

Robotická ruka na platformě Arduino

Tomáš Makyča

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tomáš Makyča**
Osobní číslo: **A19779**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Robotická ruka na platformě Arduino**
Téma práce anglicky: **Robotic Arm on Arduino Platform**

Zásady pro vypracování

1. Prostudujte možné kinematické struktury, včetně stupňů volnosti, vhodné pro Vaše účely.
2. Navrhněte vlastní verzi robotické ruky, který zajistí požadované chování systému.
3. Vyberte vhodné akční členy, řídicí jednotku a rozšiřující periferie.
4. Realizujte Vámi navržené řešení a implementujte řídicí program.
5. Naprogramujte mobilní aplikaci, pomocí které budete ovládat robotickou ruku.
6. Provedte základní funkční testy a vyhodnoťte chování systému.
7. Určete základní technické parametry navrženého robotického systému.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1522-0.
2. BARR, Michael a Anthony J. MASSA. Programming embedded systems: with C and GNU development tools. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2006. ISBN 9780596009830.
3. CATSOULIS, John. Designing embedded hardware. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2005. ISBN 9780596007553.
4. PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 8073001101.
5. HRBÁČEK, Jiří. Komunikace mikrokontroléru s okolím. Praha: BEN – technická literatura, 1999. ISBN 9788086056425.
6. PAGÁČ, Marek. Učebnice SolidWorks. V Brně: Vydavatelství Nová média, [2020]. ISBN 978-80-270-8730-3.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Zátopek**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 15. ledna 2022

Jméno, příjmení: Tomáš Makyča

Název bakalářské práce: Robotická ruka na platformě Arduino

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

14. 5. 2022

Tomáš Makyča v. r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem této práce je navrhnout a sestavit funkční prototyp robotické ruky řízené mikropočítačem a vytvořit k ní mobilní aplikaci pro její dálkové ovládání. Pohyb všech částí je řešen jednotlivými servomotory, které jsou mezi sebou propojeny navrženými a vytisknutými rameny pomocí technologie 3D tisku. Robotická ruka je dále osazena Bluetooth přijímačem pro možnost dálkového ovládání. Hlavní funkcí této robotické ruky je možnost dálkového naprogramování sekvence pohybů, která může být následně opakovaně vykonávána. Ukázkou této funkce je pak závěrečná demonstrace, při které bude robotická ruka vykonávat například skládání kostek na sebe. Náplní této práce je popis návrhu, konstrukce a samotná realizace prototypu včetně programování řídicího mikropočítače a mobilní aplikace.

Klíčová slova: Arduino, robot, mikropočítač, manipulátor

ABSTRACT

The aim of this work is to design and assemble a functional prototype of a robotic arm controlled by a microcomputer and to create a mobile application for its remote control. The movement of all parts is solved by individual servomotors, which are interconnected by designed and printed arms using 3D printing technology. The robotic arm is also equipped with a Bluetooth receiver for remote control. The main function of this robotic arm is the possibility of remote programming of a sequence of movements, which can then be performed repeatedly. An example of this function is the final demonstration, in which the robotic arm will perform, for example, stacking cubes. The scope of this work is a description of the design, construction and implementation of the prototype, including programming of the control microcomputer and mobile application.

Keywords: Arduino, robot, microcontroller, manipulator

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Zátopkovi za cenné rady a připomínky, které mi dával během konzultací. Dále bych poděkoval své přítelkyni a rodičům za podporu a motivaci.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

„Proti hlouposti se bojovat musí, ale vyhrát se nedá!“

Jan Werich

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY	11
1.1 DĚLENÍ.....	11
1.2 KONSTRUKCE.....	12
1.2.1 Kinematické struktury.....	12
1.2.2 Druhy koncových efektorů.....	15
1.3 VYUŽITÍ	16
2 MIKROPOČÍTAČ.....	17
2.1 ZAPOJENÍ POČÍTAČE	17
2.2 PLATFORMA ARDUINO	17
2.2.1 Model Arduino Uno	18
2.2.2 Arduino IDE.....	19
3 ELEKTROMOTORY.....	20
3.1 STEJNOSMĚRNÉ ELEKTROMOTORY	20
3.2 STŘÍDAVÉ ELEKTROMOTORY.....	21
3.2.1 Synchronní	21
3.2.2 Asynchronní	23
4 SERVOMOTORY.....	25
5 PŘEVODOVKY U PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ	27
5.1 VLASTNOSTI PŘEVODŮ PRO PRŮMYSLOVÉ ROBOTY	27
5.1.1 Planetová převodovka	28
5.1.2 Harmonická převodovka	29
5.1.3 Cykloidní převodovka.....	30
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	31
6 KONSTRUKCE ROBOTICKÉ RUKY	32
6.1 ZVOLENÍ KOMPONENT	34
6.1.1 Výpočty akčních členů.....	34
6.1.2 Vybrané komponenty	36
6.2 DESIGN.....	37
6.2.1 Výsledný 3D model.....	37
6.3 3D TISK	38
6.4 SESTAVENÍ	39
6.4.1 Konstrukce	39
6.4.2 Zapojení komponent.....	40
6.4.3 Popis komponent.....	42

7 PROGRAMOVÁ ČÁST ROBOTICKÉ RUKY	43
7.1 VÝVOJOVÝ DIAGRAM	43
7.2 POPIS FUNKCÍ	44
8 MOBILNÍ APLIKACE	45
8.1 POPIS UI MOBILNÍ APLIKACE	46
9 TESTOVÁNÍ	48
9.1 OPAKOVANÁ ODCHYLKA.....	48
9.2 ÚLOHA SKLÁDÁNÍ KOSTEK	51
ZÁVĚR	52
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	53
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	56
SEZNAM OBRÁZKŮ	57
SEZNAM TABULEK	58
SEZNAM PŘÍLOH	59

ÚVOD

Průmyslové roboty čím dál více vidíme v sériových výrobcích, a to jak v automobilovém průmyslu, tak ve firmách pro skládání materiálů, nebo montáž jednotlivých dílů a komponent. S nástupem Průmyslu 4.0 se tyto zařízení zdokonalují a využívají se skoro v každé větší firmě, kde je potřebná automatizace a kde se klade důraz na konzistenci.

