

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor: 10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Laserový projektor

Šimon Hrouda

Brno 2024

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

LASEROVÝ PROJEKTOR

LASER PROJECTOR

AUTOR	Šimon Hrouda
ŠKOLA	Gymnázium Brno-Řečkovice, p. o., Terezy Novákové 2, 621 00 Brno
KRAJ	Jihomoravský
INTERNÍ KONZULTANT	Mgr. Kateřina Vídenková
EXTERNÍ KONZULTANT	Tomáš Rohlínek
OBOR	10. Elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

Brno 2024

□

Prohlášení

Prohlašuji, že svou práci na téma *Laserový projektor* jsem vypracoval/a samostatně pod vedením Tomáše Rohlíka a Mgr. Kateřiny Vídenkové 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 zpřístupňování 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 Brně dne: _____

Šimon Hrouda

Poděkování

Děkuji svému externímu konzultantovi Tomáši Rohlínkovi a své interní konzultantce Mgr. Kateřině Vídenkové za obětavou pomoc, podnětné připomínky a nekonečnou trpělivost, kterou mi během práce poskytovali.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.

jihomoravský kraj



Anotace

Klíčová slova

Annotation

Keywords

Obsah

Úvod	9
Cíle	9
teoretická část	11
1 Laser scanning [6]	12
1.1 Hranolové skenery	12
1.2 Galvanometrové skenery	14
1.2.1 Galvanometr	14
1.2.2 Konstrukce galvanometrových skenerů	15
1.3 Má volba skeneru	15
praktická část	19
2 hardware	20
2.1 Raspberry Pi	20
2.2 Galvanometr a zrcátko	20
2.3 galvanometer set i got	23
2.3.1 bipolární diferenciální analogový signál [14]	23
2.4 laser	23
2.5 LCD displej	24
2.6 rotační enkodér	24

2.7	HAT	24
2.7.1	Zdroj -15 V	24
2.7.2	obvod pro generování analogového signálu	24
2.8	cooler	27
2.9	napájení	27
3	software	28
3.1	install.sh	29
3.2	komunikace mezi programy	29
3.3	Lasershow	30
3.3.1	Úvod	30
3.3.2	Využité knihovny	31
3.3.3	Chování programu	31
3.4	wifi_manager	34
3.5	UI	35
3.6	web_ui	36
3.7	discord bot	38
4	Diskuze	39
4.1	ruzne technologie	39
4.2	další zpracování tématu	40
Závěr		42
	Literatura	45
	Seznam obrázků	46
	Seznam tabulek	47

definice pojmů a zkratek

SPI	Serial Peripheral Interface	sériové periferní rozhraní
-----	-----------------------------	----------------------------

DPS	deska plošných spojů
-----	----------------------

Note!

[TODO 3. osoba - Práce se zaměřuje,, <https://www.sciencedirect.com/search?qs=g>
muzu ríct, že jsem něco nezvládl dohledat :)]

Úvod

Note!

[?když jsem se zajímal o technologii laserových projektoru a efektu na diskotekách, zarazilo mě, že jsem nenašel žádnou open source platformu, kterou bych mohl použít a případně upravovat, kdybych chtěl technologii využít, tak jsem se rozhodl takovou platformu vytvořit]

Laser scanning, technologie rychle se pohybujícího laserového paprsku, je využívána v mnoha oblastech od laserového promítání, efektů na diskotékách a Heads Up Displejů v letadlech či autech [1] přes čtení čárových kódů [2] a 3d tisk [3] po skenování 3D modelů [4] i Zemského povrchu [5].

Bohužel ale neexistují žádné uživatelsky přívětivé open-source platformy, kde by se s touto technologií mohli seznámit zájemci o její rozvíjení.

Cíle

V této práci jsem se proto rozhodl pro tuto technologii vytvořit vlastní laserový projektor a naprogramovat pro něj jednoduché uživatelské prostředí. Toto uživatelské prostředí by mělo sloužit jako začáteční bod, který zaujme mladé zájemce a umožní jim si technologii vyzkoušet. V případě, že technologie zaujme, mělo by pro zájemce být jednoduché program pozměnit nebo si jinak . [QUESTION INTERNAL: jak sepsat cíle? tenhle odstavec tam hezky sedí, ale zvyklejší jsou asi odrazky, ne?]

Note!

teoretická část

Note!

[wtf nechci, aby to bylo vsechno na nove strance, kdo jsem?]

Kapitola 1

Laser scanning [6]

Všechny obrázky v této kapitole pocházejí ze zdroje [6], pokud není uvedeno jinak.

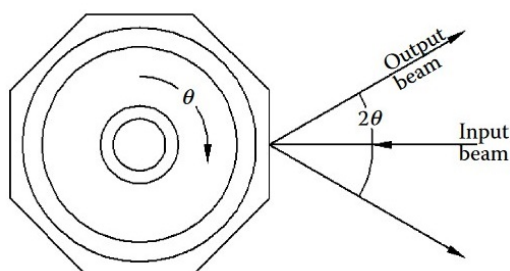
Jako Laser scanning se označuje technologie využívající rychle pohybující laserový paprsek, tento pohyb je často zprostředkovaný pohyblivými zrcátky.

Dle stylu pohybu zrcátek se technologie dají rozdělit na, polygonové skenery, galvanometrové a MEMS skenery.

1.1 Hranolové skenery

Hranolové skenery se vyznačují rotujícím hranolem se zrcadlivými stranami (dále „zrcátka“). Při rotaci hranolu se mění úhel dopadu laserového paprsku na zrcátko, a díky tomu se mění směr odraženého paprsku, viz. obrázek 1.1. [adiky carka?]

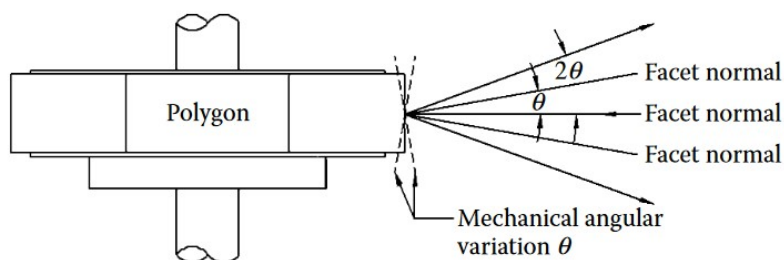
Note!



