

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor: 18. Informatika

Software pro BlackBox

Tomáš Rohlínek

Brno 2022

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

SOFTWARE PRO BLACKBOX

SOFTWARE FOR BLACKBOX

AUTOR Tomáš Rohlínek
ŠKOLA Střední průmyslová škola a Vyšší
odborná škola Brno, Sokolská,
příspěvková organizace
KRAJ Jihomoravský
ŠKOLITEL Vojtěch Boček
OBOR 18. Informatika

Brno 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma *Software pro BlackBox* jsem vypracoval samostatně pod vedením Vojtěcha Bočka a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že tištěná i elektronická verze práce SOČ jsou shodné a nemám závažný důvod proti zpřístupnění této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Drásově dne: _____

Tomáš Rohlínek

Poděkování

Děkuji svému školiteli Vojtěchu Bočkovi za obětavou pomoc, podnětné připomínky a trpělivost, kterou mi během práce poskytoval.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.



Anotace

Cílem této práce je vytvoření SDK pro práci a výuku na IoT stavebnici BlackBox postavené na platformě ESP32. Toto SDK se skládá ze tří částí:

Hardwarové knihovny, které umožňují práci s jednotlivými periferiemi BlackBoxu a umožňují plně využít všech jeho možností.

Výukové rozhraní slouží k podpoře výuky programování, speciálně na poli hobby robotiky.

Herní rozhraní pro snadnou uživatelskou práci s BlackBoxem – umožňuje jednoduše naprogramovat do BlackBoxu vlastní hry a nebo nahrát do něj hry už hotové.

Také byla sepsána dokumentace k tomuto software v českém a anglickém jazyce.

Klíčová slova

BlackBox; IoT; API; SDK; C/C++; ESP32; zážitková akce; hry; mikrokontrolér

Annotation

The aim of this thesis is to create an SDK for development and education on IoT kit BlackBox built on the ESP32 platform. This SDK consists of three parts:

Hardware libraries which allow you to work with individual BlackBox peripherals, as well as allow you to take full advantage of its capabilities.

The educational API is used to enhance programming teaching, especially in the field of hobby robotics.

Game API which gives user easy approach to BlackBox – allows you to easily program your own games into the BlackBox or load pre-made games.

Documentation for this software was also written in Czech and English.

Keywords

BlackBox; IoT; API; SDK; C/C++; ESP32; adventure; games; microcontroller

Obsah

1	Úvod	9
2	Krátké shrnutí možností hardware	10
2.1	Hlavní řídicí modul	11
2.1.1	ESP32	11
2.1.2	Real Time Clock	11
2.2	Uživatelské rozhraní	12
2.2.1	Touchpad	12
2.2.2	LED kruh	12
2.3	Zámek	12
2.3.1	Motor a Encodér	12
2.3.2	IR komunikace	12
2.3.3	Zámek sériové linky	13
2.4	Senzory prostředí	13
2.4.1	Senzory polohy	13
2.4.2	Barometr	13
3	Technologie	14
3.1	Framework	14
3.1.1	ESP-IDF	14
3.1.2	Arduino	15
3.1.3	Další frameworky	16
3.1.4	Výběr	16
3.2	Použité knihovny	17
4	Architektura	18

5	Výukové API	20
5.1	Příklady použití	20
5.1.1	Běžná výuka	21
5.1.2	Výuka hrou	21
6	Herní API	22
6.1	Stránky	22
6.1.1	Page	22
6.1.2	App	23
6.2	Zamykání	23
6.2.1	Latch	23
6.2.2	Lock	23
6.3	Příklady použití	25
6.3.1	Synchronní hry	28
6.3.2	Asynchronní hry	28
7	Hardwarové knihovny	29
7.1	Hlavní řídicí modul	30
7.1.1	RTC	30
7.2	Uživatelské rozhraní	30
7.2.1	Touchpad	31
7.2.2	LED kruh	32
7.3	Zámek	32
7.3.1	Lock	32
7.3.2	IR komunikace	32
7.4	Senzory prostředí	33
7.4.1	Senzory polohy	33
7.5	Příklady použití	33
8	Dokumentace	34
9	Závěr	35
	Přílohy	36
	Literatura	37

Seznam obrázků	38
Seznam ukázek kódu	39
Zpráva o využití BlackBoxu	40

Kapitola 1

Úvod

V létě roku 2019 jsem vedl robotický tábor a potřeboval jsem narychlo natchystat výrobek, který bychom mohli s účastníky programovat. Vznikl tak první elektronický trezor později pojmenovaný BlackBox.

Od té doby prošel hardware několika verzemi, od kupky Arduino modulů po komplexní desku. Jakkoliv dobrý hardware však v dnešní době není nic bez softwaru, který by ho oživoval a řídil, proto vznikla tato práce. Jejím cílem je napsat SDK pro desku BlackBox a to pro tři skupiny lidí: organizátory outdoorových her, učitele programování a běžné robotiky.

- **Organizátoři** outdoorových her a zážitkových akcí ocení, když mohou vzít hotové zařízení (BlackBox), jen do něj nahrát program stažený z webu a mít technickou část přípravy své akce hotovou.
- **Učitelé programování** budou rádi, že mohou své studenty zaujmout zařízením, které se studenty může přímo interagovat. BlackBox se také speciálně hodí pro výuku programování mikrokontrolérů a hardwarových periférií.
- **Robotici**, hlavně ti pokročilejší, uvítají možnost BlackBox libovolně nakonfigurovat a jednotlivé periferie BlackBoxu (LED kruh, tlaková plocha, akcelerometr, gyroskop, wi-fi, bluetooth a další) využít, jak zrovna potřebují.

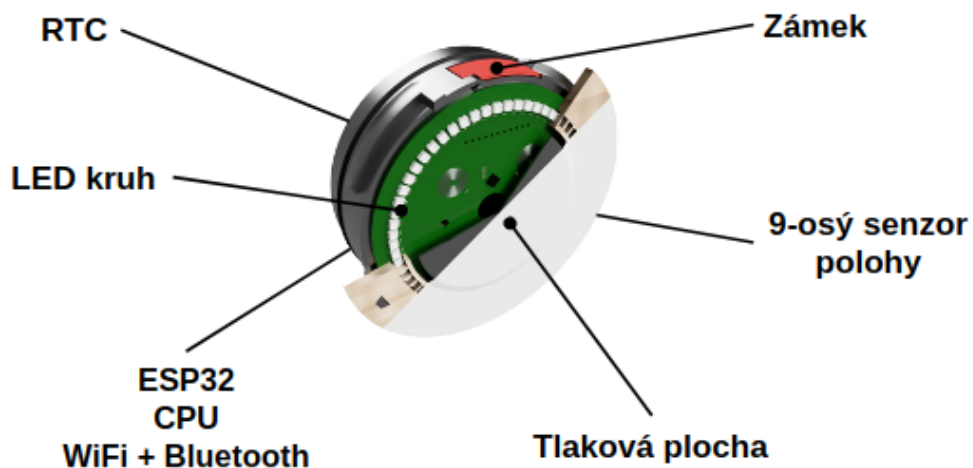
Nutno podotknout, že se práce nezabývá vytvořením hardwarové části, to je náplní samostatné práce [1].