Bakalářská práce se zabývá tím, jak takový průmyslový robot funguje a následně popíše, jak vytvořit zjednodušený, ale funkční model robotické ruky.

Teoretická část zahrnuje úvod do průmyslových robotů, jejich dělení, struktury a využití v reálném světě. Dále popisuje, jak funguje průmyslový robot, jeho hlavní prvky jako jsou pohony, převodovky a druhy koncových efektorů. Kromě toho práce popisuje komponenty jako jsou servomotory a mikrokontrolér Arduino, které jsem zvolil pro svůj prototyp robotické ruky.

V praktické části je popsán návrh robotické ruky, vytvoření 3D modelu, proces 3D tisku a programování software pro mikropočítač v jazyce C++. Robotická ruka bude řízena aplikací v mobilním zařízení skrze Bluetooth komunikaci. Dále je zde popis zapojení jednotlivých modulů včetně mikropočítače, přijímače, zdroje napájecího napětí a připojení jednotlivých servomotorů. V poslední kapitole praktické části je test tohoto robotu, kde splňuje jednotlivé úlohy jako je přemísťování objektů, preciznost a schopnost zapamatovat si jednotlivé kroky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY

1.1 Dělení

Manipulátory typu robotů můžeme dělit podle několika různých kritérií – kinematické struktury, počtu stupňů volnosti, použitých pohonů, pohybových charakteristik, způsobu programování a řízení, geometrie pracovního prostoru, aj. [14]

Klasifikace robotů podle:

Kinematické struktury

- Sériové roboty – mají otevřený kinematický řetězec manipulátoru (open-loop chain).
- Paralelní roboty – mají uzavřený kinematický řetězec manipulátoru (closed-loop chain).
- Hybridní roboty – kombinují oba předešlé typy řetězců.

Počtu stupňů volnosti

- Redundantní robot – mají 6 a více stupňů volnosti, toho využívají pro obcházení překážek, nebo pro pohybu v úzkém prostoru.
- Univerzální robot – mají 6 stupňů volnosti, jednoznačně vymezující v kartézském souřadném systému polohy.
- Deficitní robot – mají méně než 6 stupňů volnosti, to bývají například Scara roboty se 3-4 stupni volnosti.

Druhu pohonů

- Elektrické pohony
- Hydraulické pohony
- Pneumatické pohony

Vykonávání činnosti

- Průmyslové roboty – činnosti spojené s výrobou různých produktů
- Servisní roboty – obslužné činnosti buď v humánní (domácí práce, zdravotnictví, aj.) nebo v průmyslu a službách (údržba, stavebnictví, aj.)

1.2 Konstrukce

1.2.1 Kinematické struktury

Struktura

Ve své nejobecnější podobě se sériový robot skládá z řady pevných článků spojených klouby. Úvahy o jednoduchosti ve výrobě a řízení vedly k robotům s pouze otočnými nebo prizmatickými klouby a ortogonálními, paralelními anebo protínajícími se osami kloubů (namísto libovolně umístěných os kloubů). [10]

Donald L. Pieper odvodil první prakticky relevantní výsledek v této souvislosti, označovaný jako 321 kinematická struktura: „Inverzní kinematiku sériových manipulátorů se šesti rotačními klouby a se třemi po sobě jdoucími klouby protínajícími se lze řešit v uzavřené formě, tj. analyticky“. Tento výsledek měl obrovský vliv na konstrukci průmyslových robotů. [10]

Kinematika

Poloha a orientace koncového efektoru robota jsou odvozeny z poloh kloubů pomocí geometrického modelu ramene robota. U sériových robotů je mapování z pozic kloubu do pozice koncového efektoru snadné, inverzní mapování je obtížnější. Většina průmyslových robotů má proto speciální konstrukce, které snižují složitost inverzního mapování. [11]

321 kinematická struktura

Kinematická struktura 321 je kinematickou strukturou robota, kterou má většina komerčních sériových manipulátorů. Inverzní kinematiku sériových manipulátorů se šesti otočnými klouby a se třemi po sobě jdoucími klouby protínajícími lze řešit v uzavřené formě, tedy analyticky. Konstrukce 321 je příkladem 6R děleného manipulátoru na zápěstí: tři zápěstní klouby se protínají, dva ramenní a loketní klouby jsou paralelní, první kloub ortogonálně protíná první ramenní kloub. [10]