Obrázek 1.1: mechanika polygonových skenerů

S jedním hranolem by hranolové skenery byly schopny směřovat paprsek pouze v jedné rovině - při projekci by bylo možné vykreslit maximálně čáru. Tuto limitaci lze kompenzovat přidáním malého rozdílu ve směřování každé strany hranolu, viz. obrázek 1.2. S touto úpravou každá strana hranolu "vykreslí" jednu, svoji, přímku lehce posunutou vůči přímkám ostatních stran. Hranol s n -úhelníkovou podstavou je schopen vykreslit n přímek. Další možností je kombinovat původní pravidelný hranol s galvanometrem (popsáno níže), kdy galvanometr nastaví jednu souřadnici paprsku a hranol na této souřadnici vykreslí přímku.

Tento typ skeneru se využívá hlavně pro senzory skenující na přímce (např. skenery čárových kódů [2]), nebo při rastrovém procházení plochy (například 3D skenování, nebo promítání ploch, viz. Obrázek ??).



Obrázek 1.2: úhlová rozdílnost zrcátek polygonového skeneru a paprsky od nich odražené



Obrázek 1.3: příklad projekce laserového projektoru s polygonovým skenerem; zdroj [7]

1.2 Galvanometrové skenery

V galvanometrových skenerech paprsek odráží zrcátka/o připevněná/o na páru galvanometrů.

1.2.1 Galvanometr

Slovem galvanometr se označuje přístroj určený k detekci nebo měření velice malého elektrického proudu [8]. Galvanometry při měření využívají interakce magnetického pole trvalého magnetu a cívky protéké proudem. Tato interakce vychýlí ručičku ukazující na stupnici, nebo zrcátko odrážející paprsek, který dopadá na stupnici. [9]

Galvanometry se dají rozdělit na galvanometry bez zpětné vazby (open-loop) a se zpětnou vazbou. K těm bývají připojeny ovládací obvody, které z galvanometrů získávají informace o jejich pohybu a podle nich regulují signál posílaný do galvanometrů. [9]

Dále se dělí dle pohyblivé součástky. V galvanometru je buď trvalý magnet pevně ukotven a cívka pohyblivá (moving coil), nebo naopak (moving magnet).

Dnes se v kontextu laserových skenerů prakticky vždy používají galvanometry s pohyblivým magnetem a se zpětnou vazbou. Ta je zajištěna čtením z variabilního kondenzátoru umístěného v galvanometru.

1.2.2 Konstrukce galvanometrových skenerů

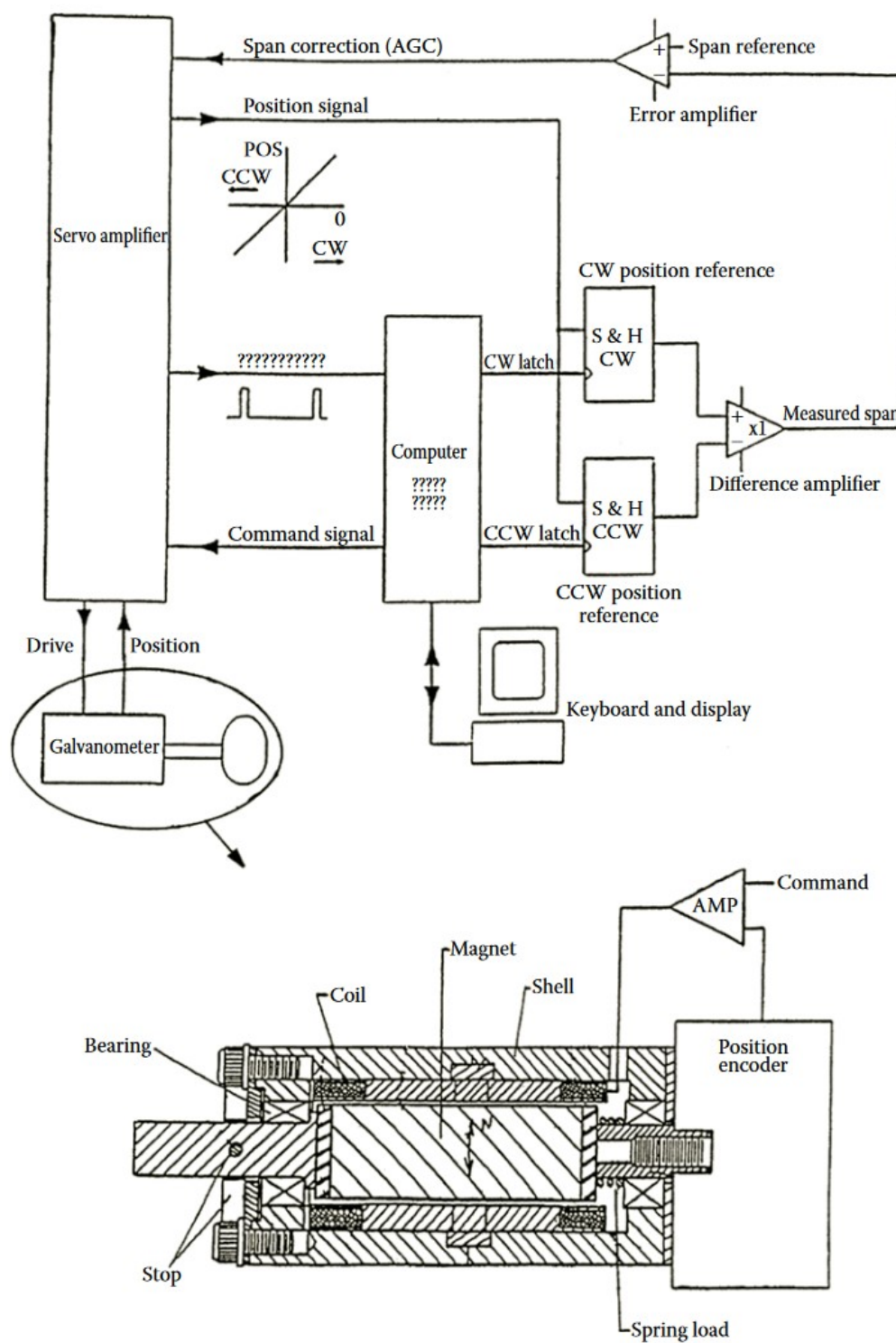
Jeden galvanometrový skener vždy ovládá jednu osu pohybu paprsku, buď X nebo Y.

