



Vyšší odborná škola
a Střední průmyslová škola elektrotechnická
Plzeň, Koterovská 85

DLOUHODOBÁ MATURITNÍ PRÁCE S OBHAJBOU

Téma:

Automatické balancování míče v nestabilní poloze

Autor práce:	Marek Vácal
Třída:	4.M
Vedoucí práce:	Ing. Pavel Jedlička
Dne:	31. března 2025
Hodnocení:	



Vyšší odborná škola
a Střední průmyslová škola elektrotechnická
Plzeň, Koterovská 85

Zadání dlouhodobé maturitní práce

Žák: Marek Vácal
Třída: 4. M
Studijní obor: 78-42-M/01 Technické lyceum

Zaměření: bez zaměření

Školní rok: 2024 - 2025

Téma práce: ***Automatické balancování míče v nestabilní poloze***

Pokyny k obsahu a rozsahu práce:

Cílem této práce je navrhnout a sestavit zařízení, které bude sloužit k demonstraci a praktickému ověření metod řízení. Zařízení se bude skládat z míčku posazeném v nestabilní poloze na podstavci ovládaném motůrkem. Poloha míčku bude snímána vhodnými senzory a pomocí těchto dat bude motůrek upravovat polohu míčku na podstavci.

1. Matematická teorie 31.10.
2. Vytváření návrhu a nákup součástek 28.11.
3. Skládání návrhu a softwaru 19.12.
4. Testování 30.1.
5. Dolaďování chyb 27.2.
6. Zpracování dokumentace 24.3.

Termín odevzdání: **31. března 2025**

Čas obhajoby: **15 minut**

Vedoucí práce: **Ing. Pavel Jedlička**

Projednáno v **katedře ODP** a schváleno ředitelem školy.

V Plzni dne: 30. září 2024

Mgr. Jan Syřínek
Zástupce ŘŠ, zástupce statutárního orgánu
Vedoucí organizace VOŠ, SŠ, DM

Anotace a poděkování

Jedná se o balancující zařízení, které pomocí chytře umístěné kamery a výpočetní techniky určí pozici balancovaného míčku v reálném čase. Podle jeho vychylování z požadované pozice se otáčí motor, který jej uvádí zpět do požadované polohy.

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a použil literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Prohlašuji, že jsem nástroje UI využil v souladu s principy akademické integrity a že na využití těchto nástrojů v práci vhodným způsobem odkazuji.

Souhlasím s využitím mé práce učiteli VOŠ a SPŠE Plzeň k výuce.

V Plzni dne 31. 3. 2025

Podpis:

Obsah

Úvod	6
1 Využité součástky	7
1.1 Raspberry Pi 5	7
1.2 Raspberry Pi Pico	8
1.3 Stepper motor	10
1.4 Step-down měnič LM2596	11
2 Model	12
2.1 Model balancovací plochy	13
2.2 Model stojanu	14
2.3 Model držáku kamery	14
3 Software	17
3.1 Počítačové vidění	17
3.2 PID regulace	18
3.3 Kontrola motoru	19
Závěr	20

Literatura

21

Přílohy

I

Úvod

Cílem této práce je navrhnout a realizovat systém pro automatické balancování míčku na ploše pomocí krokového motoru, řízeného mikrokontrolérem Raspberry Pi Pico. Projekt kombinuje prvky mechaniky, elektroniky a softwarového inženýrství s důrazem na přesné řízení pohybu a zpětnovazební regulaci v reálném čase. Celý systém je koncipován jako funkční model, který umožňuje vizuální sledování míčku pomocí kamery, jehož pozice je následně zpracována pomocí algoritmů počítačového vidění.

Tato data jsou využita k výpočtu potřebného natočení motoru prostřednictvím PID regulace, čímž se dosahuje udržení míčku ve stabilní pozici. Pro zajištění spolehlivého a bezpečného chodu zařízení jsou použity specializované elektronické komponenty, jako je step-down měnič LM2596 pro napěťovou stabilizaci a driver DRV8825 pro přesné ovládání krokového motoru.