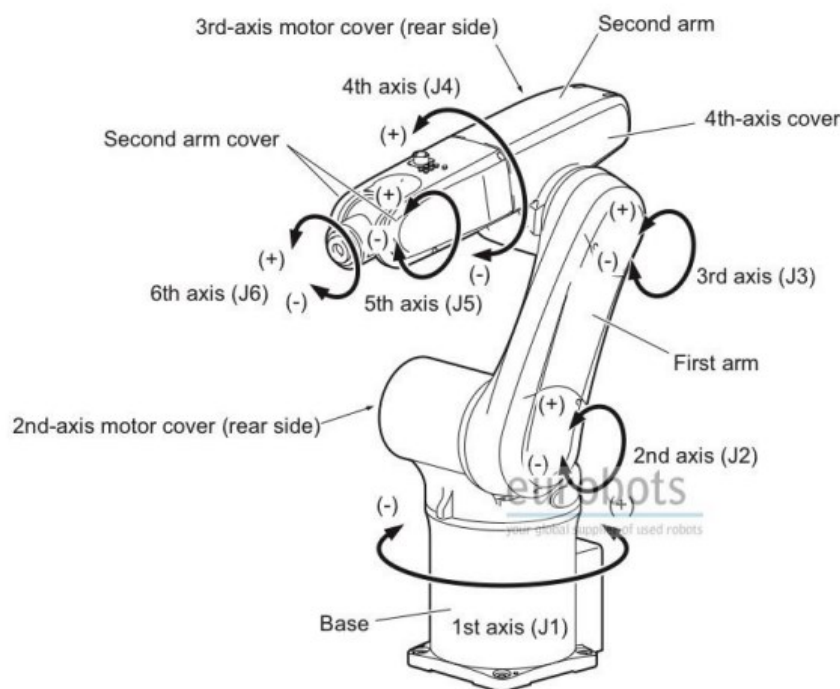
Sériový manipulátor

Sériové manipulátory jsou zdaleka nejběžnějšími průmyslovými roboty. Často mají antropomorfní strukturu mechanického ramene, tj. sériový řetězec tuhých článků, spojených (většinou otočnými) klouby, které tvoří „rameno“, „loket“ a „zápěstí“. Jejich hlavní výhodou je velká pracovní plocha vzhledem k vlastnímu objemu a zabrané podlahové ploše.

Jejich hlavní nevýhody jsou:

- nízká tuhost vlastní otevřené kinematické struktury
- chyby se hromadí a množí se z části na část
- skutečnost, že musí nést a přemísťovat velkou váhu většiny pohonů
- relativně nízké efektivní zatížení, se kterým mohou manipulovat

Z pohybu tuhého tělesa je známo, že umístění manipulovaného předmětu do libovolné polohy a orientace v pracovním prostoru robota vyžaduje alespoň šest stupňů volnosti. Mnoho sériových robotů má tedy šest kloubů. Nejoblíbenější aplikací pro sériové roboty v dnešním průmyslu je však montáž typu pick-and-place. Protože to vyžaduje pouze čtyři stupně volnosti, vyrábí se speciální montážní roboty tzv. typu SCARA. [20]

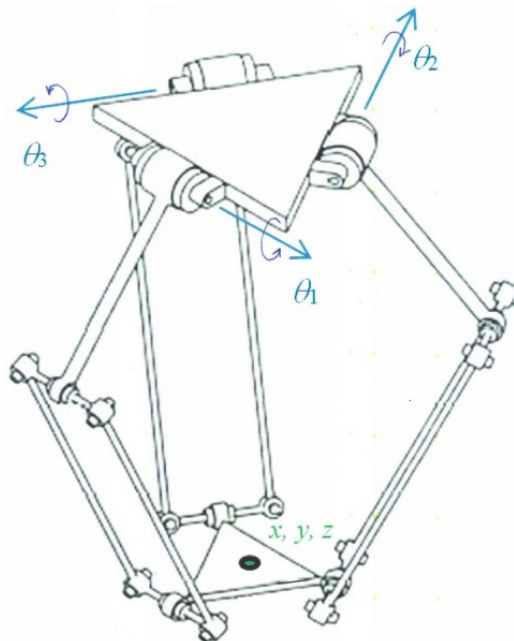


Obrázek 1: Sériový manipulátor [11]

Paralelní manipulátor

Paralelní manipulátor se skládá z pevné „základní“ plošiny, spojené s plošinou koncového efektoru pomocí řady „noh“. Tyto nohy se často skládají z ovládaného prizmatického kloubu, připojeného k plošinám prostřednictvím pasivních (tj. neovládaných) kulových nebo univerzálních kloubů. Články tedy pociťují pouze tah nebo stlačení, nikoli ohýbání, což zvyšuje jejich přesnost polohy a umožňuje lehčí konstrukci. Akční členy pro prizmatické klouby lze umístit do nehybné základní plošiny, takže jejich hmota se nemusí pohybovat, což opět odlehčuje konstrukci.

Paralelní manipulátory mají (v principu) vysokou konstrukční tuhost, protože koncový efektor je podepřen na několika místech současně. Všechny tyto vlastnosti vedou k manipulátorům s širokým rozsahem pohybu. Jejich velkou nevýhodou je omezený pracovní prostor, protože nohy mohou navzájem kolidovat, a navíc má každá noha pět pasivních kloubů, z nichž každý má své vlastní mechanické limity. Další nevýhodou paralelních robotů je, že úplně ztrácejí tuhost v singulárních polohách (robot získává konečné nebo nekonečné stupně volnosti, které jsou neovladatelné; stává se roztřeseným nebo pohyblivým). [10]



Obrázek 2: Paralelní manipulátor [12]

1.2.2 Druhy koncových efektorů

Koncový efektor je periferní zařízení, které se připojuje k zápěstí robota a umožňuje robotovi interagovat s jeho úkolem. Většina koncových efektorů je mechanických nebo elektromechanických a slouží jako chapadla, procesní nástroje nebo senzory. Jejich využití je od jednoduchých dvouprstých chapadel pro úkoly typu pick-and-place až po komplexní sensorové systémy pro robotickou kontrolu. Bez koncového efektoru je většina robotů prakticky nepoužitelná. Kloubové robotické rameno lze naprogramovat na konkrétní místo v jeho pracovním prostoru, ale bez koncového efektoru nemůže provádět žádnou operaci. [13]