Kapitola 2

Krátké shrnutí možností hardware

Můj software je psaný pro stavebnici BlackBox, která byla vytvořena Tomášem Vavrincem. Aktuální verze hardware (v1.1) obsahuje následující funkční bloky:

- Hlavní řídicí modul
 - ESP32 včetně Wi-fi a bluetooth
 - Real Time Clock
- Uživatelské rozhraní
 - Touchpad
 - LED kruh
- Zámek
 - Motor
 - Enkodér
 - IR přijímač
 - IR vysílač
 - Zámek sériové linky
- Senzory prostředí
 - Magnetometr
 - Akcelerometr
 - Gyroskop
 - Barometr



Obrázek 2.1: Hardware

2.1 Hlavní řídicí modul

Hlavní řídicí modul slouží jako výpočetní a řídicí centrum celé desky.

2.1.1 ESP32

BlackBox používá ESP32-WROVER jako svůj procesor. Základní informace:

- Dual core
- 240 MHz
- 4MB flash
- 8MB PSRAM
- WiFi, Bluetooth

2.1.2 Real Time Clock

Kvůli snížení spotřeby energie bylo implementováno několik mechanismů. Jeden z těchto mechanismů je i vypínání všech nepotřebných periférií a uspání ESP32. V takovém případě ale není možné uchovat aktuální čas, proto byl

na BlackBox přidán modul RTC, ten je napájen přímo z baterií a není tak závislý na zbytku BlackBoxu.

2.2 Uživatelské rozhraní

2.2.1 Touchpad

Touchpad je postavený na čipu LDC1614 a jeho alternativách.¹ Pro měření stisku se využívá deformace kovové destičky a indukčního měření její vzdálenosti od 4 plošných cívek.

2.2.2 LED kruh

Kruh sestává z 60 adresovatelných RGB LED diod typu WS2812B.² Číslo 60 bylo vybráno záměrně, kvůli hodinám, zároveň se tímto číslem bez problémů dělí kružnice kompasu.

2.3 Zámek

2.3.1 Motor a Encodér

Zamykací mechanismus je sestaven tak, aby šel BlackBox zasunout do zad trezoru i v zamčeném stavu, obejde se tedy bez kontroly toho, jestli je při zamykání zasunutý nebo ne.

2.3.2 IR komunikace

IR komunikace je zde obsažená hlavně kvůli synchronizaci se zády trezoru, přesněji k identifikaci, do kterých zad je BlackBox zasunut. Tato identifikace by se potenciálně dala dělat pomocí senzorů prostředí, ale za účelem jednoduchosti a redundance byla zvolena tato možnost.

¹Použitelné jsou pouze alternativy se 4 kanály t.j. ty, co mají tvar názvu LDCXX14.

²Z vlastní zkušenosti mohu prohlásit, že s RGB LED děti rádi pracují a ani po týdnu práce se jich nenabaží.

2.3.3 Zámek sériové linky

Tento mechanismus byl navrhnout za účelem ochrany BlackBox proti neautorizovanému přepsání softwaru. Jedná se o přepínač na desce BlackBoxu, který odpojuje napájení USB převodníku a je v zamčeném stavu nedostupný.

2.4 Senzory prostředí

2.4.1 Senzory polohy

Tato sada senzorů (akcelerometr, gyroskop, magnetometr) je na různých verzích desky realizována různým způsobem, na verzi 1.0 je realizována jedním čipem obsahujícím všechny tři senzory, ale na verzi 1.1 je realizována pomocí dvou čipů (akcelerometr + gyroskop a magnetometr).³ Knihovna však musí podporovat všechny možnosti.

Tyto senzory zjišťují natočení BlackBoxu v prostoru v 9ti osách. Do budoucna se chystá rozšíření o GPS senzor.

2.4.2 Barometr

Barometr zde slouží hlavně k hrubému měření výšky, na které se BlackBox nachází. Případně se také dá použít jako primitivní způsob předpovědi počasí.

³Verze 1.1 je zpětně kompatibilní, takže se na ni dá osadit i čip z verze 1.0, toho je však v době psaní této práce nedostatek a proto byl nahrazen na verzi 1.1 dvěma běžnějšími čipy.

Kapitola 3

Technologie

3.1 Framework

Pro vývoj na microcontroller ESP32 se používají hlavně dva frameworky a to ESP-IDF [2] a Arduino [3], oba jsou pro jazyk C/C++.

3.1.1 ESP-IDF

ESP-IDF, nebo také Espressif IoT Development Framework, je oficiální framework od výrobce ESP32, firmy Espressif Systems [4]. Je psaný pro vývoj v jazyce C a C++, samotný je psaný v jazyce C. Obsahuje několik úrovní abstrakce od přímé práce s registry pro uživatelsky přívětivé API.

```

1 void app_main(){
2     gpio_config_t io_conf;
3
4     //disable interrupt
5     io_conf.intr_type = GPIO_INTR_DISABLE;
6
7     //set as output mode
8     io_conf.mode = GPIO_MODE_OUTPUT;
9
10    //bit mask of the pins that you want to set,e.g.GPIO18/19
11    io_conf.pin_bit_mask = (1ULL<<GPIO_NUM_18);
12
13    //disable pull-down mode
14    io_conf.pull_down_en = 0;
15
16    //disable pull-up mode
17    io_conf.pull_up_en = 0;
18
19    //configure GPIO with the given settings
20    gpio_config(&io_conf);
21
22    for (int i = 0; true; i++)
23    {
24        printf("state: %d\n", i%2);
25        gpio_set_level(GPIO_NUM_18, i % 2);
26        vTaskDelay(1000 / portTICK_RATE_MS);
27    }
28 }

```

Ukázka kódu 3.1: ESP-IDF

3.1.2 Arduino

Arduino je pro začátečníka jednodušší na pochopení a na práci než ESP-IDF, protože funguje jako úroveň abstrakce nad ESP-IDF. Jeho obrovskou předností a zároveň jeho největší limitací je jeho kompatibilita pro množství naprosto rozličných platform a architektur sahající až po 8-bitové mikročipy ATTiny. Bohužel stabilní vývojová větev Arduina pro ESP32 používá zastaralou verzi ESP-IDF, která má některá omezení, kupříkladu nepodporuje C++ 17.

```

1 void setup() {
2     Serial.begin(115200)
3     pinMode(18, OUTPUT);
4 }
5
6 int i = 0;
7
8 void loop() {
9     Serial.print("state: ");
10    Serial.println(i % 2);
11    digitalWrite(18, i % 2);
12    delay(1000);
13    i++;
14 }

```

Ukázka kódu 3.2: Arduino

3.1.3 Další frameworky

Samozřejmě existují i další frameworky, kupříkladu MicroPython [5] a CircuitPython [6], které přivádí jazyk Python na mikrokotrolery, nebo Espruino [7], které dělá to samé pro JavaScript.