Narozdíl od hranolových skenerů je s galvanometrovým skenerem možné zastavit obě osy pohybu - vykreslovat na sebe kolmé čáry.

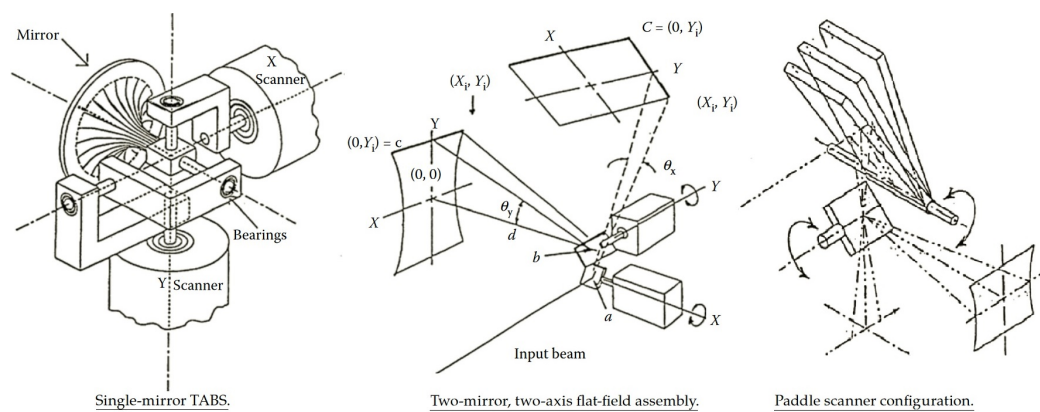
1.3 Má volba skeneru

Note!

[sekce možná patří do praktické] já využívám galva, protože se s ní má nejlíp pohrát, jsou nejuniverzálnější a tím pádem nejvíce zaujmou - cíl



Obrázek 1.4: zapojení a vnitřní konstrukce galvanometrů



Obrázek 1.5: různé konstrukce galvanometrových skenerů

praktická část

Note!

[wtf nechci, aby to bylo vsechno na nove strance, kdo jsem?]

Kapitola 2

hardware

2.1 Raspberry Pi

Note!

[TODO: rpi specs]

2.2 Galvanometr a zrcátko

- Galvanometry, často nazývané galva, jsou elektronické součástky používané k měření intenzity a směru elektrického proudu. [10]

Můžeme je rozdělit mezi galvanometry s uzavřenou smyčkou zpětné vazby (CLGS) a galvanometry bez uzavřené smyčky zpětné vazby (OLGS). [11]

[12] ale postupně nachází uplatnění ve více a více odvětvích práce s lasery. Oproti jiným možnostem nabízí flexibilitu, rychlost a přesnost za nízkou cenu.

V této práci jsou ale využívány CLGS, které jsou lépe zdokumentované.

V CLGS jsou potřeba 3 hlavní prvky,

Nejmodernější galvanometrové polohovací systémy jsou založené na prin-

cípech elektromotorů s permanentními magnety, kde [12]

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Galvanometer>
https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_scanning
https://en.wikipedia.org/wiki/Mirror_galvanometer
https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_lighting_display

A mirror galvanometer is an ammeter that indicates it has sensed an electric current by deflecting a light beam with a mirror. The mirror galvanometer consists of a long fine coil of silk-covered copper wire. In the heart of that coil, within a little air-chamber, a small round mirror is hung by a single fibre of floss silk, with four tiny magnets cemented to its back. The small weight of the mirror and magnets which form the moving part of this instrument, and the range to which the minute motions of the mirror can be magnified on the screen by the reflected beam of light, which acts as a long impalpable hand or pointer, render the mirror galvanometer marvellously sensitive to the current, especially when compared with other forms of receiving instruments.

Zrcadlový galvanometr je měřič proudu, který reaguje na měřený proud vychýlením světelného paprsku zrcátkem připevněným na jeho konci.

Skládá se z cívky a [13]

- following text generated by ai (google bard) on 2023-10-20

popiš mi jak je sestaven a jak funguje galvanometr se zrcátkem k odražení světelného paprsku

Galvanometr se zrcátkem je sestaven z následujících komponent:
* **Cívka:** Cívka je navinuta na jádře z feromagnetického materiálu, jako je železo nebo nikl. Cívkou prochází elektrický

proud, který vytváří magnetické pole. * **Ukazatel:** Ukazatel je připojen k cívce a je vyroben z lehkého materiálu, jako je hliník nebo plast. Ukazatel je vychýlen magnetickým polem vytvářeným cívkou. * **Zrcátko:** Zrcátko je připojeno k ukazateli a odráží světelný paprsek. * **Okulár:** Okulár je umístěn tak, aby bylo možné pozorovat odraz světelného paprsku.

Jak funguje:

Když prochází cívkou elektrický proud, vytváří magnetické pole. Toto magnetické pole působí na ukazatel a vychýlí ho. Velikost výchylky ukazatele je přímo úměrná velikosti proudu procházejícího cívkou.

Zrcátko je připojeno k ukazateli a odráží světelný paprsek. Když se ukazatel vychýlí, odraz světelného paprsku se také vychýlí.

Okulár je umístěn tak, aby bylo možné pozorovat odraz světelného paprsku. Velikost vychýlení světelného paprsku je přímo úměrná velikosti proudu procházejícího cívkou.

Výhody:

* Galvanometr se zrcátkem je citlivější než galvanometr bez zrcátka. * Galvanometr se zrcátkem lze použít k měření velmi malých proudů.

Nevýhody:

* Galvanometr se zrcátkem je dražší než galvanometr bez zrcátka.

Použití:

Galvanometr se zrcátkem se používá k měření velmi malých proudů. Používá se například v elektrotechnice, lékařství a fyzice.

The mirrors, mounted perpendicularly on the engines, move the laser beam along the X and Y axes according to the input received from the motor. The big advantage of these devices is that they can reach a very high acceleration and speed of

ovládá se variabilním proudem

2.3 galvanometer set i got

Note!

[TODO: specs]

ma ridici desku lol

Řídící deska galvanometrů přijímá dva bipolární diferenciální analogové signály s maximálním diferenciálním napětím -5 V až $+5\text{ V}$. Každý signál udává vychýlení jednoho ze dvou galvanometrů, což obvykle znamená výslednou pozici laserového paprsku v osách X a Y.