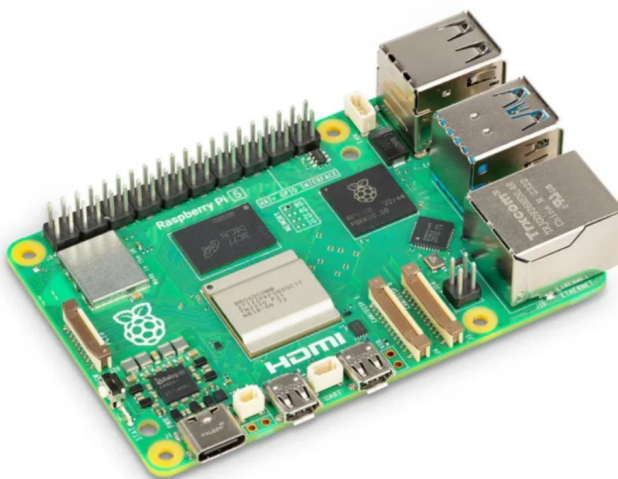
Součástí práce je také návrh mechanické konstrukce, která zahrnuje držák míčku, stojan a kamerový systém. Všechny části byly vytvořeny s ohledem na snadnou montáž, efektivní rozvržení komponent a optimální funkčnost. Výsledný model slouží nejen jako praktická demonstrace řízení v uzavřené smyčce, ale i jako základ pro další vývoj v oblasti řídicích systémů.

1 Využité součástky

Pro tuto práci bylo nezbytné použít dosti výkonnou výpočetní techniku, která zvládne analyzovat a zpracovávat obdržená data v reálném čase a posílat je dále do ovládacího systému. Ten má za úkol precizně ovládat vyvažující zařízení pro správné vybalancování požadovaného objektu.

1.1 Raspberry Pi 5

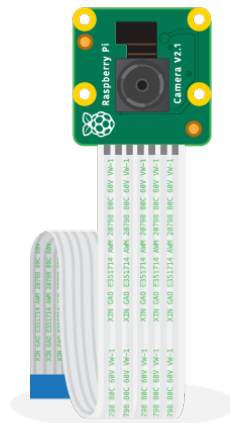
Raspberry Pi 5 je hlavní výpočetní síla celého systému. Má za úkol přijmout data z připojené kamery a pomocí zabudovaného Hailo AI čipu najít a určit střed balancovaného míčku. Pomocí znalosti středu špulky, na které daný míček balancuje a znalosti středu míčku, může určit výchylku ve stupních od požadované pozice. Získanou odchylku zpracuje pomocí PID regulace a výslednou hodnotu pošle do Raspberry Pi Pico, které má na starosti ovládání motoru. [2]



Obrázek 1.1: Raspberry Pi 5

1.1.1 Raspberry Pi Camera 2

Kamera je zapojena do Raspberry Pi 5 a má za úkol shromažďovat vizuální data pro určení pozice míčku pomocí Hailo AI čipu. Je umístěna na vrchu modelu v dostatečné vzdálenosti od balancovací špulky, aby měla plný výhled na část potřebnou pro správné určení pozice balancovaného předmětu.



Obrázek 1.2: Raspberry Pi Camera 2

1.1.2 Hailo AI chip

AI čip připojený přímo k Raspberry Pi 5 bere data obdržená od kamery a podle barvy najde používaný míček. Určí jeho střed, kterému dá souřadnice v předem určeném souřadnicovém systému. Rozdíl souřadnic od požadované polohy je využíván k určení vychýlení míčku. [6]