Chapadla

Nejběžnějším koncovým efektem robota je chytač. Umožňuje robotu zvedat předměty a manipulovat s nimi, díky čemuž se nejlépe hodí pro úkoly, jako je zvedání a pokládání, montáž a obsluha strojů. Zdaleka nejčastěji vyskytující jsou chapadla prstová, která se vyrábějí se 2, 3, 4 nebo 5 prsty. Je možné použít 6 nebo více prstů, ale to nebývá moc časté. Dalšími konstrukčními typy chapadel jsou chapadla vakuová, magnetická a jehlová. [13]

Procesní nástroje

Zjednodušený způsob, jak přemýšlet o procesních nástrojích je například jako pracovník obsluhující elektrické nářadí. Zatímco chapadlo může obrobek pouze uchopit, procesní nástroj ve skutečnosti obrobek mění. Existuje tolik různých procesních nástrojů, kolik je různých operací ve výrobě. Příklady zahrnují robotické svařovací nástroje, robotické obráběcí nástroje, robotické lakovací nástroje, nástroje pro 3D tisk atd. [13]

Senzory

Lze také připojit senzor a používat robota jako programovatelné zařízení pro sběr dat. To je užitečné zejména pro aplikace, jako je robotická kontrola, která snižuje množství praktického času, který inspekční technici potřebují strávit sběrem dat. Mnoho senzorů může sloužit jako koncový efektor, včetně ultrazvukových senzorů, laserových skenerů, 2D a 3D kamer a infračervených senzorů. [13]

1.3 Využití

Existuje široká škála úkonů, které průmyslové roboty zvládnou kvalitně a efektivně vykonávat. Základní rozdělení činností u robotů jsou svařovací roboty, paletizační roboty, lakovací roboty a kolaborativní roboty.

Svařovací roboty

Tyto svařovací průmyslové roboty zaručují precizní a bezchybnou kvalitu svarů. Zvládnou i vysokorychlostní svařování, sváření elektrickým obloukem, laserové svařování, řezání i pájení. Hlavní výhodou těchto robotů je jejich bezpečnost. Vyžadují malou montážní plochu, zvyšují efektivitu výroby a snižují výrobní náklady. Tyto roboty jsou kompatibilní se všemi výrobci. [17]

Paletizační roboty

Pro tento typ práce se průmyslový robot velmi hodí, nahrazuje tak velmi náročnou a opakující se práci lidem. Nejvíce se tyto roboty používají v potravinářském odvětví, ale také se používá k manipulaci se stavebními prvky jako je sklo, sádrokarton, překližky atd. Výhodou taktéž bývá, že paletizační robot dokáže zvednout i několik palet najednou a uzvedne i několik tun. [17]

Lakovací roboty

Lakovací roboty se zejména používají v automobilovém průmyslu a ve stavebnictví. Díky nim je možné lakovat auta, nábytek, okenní rámy atd. se zvýšenou produktivitou a snížením nákladů. Další z výhod je snižování emisí, úspora barev a vysoká kvalita nátěru. V dnešní době je díky specializovaným softwarům obsluha těchto robotů jednoduchá. [17]

Kolaborativní roboty

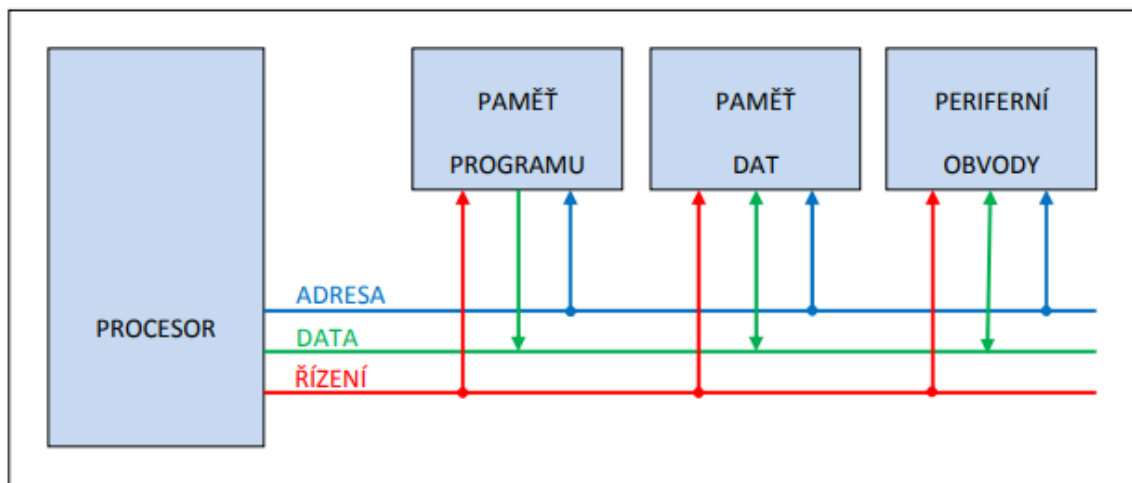
Kolaborativní neboli spolupracující roboty jsou potřeba tam, kde je potřeba provádět různé úkony s vysokou precizností. Z tohoto důvodu jsou používány při lepení, odměřování, míchání, svařování, šroubování, přemísťování atd. Tyto úkony dokážou opakovaně vykonávat bez přestávky a zároveň mají zachovanou stejnou přesnost vykonané práce. U těchto robotů je kladen velký důraz na bezpečí člověka, protože tento typ robota může pracovat vedle tohoto člověka bez jakékoliv bariéry nebo jiné ochrany. [17]

2 MIKROPOČÍTAČ

Mikropočítač je v podstatě miniaturní počítač, který je integrovaný do jednoho čipu. Je to integrovaný obvod obsahující procesor, paměť, časovače, komunikační rozhraní, A/D převodník a další periferní obvody. Periferní obvody může mít každý mikropočítač jiné, avšak vždy obsahuje vstupní a výstupní obvody umožňující komunikaci mikropočítače s okolím.