2.3.1 bipolární diferenciální analogový signál [14]

Diferenciální signál je signál přenášený dvěma vodiči, každý z nich přenáší stejný signál, jen s opačnou polaritou. Kontakt označený $(+)$ je považován za nosič základního signálu, zatímco kontakt označený $(-)$ je považován za nosič invertovaného signálu. Výsledné diferenciální napětí je napětí na základním nosiči vůči napětí na obráceném nosiči, tzn. $V_{dif} = V_{(+)} - V_{(-)}$

Bipolární signál znamená, že na napětí každém z kontaktů $(+)$ a $(-)$ může dosahovat kladných i záporných hodnot.

Tudíž cheme-li disáhnout diferenciálního napětí $+10\text{ V}$, musí mít základní signál napětí $+5\text{ V}$ a obrácený signál -5 V . Záporné diferenciální napětí bude ve chvíli, kdy je napětí základního signálu záporné a napětí obráceného signálu kladné.

2.4 laser

yuh

2.5 LCD displej

2.6 rotační enkodér

2.7 HAT

Pro ovládání výše popsaného hardwaru je zapotřebí několik specifických obvodů. Kvůli jejich specifičnosti tyto obvody nejsou volně dostupné k zakoupení na předem vytvořených destičkách. Proto bylo zapotřebí je z jednotlivých součástek vyrobit na míru.

Obvody byly navrženy v programu KiCad...**[bud spojit vety, nebo k první neco jeste dopsat]** Následně pro ně v tomtéž programu byla nadesignována deska plošných spojů. Na této desce se vyskytují obvody **[todo dac+amps, bat_probe, -15V]**. Kromě nich byly na desku přidány konektory k jednotlivým barevným vstupům laseru, LCD displeji a k rotačnímu enkodéru, které jsou přímo napojeny na 40 pinový GPIO konektor Raspberry Pi. Deska byla designována jako tzv. HAT, to znamená, že sama na tomto konektoru drží a nezabírá o moc víc místa, než samotné Raspberry Pi. **[TODO: obrazek desky (maybe mounted)]**

Note!

Note!

Note!

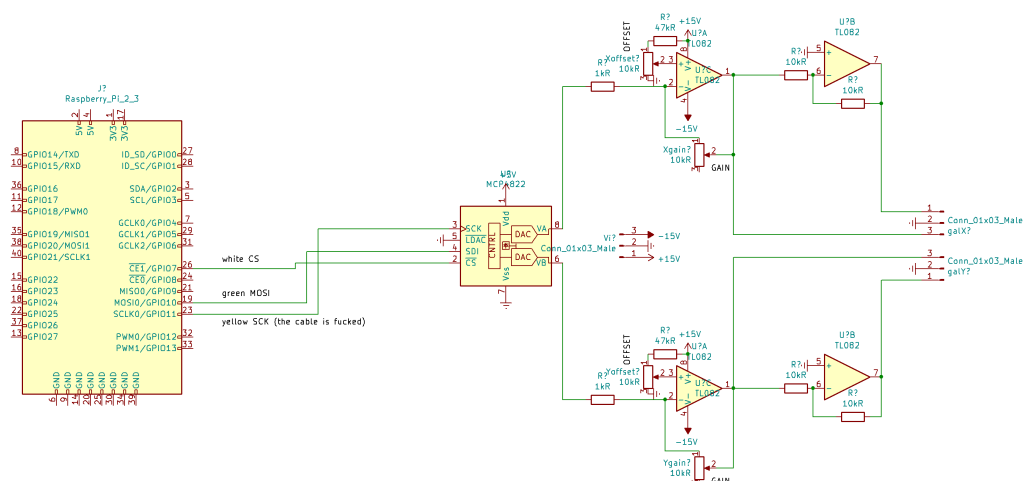
2.7.1 Zdroj -15 V

2.7.2 obvod pro generování analogového signálu

Jak popsáno v sekci 2.3, řídicí deska galvanometrů přijímá dva bipolární diferenciální analogové signály v rozpětí -5 V až $+5\text{ V}$.

Obvod, který se stará o vytváření tohoto signálu je založený na obvodu ze zdroje [15]. Vytváření tohoto signálu je rozděleno do dvou částí. Nejdříve DAC (digital-to-analog converter, D/A převodník) připojený k RPi vytvoří signál v rozpětí 0 až 5 V a následně je tento signál pomocí operačního zesilovače převeden na požadované rozpětí, tj. -15 V až $+15\text{ V}$. Jednotlivé části

tohoto obvodu jsou blíže popsány v následujících kapitolách. Celé zapojení je vidět na obrázku 2.1. [unreadable text, make schem more compact] Note!



Obrázek 2.1: Zapojení DAC a zesilovačů k RPi a řídicí desce galvanometru

dac[16]

K generování signálu v rozpětí 0–5 V byl využit dvoukanálový D/A převodník¹ MCP4822. Tento čip podporuje komunikaci přes rozhraní SPI, pracuje s napájecím napětím 5 V a s 12bitovým rozlišením (je schopen vygenerovat 4 096 různých napětí) na dvou kanálech.

RPi komunikuje s čipem pomocí rozhraním SPI. [TODO more spec] Tato knihovna poskytuje následující funkce, se kterými pracuji v mém kódu. Note!

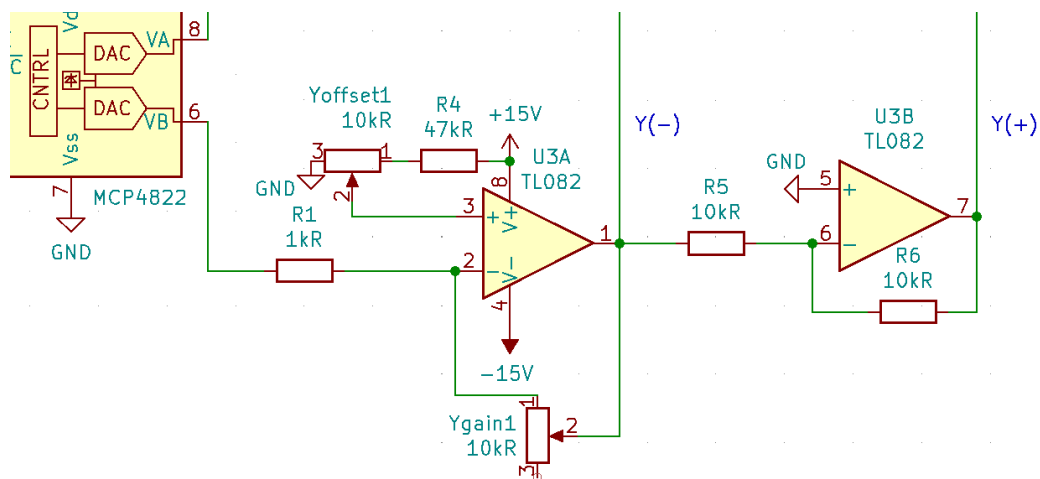
- `bool mcp4822_initialize();`
- `bool mcp4822_set_voltage(mcp4822_channel_t channel, uint16_t value_mV);`
- `mcp4822_deinitialize();`