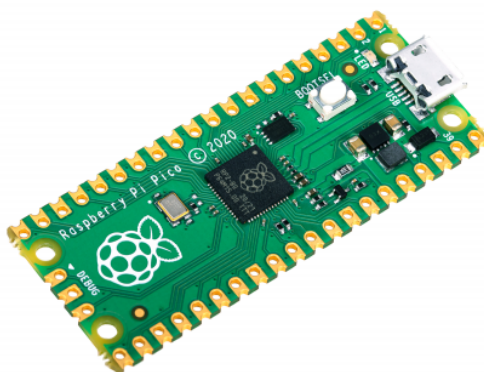
1.2 Raspberry Pi Pico

Z důvodu výpočtů prováděné Raspberry Pi 5, které by mohly zapříčinit různé odchylky ve výkonu, je použito Raspberry Pi Pico, jakožto samostatná kontrolní jednotka. Má za



Obrázek 1.3: Hailo AI chip

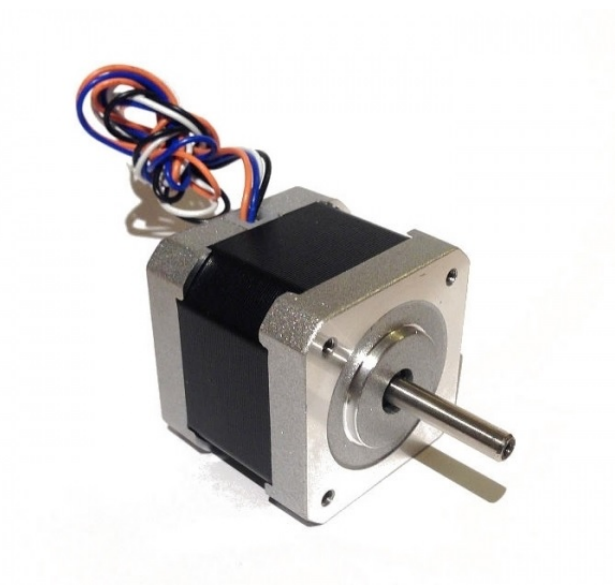
úkol ovládat termoregulační systém, jako ochrana proti přehřátí a zároveň je napojeno na DRV8825 stepper motor driver, který ovládá motor. Přidáním další kontrolní jednotky se zvětšuje velikost odezvy od reálné pozice míčku, ale zato bude zaručeno přesné ovládání motoru bez nepředvídatelných výkyvů systému. [1]



Obrázek 1.4: Raspberry Pi Pico

1.3 Stepper motor

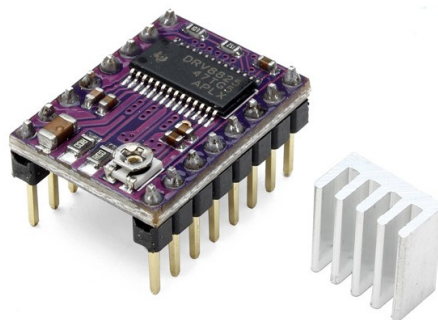
Stepper motor je velmi přesný a tím pádem vhodný pro precizní pozicování s počtem 200 možných kroků po celé rotační ose 360° . S využitím vhodného driveru je možné otáčet osu motoru nikoliv po jednotlivých krocích $1,8^\circ$, ale i po $1/2$ až po $1/32$ kroku. To umožňuje, aby byl motor schopen se ještě přesněji otočit do požadované polohy.



Obrázek 1.5: Stepper motor

1.3.1 DRV8825

DRV8825 je driver pro krokové motory, který slouží k jejich přesnému ovládání. Funguje jako nezbytný mezičlánek mezi Raspberry Pi Pico, a samotným motorem. Díky podpoře mikrokrokování umožňuje plynulý a přesný pohyb motoru. Zároveň je vybaven ochranou proti přehřátí a zkratu, čímž zajišťuje bezpečný a spolehlivý provoz. [4]