2.1 Zapojení počítače

Vzájemné propojení všech částí počítače je řešeno soustavou sběrnic (viz. obrázek 3). Sběrnice je skupina vodičů, které mají související funkci. Sběrnice umožňuje přenášet elektrické signály mezi jednotlivými částmi počítače, a tedy přenáší informace mezi jednotlivými součástmi počítače. Pomocí těchto sběrnic lze rozšířit počítač o další jednotky. Na sběrnici lze připojit pouze jeden zdroj posílaných dat. Toto řízení činnosti sběrnice je řešeno procesorem. [16]



Obrázek 3: Zjednodušené schéma počítače [18]

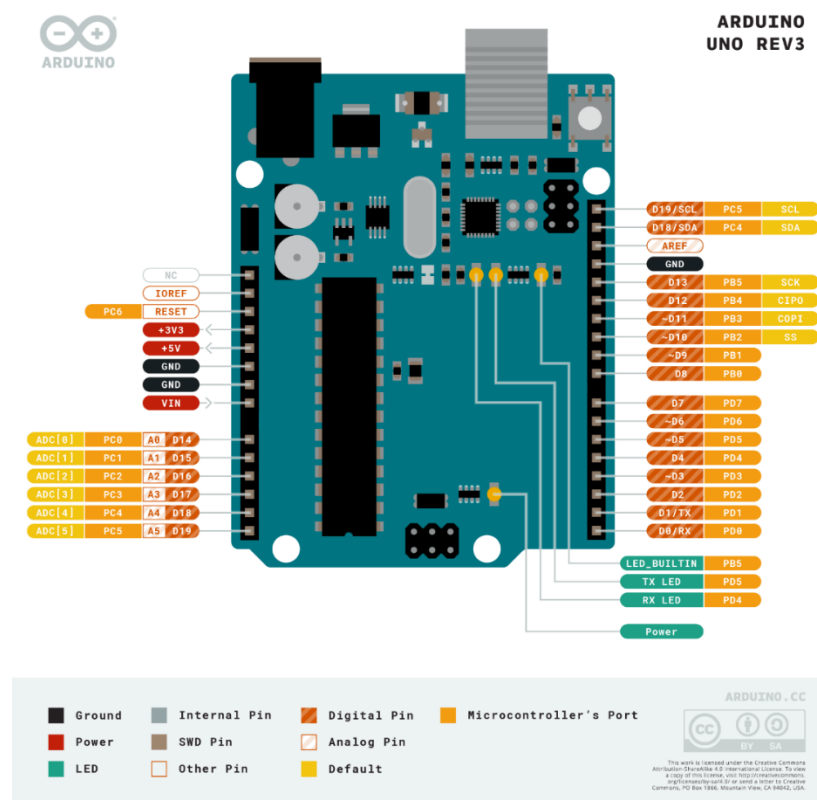
2.2 Platforma Arduino

Platforma Arduino je souhrn vývojové desky, vývojového prostředí (IDE) pro programování konkrétní desky a pomocných knihoven. Arduino je výrobce vývojových desek, poskytuje vlastní vývojové prostředí a knihovny pro usnadnění programování. Tyto vývojové desky jsou vybaveny digitálními a analogovými I/O piny. Některé digitální piny poskytují i PWM řízení. Vývojové desky Arduino jsou řízeny mikropočítačem značky Atmel.

Výhodou použití Arduina je v tom, že jsou volně dostupné celé řady open-source projektů, ze kterých je možno čerpat informace. Často jsou i na fórech probírány různé řešení problémů, které čtenáři výrazně ulehčí práci. Dále jsou dostupné různé knihovny pro ulehčení programování (například řízení digitálních servomotorů). Díky těmto knihovnám existují celé řady modulů, které se k Arduino dají připojit pomocí daných pinů. Jsou to například senzory, kamery, displeje, indikační diody, nebo rozšiřující desky (Shield), které poskytují řadu funkcí jako jsou drivery pro servomotory, čtečky SD karet, připojení Ethernet, Bluetooth modul, Wi-Fi modul atd. [8]

