA_encoder_task(void *pvParameters) {
    int event;
```

```
    while (1) {
        if (xQueueReceive(xQueueEncoderA, &event, portMAX_DELAY)) {
            pos_y_player_a += event * 2;
            if (pos_y_player_a < 0) pos_y_player_a = 0;
            if (pos_y_player_a > 52) pos_y_player_a = 52;
            update_player_a_flag = true;
        }
    }
}
```

Úloha pro hráčský proces - volání funkce pro aktualizace pozice hráče A:

```
// Funcke pro proces hráč A
void playerA_task(void *pvParameters) {
    while (1) {
        if (update_player_a_flag) {
            update_player_a();
            update_player_a_flag = false;
        }
        delay(pdMS_TO_TICKS(10));
    }
}
```

Míč má také vlastní úlohu pro aktualizaci jeho polohy:

```
// Funkce pro proces míč
void ball_task(void *pvParameters) {
    while (1) {
        // Rychlost míče
        if (time % speed == 0) {
            ball_pos_x += ball_x_dir;
            ball_pos_y += ball_y_dir;
        }

        // Kontrola hranic displaye osy X
        if (ball_pos_x < 3) {
            ball_x_dir = -ball_x_dir;
            ball_pos_x = 3;
            if (!(ball_pos_y >= pos_y_player_b - 2 &&
                ball_pos_y <= pos_y_player_b + 10)) {
                game = 0;
            }
        } else if (ball_pos_x > 122) {
            ball_x_dir = -ball_x_dir;
            ball_pos_x = 122;
            if (!(ball_pos_y >= pos_y_player_a - 2 &&
            ball_pos_y <= pos_y_player_a + 10)) {
                game = 0;
            }
        }

        // Kontrola hranic displaye osy Y
```

```
            if (ball_pos_y < 0) {
                ball_y_dir = -ball_y_dir;
                ball_pos_y = 0;
            } else if (ball_pos_y > 61) {
                ball_y_dir = -ball_y_dir;
                ball_pos_y = 61;
            }

            // Vykreslení míče
            if (xSemaphoreTake(xBallSemaphore, portMAX_DELAY) == pdTRUE) {
                update_ball();
                xSemaphoreGive(xBallSemaphore);
            }
            delay(DELAY);
        }
    }
```

4.4 Zobrazení na OLED displeji

Hráčské plošiny jsou vykreslovány na základě metody přerušení aktivované pohybem enkodérů. Míč je samostatný proces, který žádá o vykreslení periodicky. Kvůli využití jednoho sdíleného zdroje (OLED displeje) je využit semafor. Proces míče má tedy nastavenou vyšší prioritu a měl by mít přednost při přístupu k displeji.

Aktualizace hráčské pozice na displeji:

```
// Vykreslení pozice hráče A
void update_player_a() {
    if (xSemaphoreTake(xBallSemaphore, portMAX_DELAY) == pdTRUE) {
        for (int i = pos_x_player_a; i < 128; i++) {
            for (int j = 0; j < 63; j++) {
                if (j >= pos_y_player_a && j <= pos_y_player_a + 10) {
                    set_pixel(i, j, 1);
                } else {
                    set_pixel(i, j, 0);
                }
            }
        }
        xSemaphoreGive(xBallSemaphore);
    }
}
```

Aktualizace míče na displeji:

```
// Vykreslení pozice míče
void update_ball() {
    for (int i = 0; i < 3; i++) {
        for (int j = 0; j < 3; j++) {
            if(prev_ball_pos_x + i != 63){
                set_pixel(prev_ball_pos_x + i, prev_ball_pos_y + j, 0);
                set_pixel(ball_pos_x + i, ball_pos_y + j, 1);
            }
        }
```

```
        }
        prev_ball_pos_x = ball_pos_x;
        prev_ball_pos_y = ball_pos_y;
    }
```

5 Testování, výsledky a autoevaluace

Testování proběhlo poměrně primitivně. Postupným upravováním jednotlivých zpoždění a opětovným testováním bylo potřeba zajistit plynulost a celkový kladný dojem ze hry.

5.1 Výsledky

Přestože jsem využil všechny mnou známé prostředky k řešení problému s jedním sdíleným zdrojem, nepodařilo se mi najít stoprocentně plynulé a bezproblémové řešení. Myslím si ale, že jsem se k tomu velmi přiblížil a hra celkové působí dobrým dojmem.

5.2 Autoevaluace

Pozitiva řešení:

- Dle mého vlastního názoru je řešení komplexní a je řešeno nadmíru původního zadání.
- Byly splněny povinné i nepovinné body zadání.
- Byly použity další komponenty nedefinované zadáním, konkrétně OLED dispej.
- Také byly použity technologie nedefinované zadáním a to využití více procesů díky FreeRTOS, front a semaforu.

Nedostatky:

- Kompromis požadavků na sdílený zdroj (hráči a míčem) zapříčinil, že při rychlém pohybu hráčů je míč nepatrně zpomalen.
- Dokumentace není tak detailní a komplexní, jak bych si představoval.

Hodnocení v rámci projektu:

- E - 2b
- F - 4,5b
- Q - 2b
- P - 0-2b
- D - 2,5b

Dle tabulky hodnocení uvedené v zadání a pomocí vzorečku na celkový počet bodů bych tento projekt ohodnotil 10 až 12 body v závislosti na prezentaci.

6 Závěr

Pomocí mikrořadiče ESP32, dvojice rotačních enkodérů s tlačítky KX/Y-040 a OLED displeje jsem vytvořil funkční napodobeninu hry Pong. Jak otáčení os enkodérů, tak mačkání tlačítek bylo realizováno pomocí přerušení. Pro lepší synchronizaci a plynulost hry byly využity fronty, semafor a procesy pro jednotlivé úkoly. Hra je hratelná a poměrně plynulá. Tento projekt splňuje všechny povinné i volitelné body zadání.