Obrázek 1.6: DRV8825

1.4 Step-down měnič LM2596

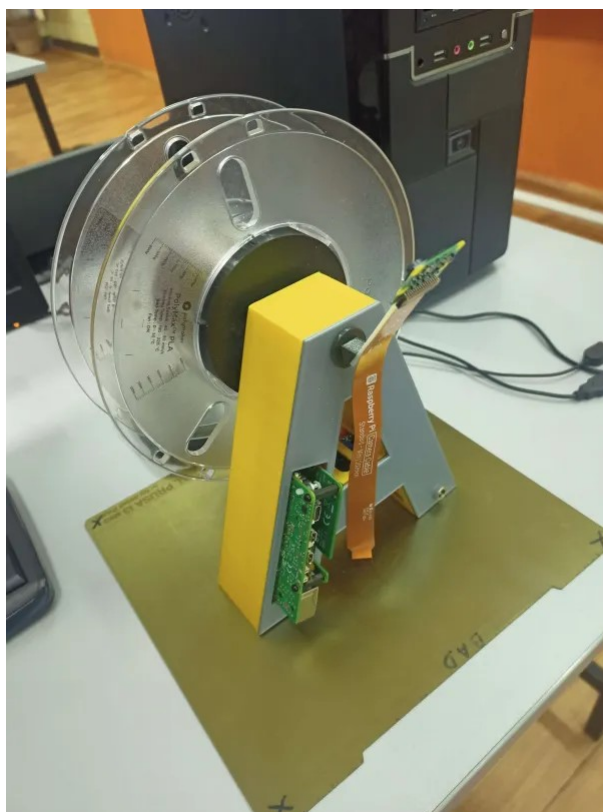
Celý systém je napájen pouze jedním napájecím zdrojem, ale různé části elektrického obvodu vyžadují rozdílnou velikost napětí. LM2596 slouží k snižování vstupního napětí na požadovaných 5 Voltů pro většinu užitých součástek.



Obrázek 1.7: LM2596

2 Model

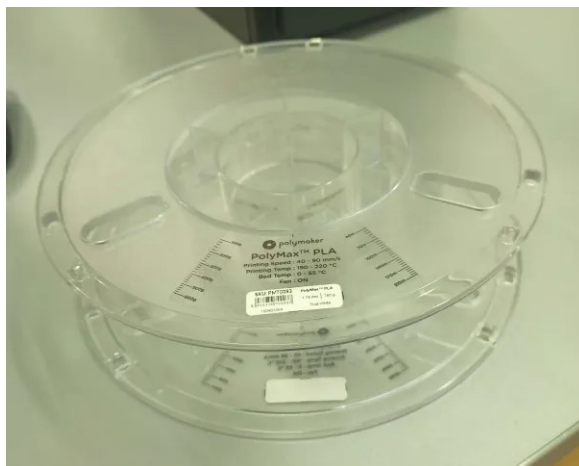
Model byl inspirován držákem tiskové struny pro 3D tisk od společnost AURAPOL, který má tvar písmene A. Ten ovšem nevypadá identicky a jsou na něm některé zásadní změny viz obr. 2.1. První viditelnou změnou je absence podpurných prodloužení nožiček, které by výrazně komplikovaly tisk samotného modelu a jejich funkce je nahrazena magnety a podpurnou kovovou podložkou. Další odlišnou funkcí je zakrytí součástek a držení kamery, které u držáku od firmy AURAPOL není třeba.