2.2.1 Model Arduino Uno

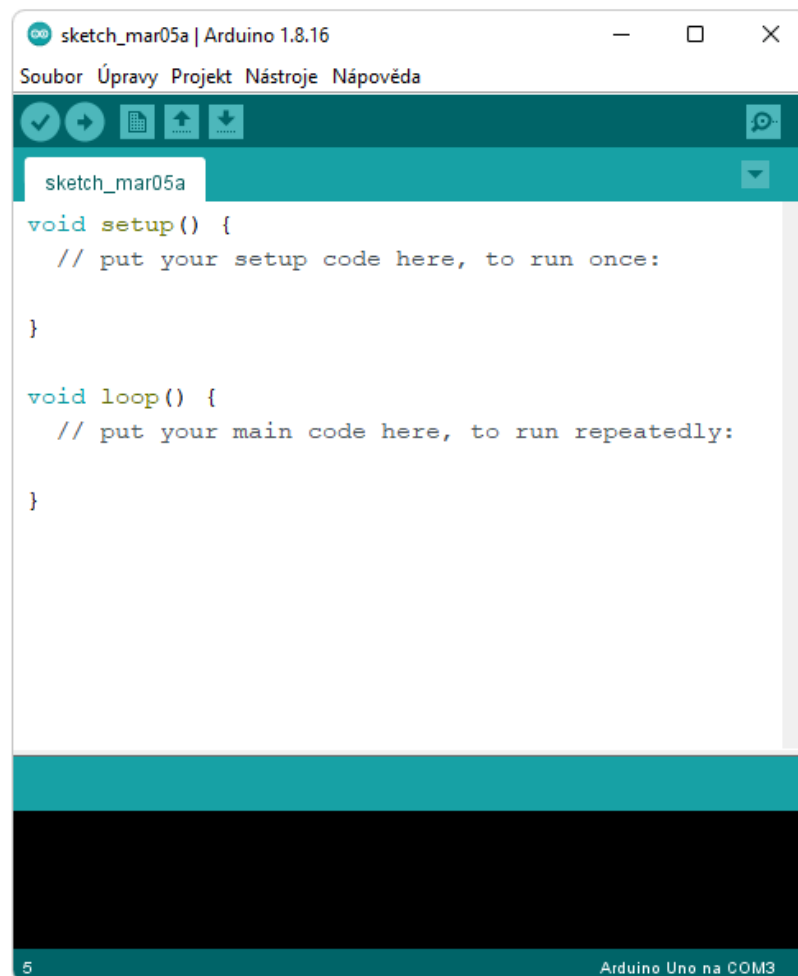
Arduino UNO je vývojová deska založená na procesoru ATmega328P. Obsahuje 14 digitálních vstupních/výstupních pinů (z toho 6 lze použít jako PWM výstupy), 6 analogových vstupů, 16 MHz keramický rezonátor, USB připojení, napájecí jack, ICSP header a resetovací tlačítko. [8]



Obrázek 4: Arduino Uno Rev-3 včetně označených pinů [8]

2.2.2 Arduino IDE

Vývojové prostředí Arduino umožňuje snadnou práci s programem, neboť stačí jen vybrat druh vývojové desky, port počítače, na kterém je mikropočítač připojen a pak už jen stačí náš program nahrát do Arduino stisknutím jednoho tlačítka. Dále si můžeme otevřít sériový monitor a číst aktuální data, to se hlavně hodí při debuggování. IDE je zobrazeno v obrázku níže.



Obrázek 5: Vývojové prostředí Arduino IDE

3 ELEKTROMOTORY

Elektromotory jsou stroje sloužící k přeměně elektrické energie na energii mechanickou. Elektromotory vytvářejí točivý moment vzájemným působením magnetického pole a elektrického proudu procházející cívkou.

Můžeme je dále dělit na 2 základní typy:

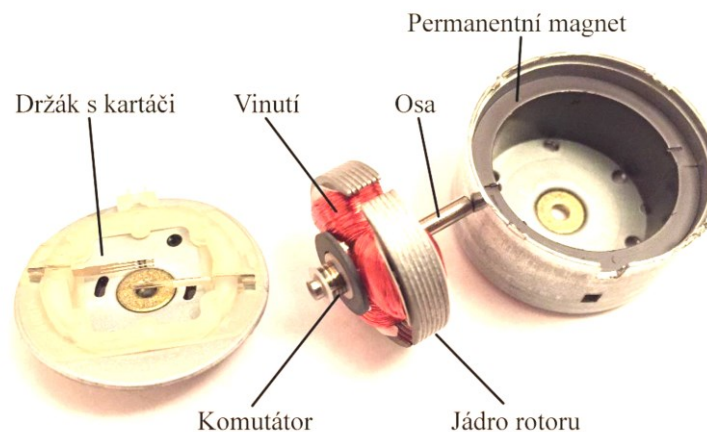
- Stejnosměrné
- Střídavé

3.1 Stejnosměrné elektromotory

Stejnosměrné motory mají širokou škálu využití od robotů po vrtačky. Jsou často používané pro jejich nízkou cenu, jednoduchou konstrukci a způsob řízení. Řízení je prováděno tak, že na svorky motoru se napojí napájecí napětí. Otáčky jsou přímo úměrné změně napájecího napětí, tudíž směr otáčení je závislý na polaritě napájecího napětí. Nežádoucí však mohou být příliš vysoké otáčky, které lze snížit instalací převodovky. [1]

Konstrukčně se stejnosměrné motory skládají ze 3 hlavních částí – stator, rotor, komutátor.

U stejnosměrných motorů je vinutí připevněno na rotoru a permanentní magnety na statoru. To znamená, že toto vinutí je potřeba napájet a zároveň dovolovat rotoru v rotaci. Tuto funkci řeší komutátor, o který se třou kartáče umístěné v pouzdře motoru. Komutátor svým rotačním pohybem překlápí napájecí napětí na cívkách. Tyto cívky tak mění svou polaritu a tím i své magnetické pole, což má za následek, že síla působící na póly rotoru má při rotaci v magnetickém poli stejný směr. [1].



Obrázek 6: Složení stejnosměrného motoru [1]

3.2 Střídavé elektromotory

3.2.1 Synchronní

Synchronní motor je přímo ovlivněn vstupní frekvencí a je tak snadné ho řídit. Základní princip funkce tohoto synchronního motoru je stanoven interakcí rotujícího magnetického pole kotvy a magnetických polí indukčních pólů. Rotor je vlastně magnet, který se liší pro různé použití. Elektromagnety se používají k většímu výkonu a permanentní magnety k výkonu slabšímu. U synchronních motorů je rozběhový moment definován jako otáčivý moment působící na kotvu. Rozběhový moment bývá malý, protože točivé pole má při zapnutí plnou rychlost. [19]

U zatížených velkých synchronních motorů může dojít k problému, že se po zapnutí motor nerozběhne. To je řešeno rozběhovým systémem, který je řešen přidáním vinutím nakrátko, který umožní motoru rozběh podobný jako by měl kotvu nakrátko u asynchronního motoru. [19]