¹obvod, který na základě instrukcí přijatých digitálně generuje analogové napětí

amps[17]

K modifikaci signálu z DAC na bipolární diferenciální analogový signál slouží pro každý kanál jeden čip TL082, který obsahuje dva operační zesilovače. Ty jsou zapojeny dle schématu na obrázku 2.2.

Signál první operační zesilovač zesílí a posune dle nastavení potenciometrů Ygain(zesílení) a Yoffset(posun) a zároveň invertuje. Tento invertovaný signál následně druhý operační zesilovač opět invertuje, získav základní signál pro řídicí desku galvanometrů.



Obrázek 2.2: Zapojení čipu TL082 pro jeden kanál řídicí desky galvanometrů

Note!

[**TODO more spec**] Tyto čipy mi napěťové rozpětí zvýší z 0–5 V na –15 V až +15 V.

zesilovac - cteni baterek https://is.muni.cz/el/sci/jaro2017/F5090/um/E17_P8.pdf

Note!

[**TODO cos udelal svyho vlastne a jak to facha**]

2.8 cooler

2.9 napájení

Note!

[TODO ay tak co, zvladls to dat na baterky?]

Kapitola 3

software

Tento laserový projektor se skládá ze dvou částí. Jednou je software pro řízení galvanometrů a druhou je software pro interakci s uživatelem. **[TODO: zkrátit věty]** Note!

O řízení galvanometrů se stará program lasershow, který je psaný v jazyce c++ pro maximální rychlost. Tento program běží na pozadí a čeká na příkazy od programů určených k interakci s uživatelem. Na tento program se zaměřuje kapitola lasershow. **[TODO: odkaz]** Note!

Dále jsou tu programy, které se starají o interakci s uživatelem. Tyto programy přijímají příkazy od uživatele a posílají je programu lasershow. Navíc od lasershow získávají výstup, který následně zprostředkovávají uživateli; důkladněji popsáno v kapitole 3.2. Mezi tyto programy patří programy UI, web_ui a discord_bot. Program UI spravuje OLED displej, přijímá od uživatele vstup rotačním enkodérem a je psaný v c++ pro jednodušší interakci s hardwarem. Program web_ui využívá runtime Node.js, ve kterém je nenáročné vytvořit http server dostupný z lokální sítě. **[(A)?]** Program discord_bot, také využívající Node.js, přijímá příkazy z chatovací aplikace discord a je přístupný i přes internet. Note!

Nakonec je tu program `wifi_manager`, ten spravuje wifi připojení RPi, je psaný v Node.js a komunikuje s programy, které interagují s uživatelem stejně jako program `lasershow`.

3.1 `install.sh`

Note!

[TODO: `install.sh`]

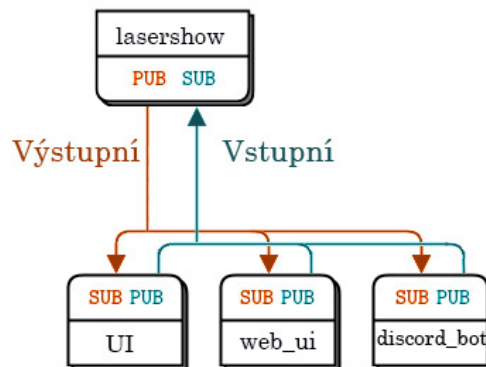
3.2 komunikace mezi programy

Všechny tyto programy jsou propojeny síťovými sockety zprostředkovanými knihovnou ZeroMQ, která nabízí frontu¹ zpráv, bez potřeby samostatně běžícího brokeru.

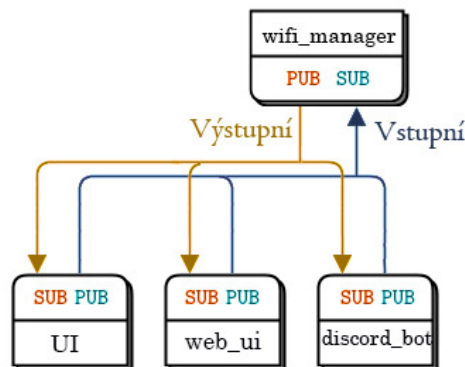
Tato knihovna je využita k vytvoření dvou socketů, jedním `lasershow` přijímá příkazy od uživatele prostřednictvím ostatních programů (vstupní socket na portu 5557, viz obr. ??) a do druhého posílá informace ostatním programům (výstupní socket na portu 5556, viz obr. ??), aby je zprostředkovaly uživateli. Do prvního zmíněného posílají programy interagující s uživatelem příkazy pro programy `lasershow` a `wifi_manager`. Do druhého posílá `lasershow` informace o stavu a změnách nastavení a také `wifi_manager` informace o stavu a změnách v nastavení WiFi.

Příkazy pro programy `lasershow` a `wifi_manager` vypadají následovně [TODO: příklady příkazů pro `lasershow` a `wifi_manager` z https://github.com/phuid/laser_projector/blob/master/README.md] [TODO: příklady status infos od `lasershow` a `wifi_manager` z https://github.com/phuid/laser_projector/blob/master/README.md] Note!

¹Ve frontě jsou zprávy seřazeny od té nejdříve odeslané.



Obrázek 3.1: komunikace mezi programy vstupním socketem na portu 5557



Obrázek 3.2: komunikace mezi programy výstupním socketem na portu 5556

3.3 Lasershow

3.3.1 Úvod

Program lasershow je psaný v jazyce c++. Tento jazyk je kompilovaný a díky tomu je rychlý a běží samostatně. Kdybych využil interpretovaný jazyk, přidal bych k operačnímu systému další vrstvu neovlivnitelných záseků – interpreter [18].