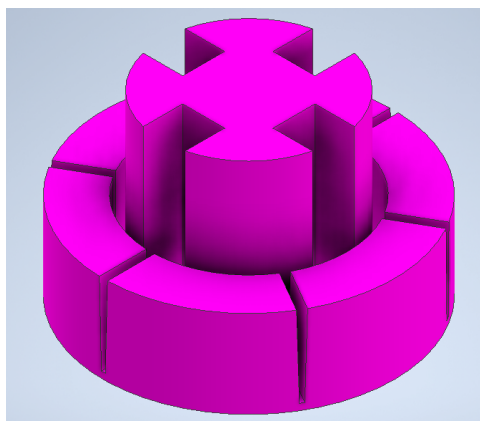
Obrázek 2.1: Celý model

2.1 Model balancovací plochy

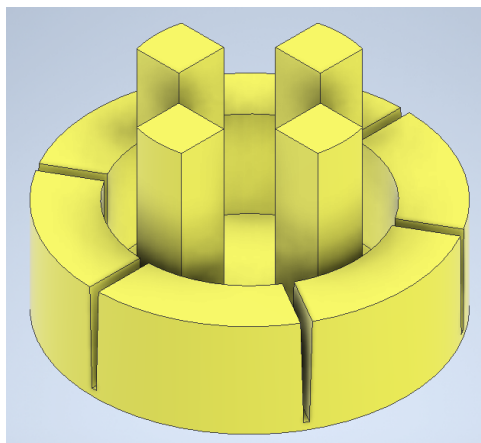
Model slouží nejen jako stojan, ale i jako spojka mezi motorem a špulkou na 3D tisk viz obr. 2.2, která udržuje míček jen v jedné ose pohybu a výrazně tak zlehčuje jeho koordinaci. Špulku drží dva na sebe nacvaknuté díly viz obr. 2.3 a obr. 2.4, které se ještě nasunou na motor a umožní tak přenos pohybu z motoru.



Obrázek 2.2: Špule



Obrázek 2.3: Držák špule 1



Obrázek 2.4: Držák špule 2

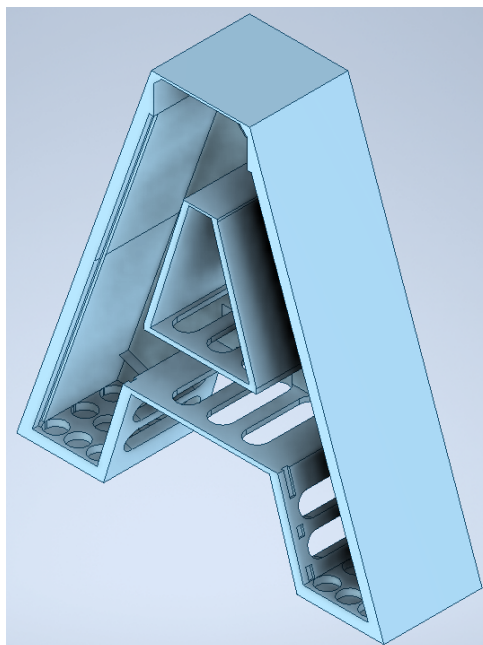
2.2 Model stojanu

Model stojanu se skládá ze dvou, na sebe nacvaknutých částí. První je samotný stojan viz obr. 2.5, který je navržen tak, aby se v něm nacházely úchyty na všechny používané součástky s rozmístěním pro co nejefektivnější využití prostoru. Ve stojanu se nacházejí i větrací otvory, které umožní chladnějšímu vzduchu zvenčí se dostat k součástkám vyžadujících chlazení. Model není schopen stát sám o sobě, a proto jsou na spodu nožiček připravené zdířky pro neodimové magnety a celý model je připevněn k podpůrné kovové podložce, které jej drží ve vzpřímené poloze.

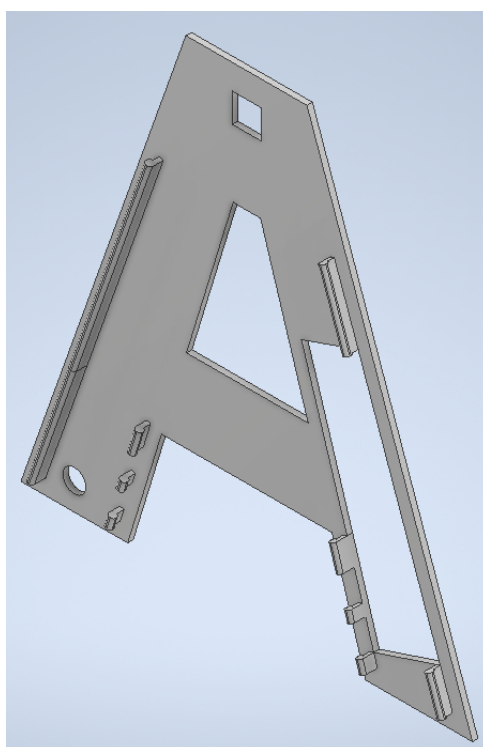
Druhá část stojanu je krytka viz obr. 2.6. Ta má za úkol schovat vnitřek stojanu, tím, že se na něj nacvakne. To ale není možné u větších součástek, jako Raspberry Pi 5. Pro to se v krytce nachází dostatečně velká díra a Raspberry Pi 5 kouká ven. Toto je ale využito při napojení kamery, která se tam může snadno připevnit na požadované místo pro správné pozorování míčku. V krytce se dále nacházejí dva menší otvory. Jeden pro female Jack napájení a druhý pro připojení držáku kamery.