Synchronní motor se často používá v elektrárnách, kde generují elektrickou energii. První synchronní motor vynalezl Nikola Tesla v roce 1869, 20 let před vynalezením asynchronního motoru. Výhodou synchronního motoru je vysoká spolehlivost, vysoká účinnost a snadná údržba. Nevýhodou synchronního motoru je posuvný kontakt a způsob buzení. [19]

Motor s trojfázovým vinutím

Pro vznik točivého pole se využívá trojfázový střídavý proud přivedený na cívky statoru. Každá cívka je jako u asynchronního motoru pootočena o 120 stupňů. Menší synchronní motory mají rotor, jak už dříve uvedeno, z permanentních magnetů. U větších motorů se na rotor namotá elektricky vodivý drát, do kterého je potom přes sběrné kroužky zaveden stejnosměrný proud. [19]

Synchronní kompenzátor

Když se synchronní motor připojí do sítě na prázdko, tak dodává do sítě jalový výkon. To má za následek plynulou regulaci elektrického napětí v této síti. [19]

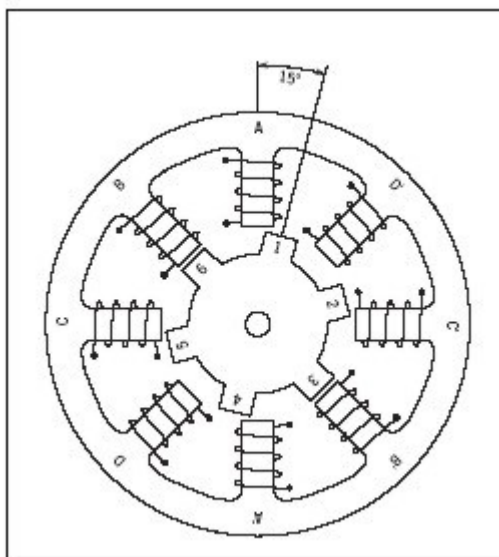
Elektrický generátor

Synchronní motor také funguje jako generátor elektrické energie. V autě jej nazýváme alternátor. [19]

Krokový motor

Hlavním principem tohoto elektromotoru je, že převádí elektrické impulzy v PWM podobě na diskretní otáčivý pohyb. Krokové motory vnímají počet impulzů jako velikost úhlu, o kterou se hřídel natočí, jedná se tak o synchronní pohyb. Této vlastnosti se dá využít při nutném přesném pohybu natočení, protože chyba u natočení v jednom kroku je 3-5 %, která se nepřenáší do dalších kroků. Jejich použití bývá většinou u zařízení, kde nejsou vyžadovány vysoké otáčky rotoru. [1]

Konstrukčně můžeme tyto elektromotory rozdělit na elektromotory s proměnnou reluktancí a s permanentním magnetem. Krokový motor s proměnnou reluktancí (viz. obrázek 7). nepoužívá permanentní magnety na rotoru, takže se může otáčet bez omezení točivého momentu. Krokový motor s permanentními magnety má stator tvořen čtyřmi póly a rotor šesti póly, vzniká tak pootočení rotoru proti statoru o 15° . [1]



Obrázek 7: Řez krokovým motorem s proměnnou reluktancí [2]

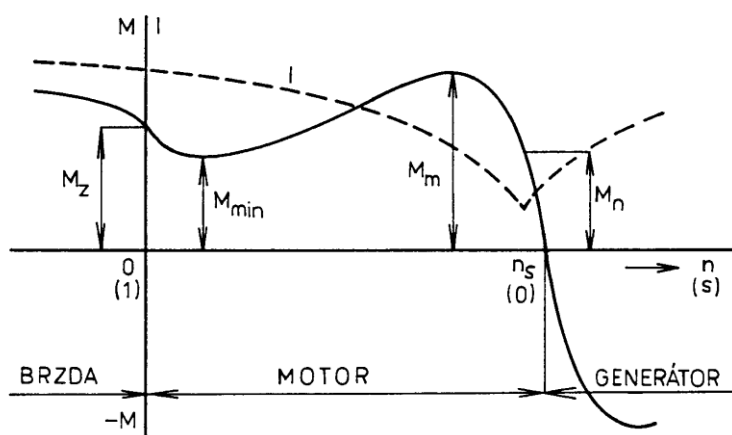
V praxi pak mívá rotor 50 zubů a stator 48 zubů. Zuby na statoru jsou rozprostřeny tak, aby vyplnily místa chybějících 2 zubů. Působením elektromagnetického pole na cívkách vzniká magnetický tok, který otočí rotorem o 1.8 stupňů. [4]

Tyto motory lze dále ovládat v hybridních režimech, kdy se na stator přivede elektrické napětí na pouze jednu cívku každého z pólů. Vzniká tak otočení statoru proti rotoru o polovinu původního kroku (Half stepping). [4]

3.2.2 Asynchronní

Asynchronní (indukční) motory pracují na principu přeměny elektromagnetické energie na energii mechanickou. Konstrukce tohoto motoru je stejná jako u ostatních točivých strojů. Skládá se z pevně zabudované části – stator a pohyblivé části – rotor. Oproti synchronnímu typu se tento typ liší v tom, že na rotoru je indukováno napětí z elektromagnetického napětí statoru. Toto napětí na rotoru generuje vlastní elektromagnetické napětí a siločáry obou částí (statoru a rotoru) uvádí rotor do pohybu. Brzdění u tohoto motoru se může provést protiproudem, rekuperací nebo dynamicky (připojení statoru ke stejnosměrnému napětí). [5]

Velkou roli zde hraje momentová charakteristika, což je závislost točivého momentu stroje na otáčkách nebo skluzu. Překročí-li otáčky motoru frekvenci elektromagnetického pole na statoru, stane se z motoru generátor. Z tohoto důvodu se tento typ motoru nemůže točit rychleji než elektromagnetické pole statoru. [5]