Note!

[TODO: co dela - co do projektu dava ig]

Program byl inspirován projektem <https://github.com/tteskac/rpi-lasershow>².

²staženo 28. 12. 2023

Velkou výhodou oproti zmíněnému programu je možnost s programem interagovat i v průběhu promítání. Díky tomu je možné měnit nastavení promítání bez nutnosti zastavit program a ztratit všechny jeho data.

3.3.2 Využité knihovny

ZeroMQ

ADCACDASFASDFAH sassyyy

, toto rozhraní využívám pomocí knihovny ze serveru <https://github.com>³

pigpio

pwm

3.3.3 Chování programu

Tento program pomocí knihovny ZeroMQ zaregistruje vstupní TCP socket na portu 5557 a přihlásí se na něm k odběru zpráv, které do něj publikují ostatní programy. Zároveň podobně zaregistruje výstupní socket na portu 5556, do kterého později bude posílat zprávy pro programy, které interagují s uživateli.

[TODO: příklad zmq]

Note!

[use https://cs.overleaf.com/learn/latex/Code_Highlighting_with_minted instead - function highlights]

```
1 // Clone server Model One
2
3 #include "zmq.hpp"
4 #include "zmq_addon.hpp"
5 #include <chrono>
6 #include <thread>
7 #include <iostream>
```

³https://github.com/abelectronicsuk/ABElectronics_CPP_Libraries/tree/master/ADCDACPi; staženo 2. 1. 2024

```

8  #include <string>
9
10 int main(void)
11 {
12     // Prepare our context and publisher socket
13     zmq::context_t ctx(1);
14
15     zmq::socket_t publisher(ctx, zmq::socket_type::pub);
16     publisher.bind("tcp://*:5556");
17
18     zmq::socket_t command_receiver(ctx, zmq::socket_type::sub
19 );
20     command_receiver.bind("tcp://*:5557");
21     command_receiver.set(zmq::sockopt::subscribe, "");
22
23     uint64_t wahoo = 0;
24     std::cout << "start done" << std::endl;
25
26     while (true)
27     {
28         zmq::message_t received;
29         command_receiver.recv(received, zmq::recv_flags::none
30 );
31
32         std::cout << "received: \"\" << received.to_string()
33 << "\"\" << std::endl;
34
35         std::string msg_string = "nice, thank you bro, i got
36 this from you \"\" + received.to_string() + "\"";
37
38         zmq::message_t msg(msg_string.c_str(), msg_string.
39 length() + 1);
40         publisher.send(msg, zmq::send_flags::none);
41
42         wahoo++;
43     }
44     return 0;
45 }

```



```

1 // Clone client Model One
2
3 #include "zmq.hpp"
4 #include "zmq_addon.hpp"
5 #include <iostream>
6 #include <thread>
7 #include <chrono>
8
9 int main(void)
10 {
11     // Prepare our context and updates socket
12     zmq::context_t ctx(1);
13
14     zmq::socket_t subscriber(ctx, zmq::socket_type::sub);
15     subscriber.connect("tcp://localhost:5556");
16     subscriber.set(zmq::sockopt::subscribe, "");
17
18     zmq::socket_t command_sender(ctx, zmq::socket_type::pub);
19     command_sender.connect("tcp://localhost:5557");
20
21     std::cout << "start done" << std::endl;
22
23     while (true)
24     {
25         std::this_thread::sleep_for(std::chrono::milliseconds
26         (20));
27
28         zmq::message_t received;
29         while(subscriber.recv(received, zmq::recv_flags::
30         dontwait)) {
31             std::cout << "received: \"\" << received.to_string
32             () << "\"\" << std::endl;
33         }
34
35         // read user input
36         std::string u_in;
37         getline(std::cin, u_in);
38     }
39 }

```

```

36         zmq::message_t msg(u_in.c_str(), u_in.length());
37         command_sender.send(msg, zmq::send_flags::none);
38     }
39     return 0;
40 }

```

Následně se pomocí připojí k D/A převodníku skrz rozhraní SPI[19] a čeká na zprávy od ostatních programů. Jakmile zprávu obdrží, zpracuje ji. Pokud je požadována změna nastavení, okamžitě ji provede, aktuální nastavení si uloží do souboru lasershow.cfg a přepočítá informace o promítaném obrazu, je-li to nutné. (Například, změní-li se nastavení trapezoid-horizontal, přepočítá souřadnice vykreslovaných bodů.) Jestliže je požadováno vykreslení obrazu ze souboru, začne obraz vykreslovat. Při tom průběžně posílá informace o stavu vykreslování do výstupního socketu. I při vykreslování obrazu tento program zpracovává zprávy a pokyny ze vstupního socketu.

Note!

[TODO: co to vlastne umi - umoznuje zive skrz UI menit nastaveni - laseru, trapezoid souradnic, v UI je viditelny stav vykreslovani]

Note!

[TODO: diagram programu]

3.4 wifi_manager

V rámci této práce byl vyvinut ještě jeden program, který se přímo nepodílí ani na projekci, ani na interakci s uživatelem.

Program wifi_manager je také napsaný v jazyce JavaScript s využitím runtime Node.js. Registruje se ke stejným socketům jako lasershow, přijímá příkazy týkající se nastavení WiFi na Raspberry Pi TCP socketem na portu 5557 a odesílá zpětnou vazbu na TCP socket s portem 5556.

Note!

[TODO: jak se komunikace s lasershow odlišuje od wifi_managera]

Note!

[TODO: ukazka(jak interaguje se systemem, aby toho vseho dosahl lol)]

Hlavním úkolem tohoto programu je správa a konfigurace WiFi připojení na Raspberry Pi. Přijímá příkazy od ostatních programů a nastavuje WiFi parametry na základě těchto příkazů. Tím umožňuje uživatelům snadno a pohodlně nastavit WiFi připojení na svém zařízení.

Stejně jako lasershow, wifi_manager také posílá zpětnou vazbu ostatním programům, aby informoval o stavu a změnách v nastavení WiFi. Tímto způsobem je zajištěna komunikace a synchronizace mezi všemi programy v laserovém projektoru.