2.3 Model držáku kamery

Držák kamery je v celku jednoduchý. První část viz obr. 2.7 se nacvakne na čtvercový otvor v krytce stojanu a druhá část viz obr. 2.8 se na něj přilepí. Následně se kamera

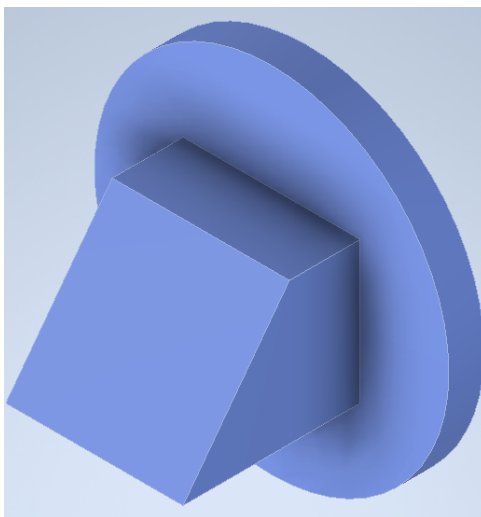


Obrázek 2.5: Stojan

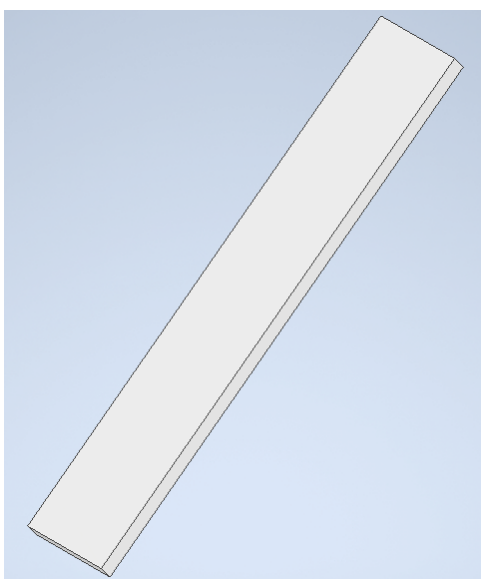


Obrázek 2.6: Krytka

přípevní na konec držáku. Zvláštní úhel, pod kterým je kamera natočená dává možnost pozorovat pozici míčku bez toho, aby se kamera musela dávat do příliš velké vzdálenosti od balanční špulky.