3.1.4 Výběr

Pro BlackBox jsem se rozhodl použít přímo ESP-IDF. K tomuto rozhodnutí mě vedl fakt, že moje knihovna bude sloužit jako úroveň abstrakce, tudíž Arduino mezivrstva je v podstatě zbytečná, zároveň tím získám lepší kontrolu nad ESP32. Protiargumentem by mohlo být množství knihoven dostupných pro Arduino. Bohužel tyto knihovny nedodržují žádný společný rámec a většina z nich není uzpůsobena pro práci na více jádrových procesorech, jakým ESP32 je.¹ Zároveň toto umožní zpětnou kompatibilitu s oběma frameworky.

¹Nejsou thread safe.

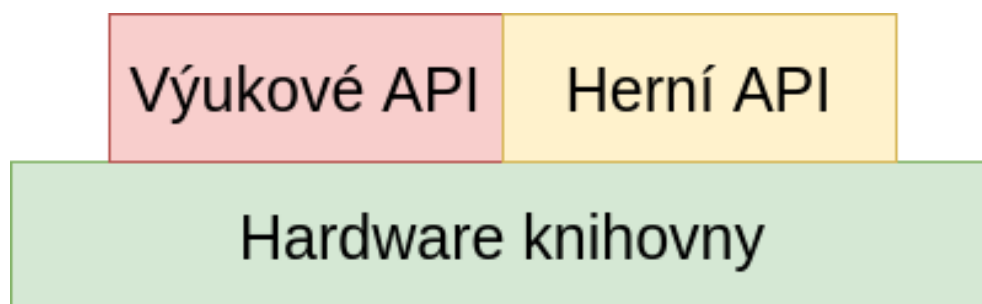
3.2 Použité knihovny

- SmartLeds [8] – Knihovna pro interakci s chytrými led WS2812 pomocí hardwarové periferie RMT na ESP32.
- Eventpp – Knihovna pro jednoduchou práci s událostmi.

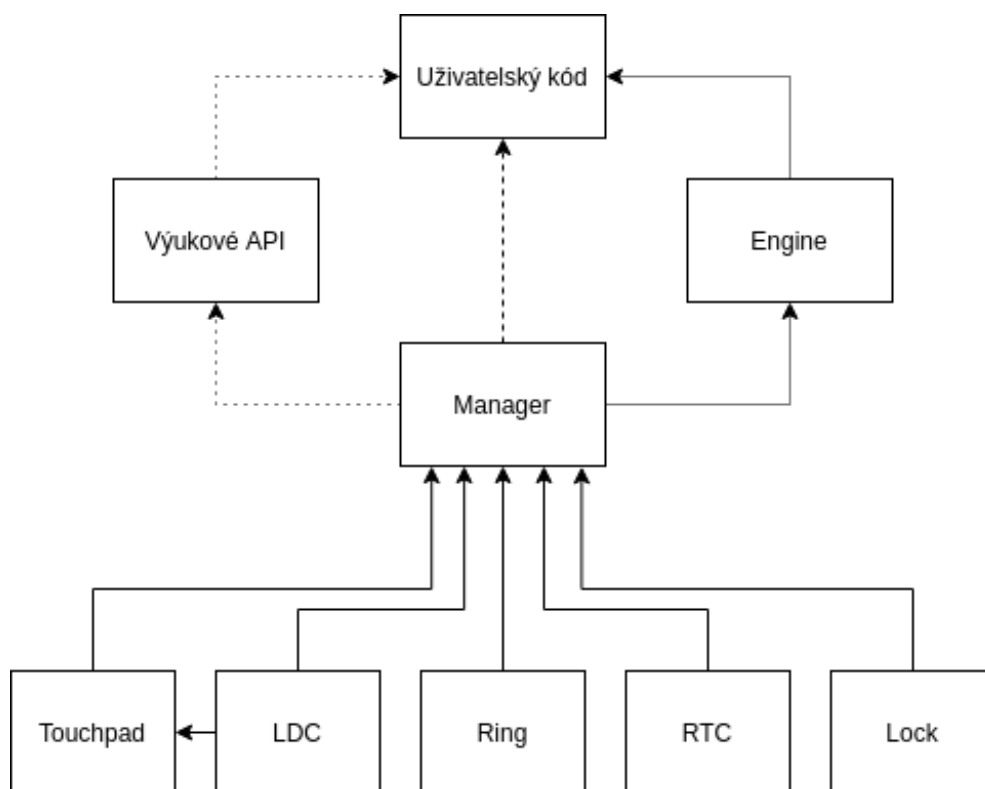
Kapitola 4

Architektura

BlackBox byl zamýšlen pro tři skupiny uživatelů, přičemž každá má jiné potřeby. Projekt je rozdělený na tři části, které korespondují se třemi způsoby využití BlackBoxu:



Obrázek 4.1: Tři přístupy



Obrázek 4.2: Graf závislostí

Kapitola 5

Výukové API

Výukové API je navrženo pro výuku programování od naprostých začátků, proto musí být co nejjednodušší na pochopení a použití. Zároveň by však neměla omezovat využití všech možností knihovny. Z toho důvodů používá výukové API pouze jednoduché funkce. Protože i použití namespace by mohlo pro začátečníky být složité, nejsou tyto funkce součástí žádného namespace, místo toho pro rozlišení používají prefix „bb“ (BlackBox).

```
1 bbConfig cfg;
2 cfg.ledMax = 100;
3 bbSetup(cfg);
4
5 bbCircle(Rgb(255,255,255));
6
7 bbLock();
8 sleep(1000);
9 if(bbRotationUp())
10     bbUnlock();
11
12 bbShowDirection(North);
```

Ukázka kódu 5.1: Výukové API

5.1 Příklady použití

Pro výuku programování se BlackBox dá použít dvěma způsoby.

5.1.1 Běžná výuka

Běžnou výukou je myšlena výuka programování tak, jak běžně probíhá na většině škol, pouze místo programování nezajímavé konzolové aplikace budou žáci programovat interaktivní hračku, která na ně může blikat a jinak s nimi interagovat ¹, což může výrazně vylepšit motivaci k učení se programovat.

5.1.2 Výuka hrou

Výuka hrou představuje mix mezi herním a výukovým API, respektive využívá výukovou (výrazně zjednodušenou) verzi herního API.

Právě pro výuku programování jsem vymyslel hru pro Robotický tábor. Idea této hry spočívá ve vytvoření sady úloh, v nichž se BlackBox se základním softwarem chová jako pomůcka pro jejich řešení.