Celkově wifi_manager přispívá k plynulému a efektivnímu provozu laserového projektoru tím, že umožňuje snadnou správu a konfiguraci WiFi připojení na Raspberry Pi.

3.5 UI

Program UI je také psaný v jazyce c++ a využívá knihovnu WiringPi, která umožňuje jednoduchou komunikaci s GPIO piny Raspberry Pi. Tento program ovládá OLED displej, který je připojený na Raspberry Pi pomocí rozhraní I2C, a přijímá vstup od uživatele čtením rotačního enkodéru s tlačítkem.

Program se při začátku exekuce pomocí knihovny ZeroMQ přihlásí ke vstupnímu socketu a k odběru zpráv z výstupního TCP socketu, kam publikuje zprávy o stavu vykreslování program lasershow. Dále si pomocí knihovny wiringPi zaregistruje zpracovávání přerušení z enkodéru a tlačítka na něm a čeká buď na interakci s uživatelem, který by skrz něj poslal zprávy programu lasershow, nebo na zprávy od lasershow, které by zobrazil uživateli.

Note!

[TODO: diagram programu]

3.6 web_ui

Narozdíl od předchozích dvou zmiňovaných programů je program web_ui psaný v jazyce javascript, ten nepatří mezi nejrychlejší, ale díky runtime Node.js a knihovnám http a formidable v něm bylo časově nenáročné vytvořit http web server.

Tento server běží na portu 3000 a je dostupný z lokální sítě (tzn. přímo z Raspberry Pi na adrese `http://localhost:3000` nebo z jakéhokoliv zařízení na stejné lokální síti na ip adrese RPi). Program je využíván pro jednoduchou interakci s uživatelem, který může pomocí webového prohlížeče ovládat laserový projektor pár kliknutími i zadávat vlastní příkazy klávesnicí.

Note!

[na webu jsou konzole pro ssh, wifiman a lasershow, taky fast project forms]

Note!

[TODO: příklad http serveru]

```
1 const http = require('http');
2 const fs = require('fs');
3 const path = require('path');
4
5 const server = http.createServer((req, res) => {
6   // Get the file path from the request URL
7   const filePath = path.join(__dirname, req.url);
8
9   // Check if the file exists
10  fs.access(filePath, fs.constants.F_OK, (err) => {
11    if (err) {
12      // File not found
13      res.statusCode = 404;
14      res.end('File not found');
15    } else {
16      // Read the file and send it as the response
17      fs.readFile(filePath, (err, data) => {
18        if (err) {
19          // Error reading the file
```

```

20     res.statusCode = 500;
21     res.end('Internal server error');
22   } else {
23     // Set the appropriate content type and send the
file data
24     const ext = path.extname(filePath);
25     let contentType = 'text/plain';
26     if (ext === '.html') {
27       contentType = 'text/html';
28     } else if (ext === '.css') {
29       contentType = 'text/css';
30     } else if (ext === '.js') {
31       contentType = 'text/javascript';
32     }
33
34     res.setHeader('Content-Type', contentType);
35     res.end(data);
36   }
37 });
38 }
39 });
40 });
41
42 const port = 3000;
43 server.listen(port, () => {
44   console.log(`Server running on port ${port}`);
45 });

```

Stejně jako program UI za pomoci knihovny ZeroMQ tento program odebírá z výstupního socketu zprávy o průběhu vykreslování od programu lasershow a odesílá mu pokyny uživatele na vstupní socket.

Note!

[TODO: příklad přihlášení k socketům v js]

Note!

[TODO: xterm + ssh]

3.7 discord bot

Posledním programem, který je využíván k interakci s uživatelem je discord_bot, který je také psaný v jazyce javascript v runtime Node.js, stejně jako předchozí programy se přihlásí k socketům knihovnou zmq, ale na rozdíl od nich tento program může interagovat s uživatelem přes internet ať už je kdekoliv na světě. Pomocí knihovny discord.js se přihlásí k předem vytvořenému bot účtu, který může na předem vytvořeném discord serveru čekat na zprávy od uživatele, ty posílat do vstupního socketu a posílat uživateli zpětnou vazbu, kterou přijme z výstupního socketu.

Note!

[TODO udelals to vubec dobre? porovnej se s ostatnima]

Kapitola 4

Diskuze

4.1 ruzne technologie

[6] str. 394

Digital micromirror devices (DMDs) and liquid crystal displays (LCDs) have also captured the field of image projection away from oscillating scanners. uz existuje MEMS - pcb, co ma X i Y v jednom zrcatku, je super a vsechno jiny prave nahrazuje, na user levelu je i docela podobny galvum - jedna civka x druha y - overit,, idk, jesti tam civky nejsou proste pod tim a nejenom v kloubech

Note!

[vytvoril jsem projektor, ten je mozne sestavit s minimální znalostí elektroniky, staci umet pajet, jde mi o to zajemcum predstavit jak to programovat, jak funguji vektorove formaty, ne jak funguje hw, ten se totiz meni - MEMS]

Note!

[kam pokracovat: api pro random programy /just na github napsat lol pouzivejte tyhle funkce na ovladani DAC ahah - aby si mohli pokrocilejsi kutilove taky hrat a randomly posouvat laser ig]

4.2 další zpracování tématu

udělal jsem to dobře? vybral jsem si dobré techniky? like byl by lepší ten harddrive z yt? nebo fakt to mělo být napájený z baterek a ne ze zásuvky?

že hej že [typek z vut](#) udělal kindu kurva podobnej HW jak já, ale já to mám trochu jinak, cuz jsem o tom nevěděl, ale ofc moje je lepší :)) also to dělala hromada dalších lidí na internetu ten hw, also od [gh.com/tteskac](https://github.com/tteskac) mám executable, kterou jsem ale totalně ze rozšířil a taky jsem přidal všechno moje genialní ui muhahahah

ze este dalsi zpracovani: (19.10.2023 vsechny dostupne)

1. used/modified code

- <https://github.com/marcan/openlase/blob/master/tools/svg2ild.py>
- <https://github.com/tteskac/rpi-lasershow>
- https://github.com/sabhiram/raspberry-wifi-conf/blob/master/app/wifi_manager.js
- http://www.electronicayciencia.com/wPi_soft_lcd/
- [typek z vut](#)

2. další zpracování stejny projekty

- <https://www.instructables.com/Arduino-Laser-Show-With-Real-Galvos/>
- <https://github.com/tteskac/rpi-lasershow>
- <https://www.instructables.com/DIY-STEPIR-LASER-GALVO-CONTROLLER/>
- [borec na yt hard-drive text gut](#)

3. other useful thingies

- <https://hackaday.io/project/172284-galvo-laser-cutterengraver>
- <https://hackaday.io/project/172284/instructions>
- <https://learn.adafruit.com/mcp4725-12-bit-dac-with-raspberry-pi/hooking-it-up>
- https://www.ilda.com/resources/StandardsDocs/ILDA_IDTF14_rev011.pdf
- cool demos <https://marcan.st/projects/openlase/>
- https://www.youtube.com/watch?v=u9TpJ-_hBR8

4. read

- <https://www.laserworld.com/en/glossary-definitions/90-t/2797-ttl-modulation-en.html>

Závěr

Note!