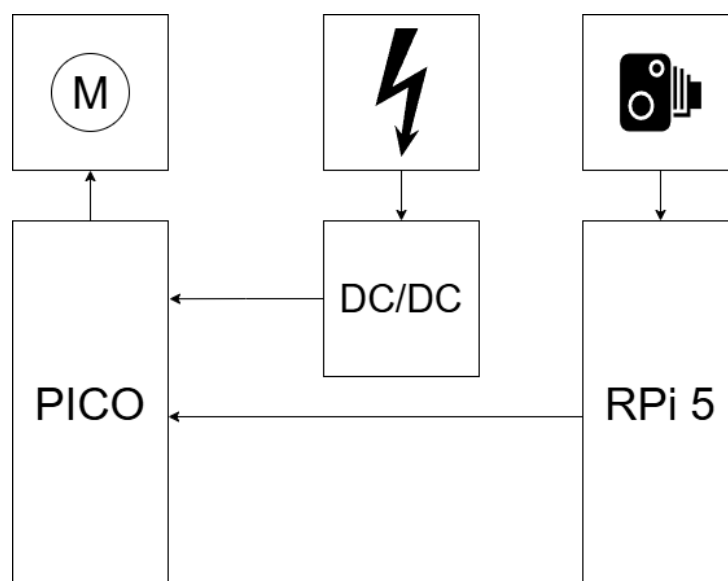
Obrázek 2.7: Držák kamery 1



Obrázek 2.8: Držák kamery 2

3 Software

Software přenáší data z kamery, zpracovává je a následně je používá k přesnému otáčení motorem v reálném čase. Skládá se z několika částí. První částí je obraz branný z kamery, který se zpracuje a následně se data převedou na rychlost a velikost otočení motoru.



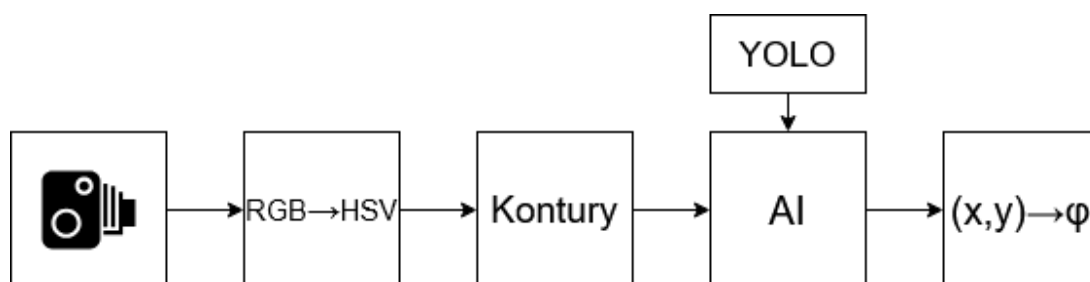
Obrázek 3.1: Blokové schéma obvodu

3.1 Počítačové vidění

Počítačové vidění obdrží video data z kamery a pomocí AI modelu YOLO je schopno podle předem určené barvy najít míček ve videu a určí i jeho pozici v kartézské mapě souřadnic viz obr. 3.2.



Obrázek 3.2: Ukázka dat z kamery



Obrázek 3.3: Blokové schéma kamery

3.2 PID regulace

PID regulace je metoda řízení, která umožňuje přesné a stabilní dosažení požadované hodnoty výstupu – například pozice míčku na balanční ploše. Regulátor se skládá ze tří složek: proporcionální (P), integrační (I) a derivační (D). Společně tyto tři složky umožňují systému plynule, přesně a bez výrazných překmitů dosáhnout a udržet cílovou pozici míčku. [5]

3.2.1 Proporciální

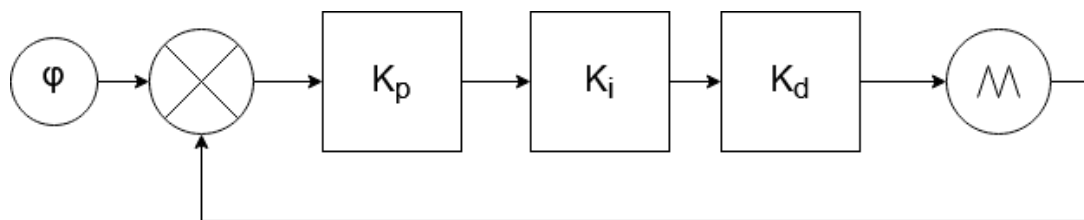
Proporcionální složka reaguje přímo úměrně na aktuální chybu, čímž zajišťuje rychlou reakci systému.

3.2.2 Integrační

Integrační složka sčítá chybu v čase a pomáhá odstranit dlouhodobou odchylku od požadované hodnoty.