Jednou z úloh může být odemykání virtuálních zámků, kdy BlackBox bude fungovat jako „šperhák“. Na stanovišti budou záda pro BlackBox, do kterých účastník vloží svůj BlackBox, na LED kruhu se budou jeden po druhém objevovat body, kterými musí účastník plynule projet prstem po touchpadu. Po projetí určitého počtu bodů bude úloha hotova.

Na začátku tábora by si účastníci zahráli tuto hru. Časová náročnost jednotlivých stanovišť je úmyslně vypočítána tak, aby nebylo možné v časovém limitu splnit všechna stanoviště, ale aby bylo možné si je všechny vyzkoušet.

Zbytek tábora pak účastníci budou vylepšovat své pomůcky, použijeme-li opět příklad „šperháku“, pak ono vylepšení bude sestávat z automatického řízení „šperháku“, namísto fyzického posouvání prstem po touchpadu. Tato pomůcka výrazně urychlí dokončení stanoviště. Účastníci mají po celou dobu přístup k jednotlivým stanovištím pro účely testování.

Hra se bude hrát na začátku a na konci tábora, což dává účastníkům spoustu času na vylepšování a testování jejich pomůcek.

¹A to případně i onou formou terminálu, uznal by-li to vyučující za vhodné.

Kapitola 6

Herní API

Tato část softwaru je programována za účelem jednoduché tvorby komplexních outdoorových her. Toho se snaží dosáhnout velkou modulárností a zaměřením na principy OOP.

6.1 Stránky

Pro vytváření jednoduchých her a uživatelsky přívětivých menu je implementován systém stránek (Page) a aplikací (App).

6.1.1 Page

Stránka je soubor barev jednotlivých pozic na displeji (LED kruh) společně s akcemi při jejich zvolení, nebo při jiné události.¹ Prováděné akce jsou uživatelem definované funkce. Pro pohodlnost je však implementováno několik základních akcí, například blikání.

Speciálním typem předdefinované akce je Link. Link je způsob propojování více stránek mezi sebou, kupříkladu pokud zvolíte specifickou pozici na první stránce, přehodí vás Link na stránku druhou.² Přehození kontextu na jinou stránku je vždy poslední provedená akce vyvolaná událostí.

¹Zatřesení BlackBoxem, povel z případné nadřazené jednotky ...

²Toto se dá použít pro tvorbu jednoduchých bludišť.

6.1.2 App

Aplikace je jednoúčelový podprogram zapadající do systému stránek, chová se vlastně jako speciální Page. Zatímco page je statická (v průběhu kódu se zásadně nemění), aplikace je velmi dynamická. Do aplikace se dá jednoduše naprogramovat, cokoliv bude uživatel vyžadovat, kupříkladu:

- Navigace
- Logické hádanky
- Hodiny
- A mnoho dalších ...

6.2 Zamykání

Ačkoliv může slovo zamykání na elektronické sejfu, kterým BlackBox je, vyvolat myšlenku o zamykání tohoto sejfu, není tomu tak. Funkce zamykání funguje se spoustou věcí. Primárně však tento systém funguje inhibitor událostí a přepínání mezi instancemi Page a Application.

6.2.1 Latch

Latch je zamykací primitivum. Každý typ Latch má jinou odemykací/zamykací podmínku. Mohou být vázané na některý z senzorů prostředí, Orientation latch lze nastavit, aby k odemknutí vyžadoval otočení BlackBoxu čelem k severu, což zjistí díky zabudovanému magnetometru.

Dalším příkladem může být Time Interval Latch, která se odemkne v případě, že aktuální čas je v definovaném rozsahu.

Kromě senzorů však může být Latch ovládán také z jiných částí kódu, nebo dokonce z úplně jiného zařízení, k tomu slouží Remote Latch.

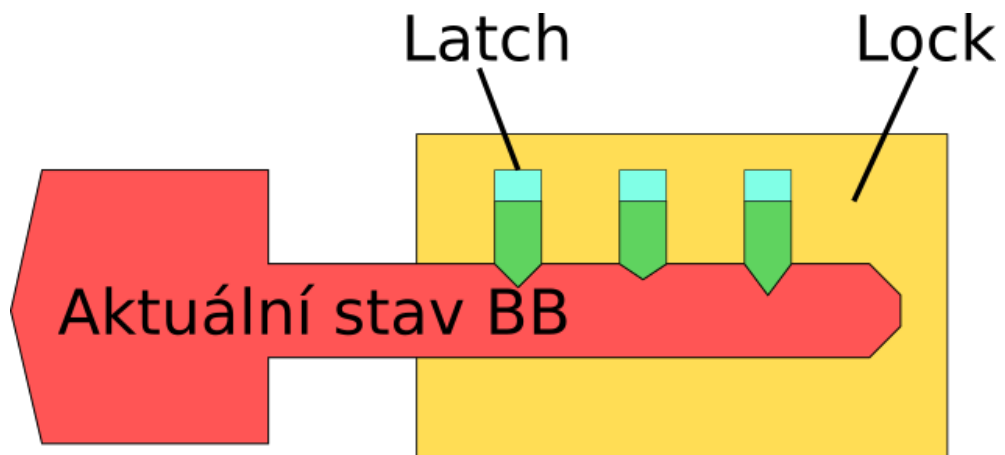
6.2.2 Lock

Lock je třída, která spravuje jednotlivé Latch objekty a v závislosti na svém typu se odemyká a zamyká v závislosti na stavu podřazených Latch. Mezi

tyto typy patří například:

- All – AND
- None – NAND
- AtLeast(n) – alespoň n Latch musí být odemknuto
- Weighted(x) – Každé latch je přiřazena váha, součet vah odemčených Latch potom musí být $\geq x$
- A další ...

Lock také může být vložen do dalšího Lock objektu.

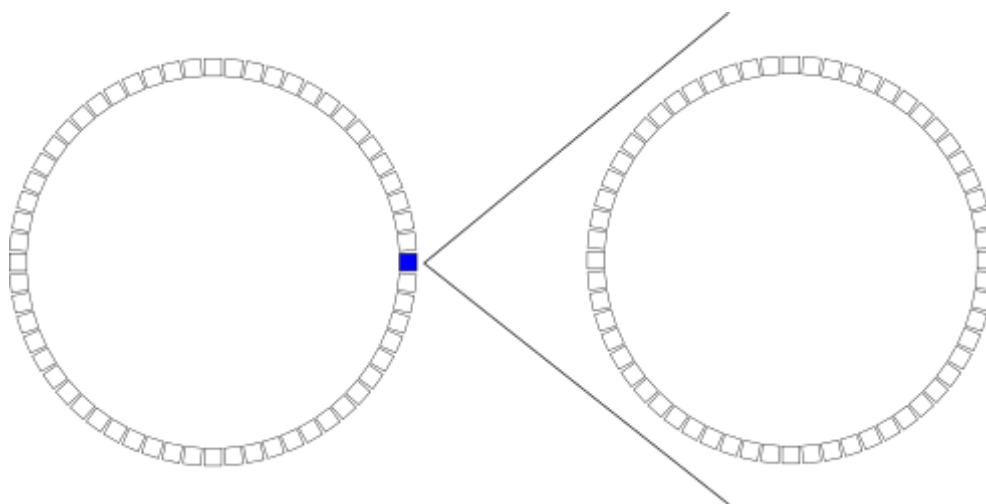


Obrázek 6.1: Idea zámku

6.3 Příklady použití

```
1 pages.newPage("main");  
2 pages.newPage("secondary");  
3 pages["main"][15].link(pages["secondary"]);  
4 // Propoji stránku 2 na pozici 15 na hlavní stránce  
5 pages["main"][15].color(Rgb(0, 0, 255));
```