[FIXME proc vsichni maji zaver v obsahu jako section, kdyz pak
vypada, ze je pod posledni kapitolou??] [TODO závěr][TODO muj
projekt je dostupný na githubu] [vytvoril jsem projektor, ten je mozne
sestavit s minimální znalostí elektroniky, staci umet pajet, jde mi o
to zajemcum predstavit jak to programovat, jak funguji vektorove
formaty, ne jak funguje hw, ten se totiz meni - MEMS] [tim ze mam
linux lasershow obcas zpomali, obcas zrychli, samozrejme mam ose-
treny, aby nezrychlily framy, ale pointy ano]

Note!

Note!

Note!

Note!

Literatura

1. MAROTO, Marcos; CAÑO, Enrique; GONZÁLEZ, Pavel; VILLEGAS, Diego. Head-up Displays (HUD) in driving. *arXiv preprint arXiv:1803.08383* [online]. 2018 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.08383>.
2. EASTMAN, Jay. Brief history of barcode scanning. In: *OSA Century of Optics* [online]. Optical Society, 2015, s. 128–133 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://opg.optica.org/books/download.cfm?product=11&v=128>.
3. QUAN, Haoyuan; ZHANG, Ting; XU, Hang; LUO, Shen; NIE, Jun; ZHU, Xiaoqun. Photo-curing 3D printing technique and its challenges. *Bioactive Materials* [online]. 2020, roč. 5, č. 1, s. 110–115 [cit. 2024-01-28]. ISSN 2452-199X. Dostupné z DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2019.12.003>.
4. EDL, MMTJ; MIZERÁK, Marek; TROJAN, Jozef. 3D laser scanners: history and applications. *Acta Simulatio* [online]. 2018, roč. 4, č. 4, s. 1–5 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201403279>.
5. PFEIFER, Norbert; BRIESE, Christian. Laser scanning—principles and applications. In: *Geosiberia 2007-international exhibition and scientific congress*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2007, cp–59.

6. MARSHALL, Gerald F; STUTZ, Glenn E. *Handbook of optical and laser scanning* [online]. Taylor & Francis, 2012 [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: <https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/41669/9781439808801.pdf?sequence=1>.
7. BEN MAKES EVERYTHING. *DIY Laser Projector - Built from an old hard drive* [online]. [cit. 2024-01-28]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=u9TpJ-_hBR8. Zdroj obrázku 1.3.
8. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary* [online]. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=313-01-02>.
9. WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Galvanometer* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia* [online]. 2023. [cit. 2024-01-31]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Galvanometer&oldid=1171003585>.
10. FERROVIAL. *What is a galvanometer?* [online]. [cit. 2023-11-29]. Dostupné z: <https://www.ferrovial.com/en/stem/galvanometer>.
11. LASERFX. *How Laser Shows Work - Scanning System* [online]. [cit. 2023-10-19]. Dostupné z: <http://www.laserfx.com/Works/Works3S.html>.
12. AYLWARD, Redmond P. Advanced galvanometer-based optical scanner design. *Sensor Review*. Zář 2003, roč. 23, č. 3, s. 216–222. Dostupné z DOI: [10.1108/02602280310481968](https://doi.org/10.1108/02602280310481968).
13. WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. *Mirror galvanometer* [online]. [cit. 2023-10-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mirror_galvanometer&oldid=1170954323.
14. INTERNATIONAL LASER DISPLAY ASSOCIATION. *The ILDA Standard Projector* [online]. 1999, s. 11, 28 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: https://www.ilda.com/resources/StandardsDocs/ILDA_ISP99_rev002.pdf.

15. INSTRUCTABLES, DELTAFLO. *Arduino Laser Show With Real Galvos* [online]. [cit. 2024-01-22]. Dostupné z: <https://www.instructables.com/Arduino-Laser-Show-With-Real-Galvos>.
16. MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MCP4821/MCP4822 12-Bit DACs with Internal VREF and SPI™ Interface Datasheet [online]. 2005 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21953a.pdf>.
17. TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier Datasheet [online]. 2013 [cit. 2024-01-24]. Dostupné z: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl082-n.pdf?ts=1706076567444&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F.
18. PŘÍSPĚVATELÉ WIKIPEDIE. *Interpret (software)* — *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. 2021. Dostupné také z: [\url{https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Interpret_\(software\)&oldid=19846734}](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Interpret_(software)&oldid=19846734). [Online; navštíveno 3. 02. 2024].
19. PŘÍSPĚVATELÉ WIKIPEDIE. *Serial Peripheral Interface* — *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. 2022. Dostupné také z: [\url{https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Serial_Peripheral_Interface&oldid=21053330}](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Serial_Peripheral_Interface&oldid=21053330). [Online; navštíveno 3. 02. 2024].

Seznam obrázků

1.1	mechanika polygonových skenerů	13
1.2	úhlová rozdílnost zrcátek polygonového skeneru a paprsky od nich odražené	13
1.3	příklad projekce laserového projektoru s polygonovým skene- rem; zdroj [7]	14
1.4	zapojení a vnitřní konstrukce galvanometrů	16
1.5	různé konstrukce galvanometrových skenerů	17
2.1	Zapojení DAC a zesilovačů k RPi a řídicí desce galvanometrů .	25
2.2	Zapojení čipu TL082 pro jeden kanál řídicí desky galvanometrů	26
3.1	komunikace mezi programy vstupním socketem na portu 5557	30
3.2	komunikace mezi programy výstupním socketem na portu 5556	30

Seznam tabulek