3.2.3 Derivační

Derivační složka reaguje na změnu chyby a pomáhá tlumit výkyvy a zvyšovat stabilitu.



Obrázek 3.4: Blokové schéma PID regulace

3.3 Kontrola motoru

Kontrola motoru se odehrává v Raspberry Pi Pico, které obdrží již zpracovaná data od Raspberry Pi 5. Ta jsou již připravena na převedení do kroků pro stepper motor. Raspberry Pi Pico je zde mezikrok, jehož spolehlivost není ovlivněna zpracováváním dat z kamery.

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat funkční model systému, který pomocí krokového motoru a počítačového vidění dokáže v reálném čase balancovat míček v jedné ose. Někde však nastává chyba. Je možné několik možných míst, kde se může něco pokazit. První možnost je samotná kamera a počítačové vidění, které nemusí se stoprocentní přesností určit střed míčku a tím tak dává do systému chybná data. Další možností je zpoždění mezi získáním video dat, zpracováním a převedením na kroky motor, které není PID regulátor dostatečně předvídat budoucí pohyb míčku a podle toho upravovat otočky motoru.

V závěru bych rád poděkoval svému učiteli kybernetiky, Jirkovi Švihlovi, za jeho cennou pomoc, podporu a trpělivost při realizaci této práce. I když se finální výsledek projektu ukázal jako nefunkční, získal jsem díky jeho vedení hlubší pochopení problematiky regulace, mikrokontrolerů a zpracování obrazu. Jeho ochota konzultovat jednotlivé kroky a navrhovat řešení mi velmi pomohla nejen při technické realizaci, ale i při samotném pochopení teorie a tato zkušenost pro mě byla přínosná a inspirující.

Literatura

- [1] PICO Pinout. *PICO pinout nástroj – rozložení pinů Raspberry Pi Pico* [online]. [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: https://pico-pinout-xyz.translate.goog/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=cs&_x_tr_hl=cs&_x_tr_pto=sc
- [2] PINOUT.xyz. *GPIO 25 (pin 22)* [online]. [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: https://pinout.xyz/pinout/pin22_gpio25/
- [3] KiCad Project. *Getting Started in KiCad* [online]. [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: https://docs.kicad.org/8.0/en/getting_started_in_kicad/getting_started_in_kicad.html
- [4] Controlling DRV8825. *Control Stepper Motor with DRV8825 Driver & Raspberry Pi Pico* [online]. How2Electronics.com, 2025-01-24 [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: <https://how2electronics.com/control-stepper-motor-with-drv8825-raspberry-pi-pico/>
- [5] WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie. *PID regulátor* [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie, poslední úprava 3. dubna 2024 [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/PID_regul%C3%A1tor
- [6] KUNDU, Rohit. *YOLO: Algorithm for Object Detection Explained [+Examples]* [online]. V7 Labs, 17. ledna 2023 [cit. 2025-04-10]. Dostupné z: <https://www.v7labs.com/blog/yolo-object-detection>

Přílohy

1. Držák špule 1
2. Držák špule 2
3. Stojan
4. Krytka na stojan
5. Držák kamery 1.část
6. Držák kamery 2.část
7. Schéma zapojení

Seznam obrázků

1.1	Raspberry Pi 5	7
1.2	Raspberry Pi Camera 2	8
1.3	Hailo AI chip	9
1.4	Raspberry Pi Pico	9
1.5	Stepper motor	10
1.6	DRV8825	11
1.7	LM2596	11
2.1	Celý model	12
2.2	Špule	13
2.3	Držák špule 1	13
2.4	Držák špule 2	14
2.5	Stojan	15
2.6	Krytka	15
2.7	Držák kamery 1	16
2.8	Držák kamery 2	16
3.1	Blokové schéma obvodu	17

3.2	Ukázka dat z kamery	18
3.3	Blokové schéma kamery	18
3.4	Blokové schéma PID regulace	19