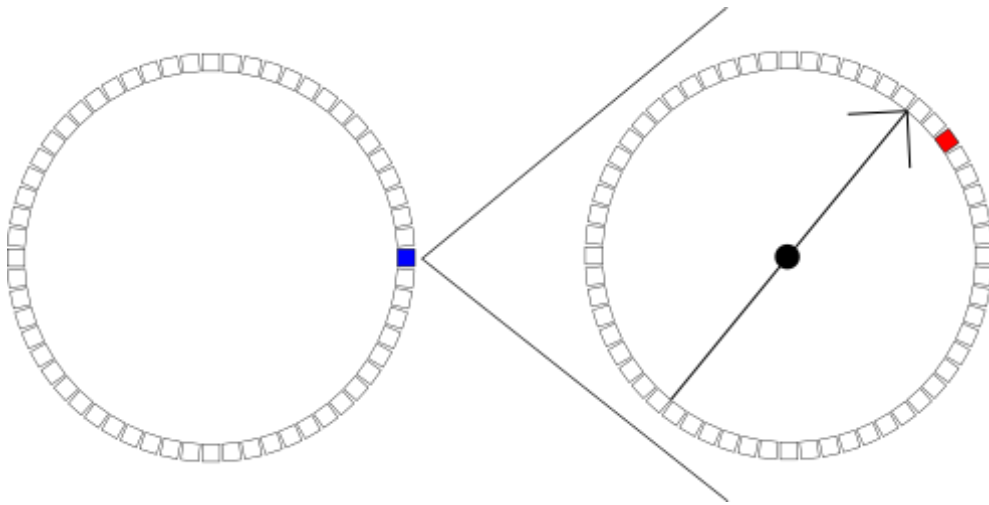
Ukázka kódu 6.1: Ukázka propojování stránek



Obrázek 6.2: Vizualizace výsledku ukázky propojování stránek

```
1 pages.newPage("main");
2 pages.newApp(navigation, "navigation");
3 pages["main"][15].link(pages["navigation"]);
4 // Propoji navigaci na pozici 15 na hlavni strance
5 pages["main"][15].color(Rgb(0, 0, 255));
6 pages["navigation"].setHeading(15); // azimut 15 stupnu
```

Ukázka kódu 6.2: Ukázka propojování aplikací



Obrázek 6.3: Vizualizace výsledku ukázky propojování aplikací

```

1 tm start, end;
2
3 Page::PageManager pm;
4
5 Page::Sequences::Absolute sqA = {10, 20, 5};
6 Page::Sequences::Relative sqR = {10, -5, 12, -7};
7
8 Latch::Remote remoteLatch;
9 Latch::TimePeriod timeLatch(start, end);
10
11 Lock::All lock = {remoteLatch, timeLatch};
12
13 auto& mainPage = pm.newPage(Page::Empty, "main"); // tag
14 pm.newPage(Page::Empty, "secondary"); // tag
15 auto& link = pm.newApp(sqA);
16 auto& link2 = pm.newApp(sqR);
17 mainPage[15].link(link); // switch kontextu se vždy provede
    jako poslední event
18 mainPage[15].appendEvent(Events::Blink);
19 mainPage[15].lock(lock, INVERT);
20
21 mainPage[30].link(link2);
22 mainPage[30].lock(lock, NORMAL);
23
24 link.onSolve([&]{
25     remoteLatch.unlock();
26 });
27
28 mainPage[45].link(pm["secondary"]);
29
30 pm.start();

```

Ukázka kódu 6.3: Ukázka práce s herním API

Pro potřeby této práce je **synchronní hra** taková hra k jejímuž hraní je potřeba interakce hráčů v reálném čase ať už s „prostředím“, nebo mezi sebou. **Asynchronní** je poté hra, která nevyžaduje interakce v reálném čase.

6.3.1 Synchronní hry

Lights out/Večerka

Hraje se v noci s BlackBoxy rozmístěnými v mřížce na louce, část BlackBoxů svítí a část ne. Při zmáčknutí BlackBoxu se změní stav daného BlackBoxu spolu se stavy okolních BlackBoxů podle předem daného pravidla. Cílem je vypnout všechny světla.

Path of light/Světelná cesta

Pro efekt je lepší hrát tuto hru v noci. Každý hráč má svůj BlackBox. V prostoru jsou rozmístěny záda pro BlackBox v předem daných polohách. V závislosti na věku hráčů, herním čase a dostupné prostoru může být herní plocha rozlehlá i několik set metrů. Je několik počátečních pozic.

Každý hráč má vygenerované bludiště, kde cesty jsou definované jako spojnice mezi BlackBoxy (toto bludiště se může autonomně měnit v průběhu hry). Když hráč dojde na stanoviště a zasune svůj BlackBox do zad na stanovišti, zobrazí se mu možné směry, kterými se může vydat. Hráč si jeden z nich vybere a BlackBox mu začne ukazovat přímou spojnicí ke stanovišti v daném směru. Pokud hráč sejde z originální přímé spojnice, může si opravit směr na jakémkoliv dalším stanovišti.

Hráč vyhrává, pokud se dostane do středu bludiště.

6.3.2 Asynchronní hry

Typickým příkladem asynchronní hry jsou šifrovací hry, kdy hráči dostanou na vyluštění delší časový úsek, hra potom může být rozdělena na etapy. Začátek etapy bude sloužit jako synchronizační a vylučovací bod. Tento způsob šifrovací hry snižuje potřebu koordinace, protože ji každý může řešit „až bude mít čas.“

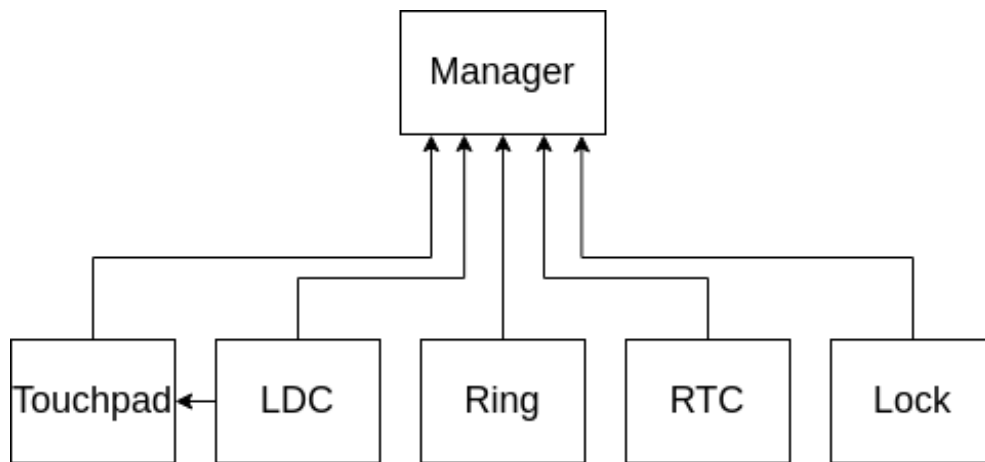
Kapitola 7

Hardwarové knihovny

Hardwarové knihovny jsou nejnižší částí softwaru. Každá knihovna obsluhuje nějakou periferii a slouží k interakci s ní. Hardwarové knihovny jsou rozdělené.¹do několika částí, které budou popsány dále v textu (každá odrážka představuje jednu knihovnu):

- Hlavní řídicí modul
 - Real Time Clock
- Uživatelské rozhraní
 - Touchpad
 - * LDC
 - LED kruh
- Zámek
 - Zámek
 - IR komunikace
- Senzory prostředí
 - Senzory polohy
 - * Magnetometr
 - * Akcelerometr
 - * Gyroskop
 - Barometr

¹Pouze v tomto textu, v kódu toto rozdělení není.



Obrázek 7.1: Závislosti hardwarových knihoven

7.1 Hlavní řídicí modul

Součástí hlavního modulu je samotný řídicí čip ESP32 a RTC.

7.1.1 RTC

RTC slouží k uchování času při šetření baterie tím, že umožňuje uspání zbytku BlackBoxu. Stejně jako ostatní I²C periferie.²používá RTC virtuální dvojče tzn. že v programu existuje kopie všech registrů, běžný uživatel pak pracuje pouze s touto kopií, která se periodicky synchronizuje a provádí přitom kontrolu nastavovaných hodnot. Toto urychluje kontrolu nastavovacích registrů a zároveň zjednodušuje potenciální tvorbu simulátoru. Pokročilejší uživatelé mohou pracovat přímo s jednotlivými registry a dvojče používat pouze na rychlou kontrolu hodnot.

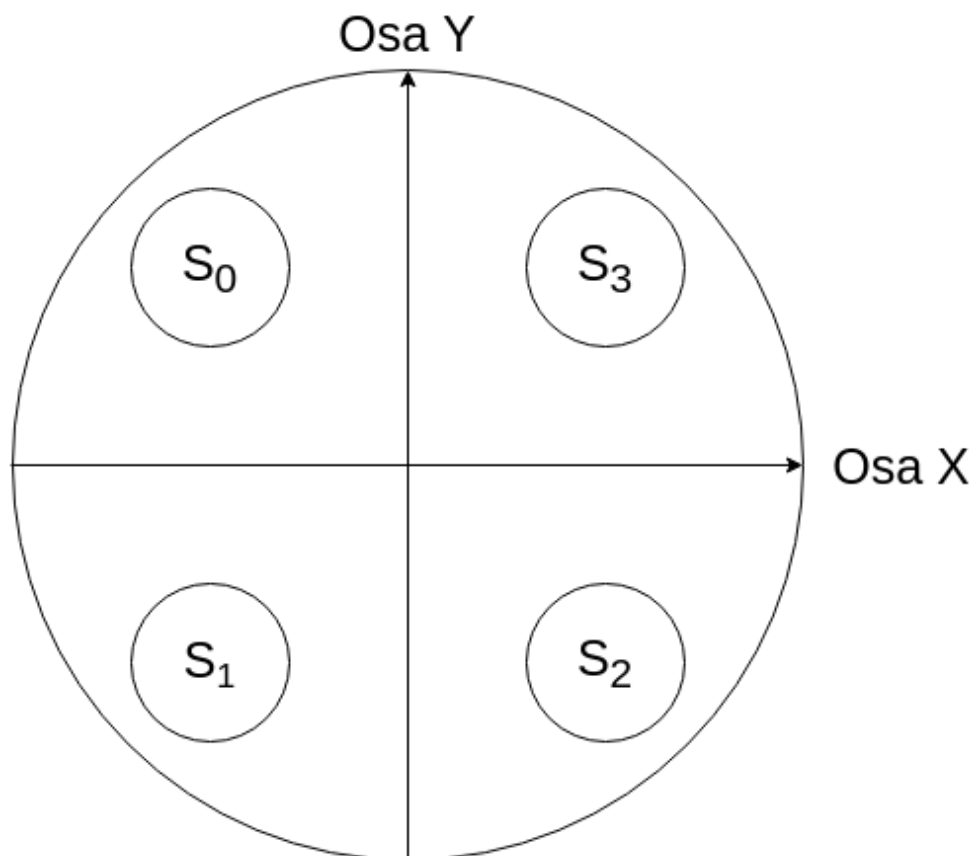
7.2 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní je pro běžného uživatele asi nejužitečnější částí knihovny, protože slouží právě k interakci s ním.

²T.j. RTC, LDC, barometr, senzory polohy.

7.2.1 Touchpad

Třída Touchpad slouží jako most mezi uživatelem a třídou LDC. Je zodpovědná za přepočtení surových dat z LDC do souřadnic doteku a jeho síly.



Obrázek 7.2: Výpočet pozice doteku

$$\begin{aligned} X &= -k_0 S_0 - k_1 S_1 + k_2 S_2 + k_3 S_3 \\ Y &= +k_0 S_0 - k_1 S_1 - k_2 S_2 + k_3 S_3 \\ Tlak &= \frac{k_0 S_0 + k_1 S_1 + k_2 S_2 + k_3 S_3}{4} \end{aligned}$$

Rovnice 7.1: Výpočet parametrů doteku

LDC

Třída LDC se stará o komunikaci s čipem LDC1614. Sama nedělá žádné výpočty, dělá pouze základní filtraci dat. Jedná se o I²C senzor.³

7.2.2 LED kruh

LED kruh poskytuje kromě příjemného subscript operátoru pro přístup k jednotlivým LED také možnost vykreslovat celé obrazce (kružnice a oblouky). Umožňuje také nastavit maximální hodnotu jasu displeje, všechny barvy jsou poté vyškálovány do tohoto rozsahu. Za použití akcelerometru je také možné displej převracet v závislosti na jeho natočení, jak je zvykem u mobilních telefonů.

LED kruh je postaven na knihovně SmartLed [8].

7.3 Zámek

Tato sekce je důležitá především, pokud budete chtít používat Blackbox jako elektronický sejf.

7.3.1 Lock

Lock spravuje motor a magnetický enkodér. Ty dohromady tvoří zámek, který je schopen poznat, v jakém stavu se nachází, bez nutnosti tuto informaci udržovat v paměti. Důležitý je fakt, že zámek je designovaný tak, aby se BlackBox dal vložit do protikusu, aniž by bylo nutné jej odemkat.

7.3.2 IR komunikace

IR komunikace je určena k jednoduché komunikaci mezi BlackBox a Chytrými zády.⁴

³Používá virtuální dvojče. Podkapitola 7.1.1.

⁴Protikus BlackBoxu s vlastní elektronikou.

7.4 Senzory prostředí

7.4.1 Senzory polohy

Množství funkcionality poskytuje BlackBoxu možnost detekovat natočení v 9 osách.

7.5 Příklady použití

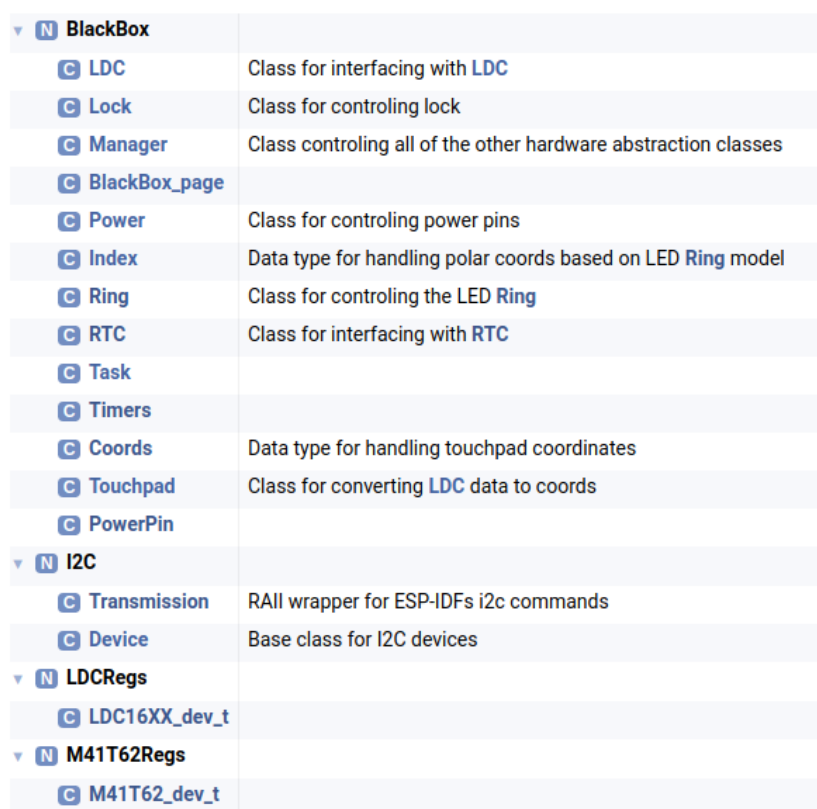
Hardwarové knihovny zajišťují nízkoúrovňový přístup k celému BB, takže pokročilí uživatelé mohou plně využít možnosti hardwaru. Knihovny tvoří základ pro herní a výukové API, které existují jako další vrstva abstrakce pro jednodušší programování BB.

Knihovny se nemusí používat pouze v rámci desky BlackBox, ale také mimo ni jako samostatné knihovny. Kupříkladu LED kruh se dá použít na řízení jakéhokoliv displeje, který má imitovat ručičkové ukazatele. Touchpad může být sám o sobě také velmi užitečný.

Kapitola 8

Dokumentace

Ke všem částem knihovny je dostupná česko-anglická dokumentace. Dokumentace je dostupná online [9].



▼ N BlackBox	
C LDC	Class for interfacing with LDC
C Lock	Class for controlling lock
C Manager	Class controlling all of the other hardware abstraction classes
C BlackBox_page	
C Power	Class for controlling power pins
C Index	Data type for handling polar coords based on LED Ring model
C Ring	Class for controlling the LED Ring
C RTC	Class for interfacing with RTC
C Task	
C Timers	
C Coords	Data type for handling touchpad coordinates
C Touchpad	Class for converting LDC data to coords
C PowerPin	
▼ N I2C	
C Transmission	RAII wrapper for ESP-IDFs i2c commands
C Device	Base class for I2C devices
▼ N LDCRegs	
C LDC16XX_dev_t	
▼ N M41T62Regs	
C M41T62_dev_t	

Obrázek 8.1: Ukázka dokumentace

Kapitola 9

Závěr

Zadaný cíl práce jsem splnil, navrhl jsem sadu knihoven pro práci s deskou BlackBox zaměřenou na tři hlavní cíle:

- vývoj IoT na stavebnici BlackBox
- realizaci outdoorových her a zážitkových akcí
- výuku programování zaměřenou na programování mikrokontrolérů, ovládání externích periférií mikrokontrolérů a hobby robotiku

K těmto knihovnám jsem také sepsal dokumentaci [9] v češtině a v angličtině.

Knihovny jsou jednoduché na použití a přitom poskytují širokou škálu možností práce s BlackBoxem, od uživatelského přístupu (stáhnou hru z webu, nahrají do BlackBoxu, vysvětlím účastníkům pravidla a můžu vyrazit do akce) až po pokročilé programování.

Na této sadě knihoven byla ve školním roce 2019/20 vedena část kroužku robotiky, bohužel tento kroužek nemohl být dokončen kvůli globální pandemii. Kvůli pandemii také nebylo zatím možné použít BlackBox na žádné velké venkovní hře, vzhledem k nemožnosti jejich konání.

V práci na BlackBox budu i nadále pokračovat, a to nejen na rozšiřování o periferie chystané pro verzi 2.0 hardwarové desky, která bude přidávat hlavně GPS, GPRS a sekundární procesor. Ale také vytvářením dalších softwarových pomůcek jako například grafický editor her a generátor her.

Knihovny jsou dostupné jako open-source [zdrojový kód](#) pod licencí MIT, ale také i jako knihovna v PlatformIO registry [10].

Přílohy

Literatura

1. *RB3203-BlackBox* [online] [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://github.com/RoboticsBrno/RB3203-BlackBox>.
2. *espressif/esp-idf* [online] [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://github.com/espressif/esp-idf>.
3. *Arduino* [online] [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc>.
4. *Espressif Systems* [online] [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.espressif.com>.
5. *Micro Python*, [online] [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://micropython.org>.
6. *Circuit Python* [online] [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://circuitpython.org>.
7. *Espruino* [online] [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.espruino.com>.
8. *SmartLeds* [online] [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://github.com/RoboticsBrno/SmartLeds>.
9. *Dokumentace BlackBox* [online] [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: https://roboticsbrno.github.io/BlackBox_library/.
10. *PlatformIO Libraries* [online] [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://platformio.org/lib>.

Seznam obrázků

2.1	Hardware	11
4.1	Tři přístupy	18
4.2	Graf závislostí	19
6.1	Idea zámku	24
6.2	Vizualizace výsledku ukázky propojování stránek	25
6.3	Vizualizace výsledku ukázky propojování aplikací	26
7.1	Závislosti hardwarových knihoven	30
7.2	Výpočet pozice doteku	31
8.1	Ukázka dokumentace	34

Seznam ukázek kódu

3.1	ESP-IDF	15
3.2	Arduino	16
5.1	Výukové API	20
6.1	Ukázka propojování stránek	25
6.2	Ukázka propojování aplikací	26
6.3	Ukázka práce s herním API	27

Informace o využitelnosti projektu BlackBox (SOČ 2021)

Projekt BlackBox (v technickém i softwarovém řešení) vznikl v úzké spolupráci s Domem dětí a mládeže Helceletka, především s ohledem na jeho další využitelnost v různých volnočasových aktivitách realizovaných naší organizací. Oba autoři konzultovali řešení projektu od samého začátku - od ideových záměrů, a to nejen s pracovníky odborného pracoviště Robotárna, ale také s dalšími zaměstnanci - pedagogy volného času se specializací na gamedesign a outdoorové a zážitkové aktivity. Konstrukce i software tak značnou měrou odráží požadavky plánovaného využití (odolnost, různá úroveň náročnosti nastavování, možnost programování zařízení v rámci výukové aktivity, vysoká variabilita použití atd.).

Tyto požadavky reflektují do jisté míry koncepční záměry kladené na výstupy dlouhodobého projektu organizace zaměřeného na propojování zážitkové (nebo explicitně táborové) pedagogiky se světem technologií. V rámci tohoto projektu byl také BlackBox (v různých fázích vývoje) vyzkoušen v několika různých aktivitách s velmi dobrými výsledky. K zásadnějšímu „nasazení“ je ale plánován až v letní táborové sezóně 2021. BlackBox by se měl postupně stát páteří součástí té větve projektu, která bude postupem času výsledky naší práce přinášet odborné veřejnosti - pedagogům volného času, táborovým vedoucím, různým neziskovým organizacím (organizátorům volnočasových aktivit), ale i specializovaným subjektům zaměřeným na outdoorové aktivity dospělých. V rámci projektu se pro zařízení, která v rámci něj vznikají, zažila zkratka TEF (zkracující nadsázkou vyjádřený záměr vytvářet Technologické Ekvivalenty Fáborků). Právě BlackBox by měl představovat určitý základní TEF.

To je možné díky obrovské variabilitě, kterou zařízení pro organizaci zážitkových outdoorových aktivit nabízí. Z hlediska použití je myslitelná ve hrách a aktivitách pobytových i příměstských táborů, zážitkových kurzů a akcí, v hrách typu City-bound, včetně masových akcí. Z hlediska zhodnocení konkrétních možností, kterými BlackBox může vstoupit do jednotlivých programů, chci podtrhnout zejména následující tři:

Prvně jde o znatelný dopad na **motivaci účastníků** pro program a práci s jejich flow, tedy zaujetím aktivitou, soustředěním, tím jak je aktivita „pohltná“. Design Blackboxu a možnosti jeho interakce s hráči (účastníky aktivit) odpovídají v podstatě běžně chápanému rozměru chytrých zařízení. Fakt, že je taková technologie součástí táborové hry nebo volnočasové aktivity, velmi pozitivně ovlivňuje vztah účastníků k programu.


Za druhé je to **různorodost rolí**, které BlackBox v jednotlivých aktivitách zastane. Může být interaktivním stanovištěm hry, osobním průvodcem konkrétní hrou, může být finálním artefaktem, šifrou nebo jiným prvkem brzdícím postup aktivitou anebo naopak jejím akcelerátorem (pokud například odpočítává čas). Ve strategických hrách může dobře distribuovat herní suroviny, stejně jako omezovat (podmiňovat) vstup do určitých lokalit. Ve fyzicky náročných aktivitách může diktovat směr postupu, vyžadovat rozluštění šifry, monitorovat pohyb týmu v makroměřítku nebo citlivě reagovat na to, co s ním týmy provádějí. V bojových hrách zastane dobře roli statického terče, ale třeba i výbušniny s časovačem, tajné špiónské schránky, atd. Naprosto specifickou představou o jeho



použití jsou pak velké týmové hry v městském (a explicitně nočním) prostředí. Obliba těchto aktivit u mladých lidí stoupá, stejně jako fenomén únikových her. Blackbox pak může představovat skvělého průvodce takovým typem her. I vzhledem k řešení dotykového displeje je k tomu také předurčen.

Třetí rozměr, který je nutné ocenit, je velký zájem obou autorů na tom, aby zařízení bylo schopno nabídnout prostor pro **pedagogickou činnost v technických oblastech**. Tedy, aby se v určitém ohledu chovalo (nebo mohlo chovat) i jako složitější stavebnice s možností uživatelsky poměrně přívětivé programovatelnosti. Tento koncept jednoznačně navazuje na dobrou tradici Robotických táborů, jejichž integrální součástí je právě zájem o to, aby se účastníci podíleli na vzniku různých herních (aktivitních) prvků. To dobře koresponduje s určitou společenskou poptávkou po popularizaci a rozvoji technického vzdělávání, která byla před současnou pandemickou situací poměrně znatelná.

BlackBox se bezpochyby stane součástí herní a zážitkové reality na letních táborech Helceletky a to i v osvědčeném modelu sdílených aktivit pro příměstské tábory. Pandemická situace výrazně ovlivnila další plány, které s TEF organizace měla - zejména velké noční hry v ulicích města. Výhledově s nimi pořád počítáme. Stejně tak trvá naše představa o sdíleném hřišti s aktivitami s těmito zařízeními, kterých by se mohli účastnit také klienti dalších organizátorů (v přibližně stejném modelu jako navštěvují například bazény nebo lanové parky). Má bezpochyby potenciál stát se vlajkovým produktem řady zařízení typu TEF, které chceme dále podporovat a připravovat je pro nabídku mimo organizaci - ať už by šlo o prodej zařízení, nebo organizaci kurzů pro pedagogy. Zásadní roli bude hrát také v rámci rodící se spolupráce na projektu v rámci programu ÉTA Technologické agentury České republiky, na které by naše organizace měla participovat s Pedagogickou fakultou a Filozofickou fakultou Univerzity Hradec Králové a Pedagogickou fakultou Univerzity Palackého v Olomouci. Projekt bude zaměřen na využití moderních technologií ve volnočasových aktivitách s výrazným přesahem do edukační reality.



Digitálně
podepsal Mgr.
Petr Sedlář
Datum: 2021.04.08
18:52:17 +02'00'

V Brně, 8. 4. 2021

Mgr. Petr Sedlář
zástupce ředitelky