Momentová char. asynchronního stroje v brzdě, motorické a generátorické oblasti

Obrázek 8: Momentová charakteristika asynchronního stroje [6]

Motor s trojfázovým vinutím

Tento typ motoru se skládá z rotoru, statoru, kotvy nakrátko nebo kotvy klecové a kroužkové kotvy. Kroužková kotva je složena z vodičů zapojených do hvězdy nebo do trojúhelníku. Kotva na krátko se používá ke zmenšení rozběhového proudu. Při startu motoru se v rotoru přes elektromagnetické napětí indukuje proud. Jestliže snížíme napětí na statoru, snížíme tak rozběhový proud a kroutící moment na výstupní hřídeli. Metody

snížení napětí jsou například: statorový spouštěč, rozběhové transformátory, přepínač Y/D, polovodičový regulátor napětí, úpravy klece. [5]

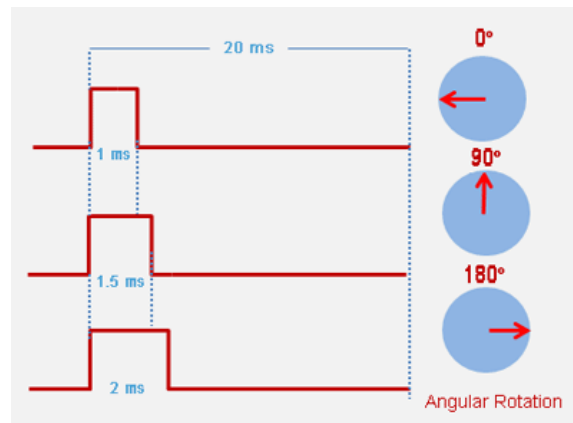
Motor s jednofázovým vinutím

Stejně jako u motoru s trojfázovým vinutím se tento typ motoru skládá z rotoru, statoru a kotvy. Pro rozpohybování rotoru se k jednofázovému vinutí na statoru přidává pomocné vinutí. To způsobí fázový posun a uvedení rotoru do pohybu. Aby se fázový posun mohl vytvořit, musí se na pomocné vinutí připojit kondenzátor. Takový fázový posun může být až 90° . Po rozběhnutí motoru není toto pomocné vinutí nutné, tudíž se po rozběhu odpojuje. To se provádí například odstředivým spínačem. Pokud ale zůstane kondenzátor zapojen, zvýší se výkon a točivý moment motoru, protože se zvýší celkový účinník stroje. Točivý moment dosahuje úrovně trojfázového motoru. [5]

4 SERVOMOTORY

Servomotor je motor zapojen ve zpětné vazbě s řídicí jednotkou, který se dokáže otáčet s vysokou přesností. Jeho uspořádání převodů nám umožňuje získat servomotor s velmi vysokým točivým momentem v malém a lehkém provedení. Díky těmto vlastnostem se používají v mnoha aplikacích, jako je robotika, RC auta, vrtulníky a letadla atd. Běžně se tento typ motoru skládá z řídicího obvodu, který poskytuje informaci o aktuální poloze hřídele motoru. Tato zpětná vazba umožňuje servomotorům se otáčet s velkou přesností. [7]

Konstrukčně se servomotor skládá z motoru (DC nebo AC), který určuje název stejnosměrný nebo střídavý servomotor, senzoru natočení rotoru, převodovky a řídicího obvodu. Převodovka se skládá z ozubených kol, které dohromady tvoří soustavu převodů. Tím snížíme rychlost otáček a zvýšíme točivý moment motoru. Senzor natočení rotoru slouží k získání informace o aktuální poloze. Tuto informaci generuje jako rozdíl původní polohy a polohy nové. Přivedeme-li řídicí elektrický signál na vstup zesilovače detektoru změny, tak vznikne rozdíl mezi tímto signálem a signálem ze senzoru. Tento rozdíl je zpracován zpětnovazebním mechanismem a výstup je poskytován ve smyslu rozdílového signálu, který je vstupem pro motor a ten se začne otáčet. Potenciometr je spojen s hřídelí motoru a jak se úhlová poloha potenciometru mění, tak se i mění jeho výstupní zpětnovazební signál. Po nějaké době se poloha potenciometru dostane do polohy, kdy je výstup potenciometru stejný jako přiváděný externí signál. Za těchto podmínek nebude tvořen žádný výstupní signál ze zesilovače na vstup motoru, protože není žádný rozdíl mezi externím aplikovaným signálem a signálem generovaným na potenciometru a v této situaci se motor přestane otáčet. [7]



Obrázek 9: Řízení servomotoru elektrickým impulzem proměnné šířky [7]

Zapojení většiny servomotorů, jako je velmi známý servomotor S90, bývá velmi snadné. Výstupní dráty servomotoru bývají tři, z toho dva jsou použity pro napájení a jeden pro řídicí signál, který je odeslán z mikropočítače. Napájení těchto servomotorů bývá +5 V stejnosměrného napětí, musíme si ovšem dát pozor na celkový odběr elektrického proudu, chceme-li používat více servomotorů najednou. Oproti krokovým motorům však servomotory neodebírají konstantně elektrický proud i když nevyžadujeme jejich pohyb.

5 PŘEVODOVKY U PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Převody jsou důležité prvky průmyslových robotů, jejichž aplikace se objevuje ve většině ústrojích robotů – polohovacím, pojezdovém, orientačním i v koncovém efektoru. Existuje mnoho druhů převodů, které lze aplikovat na průmyslové roboty. [14]

5.1 Vlastnosti převodů pro průmyslové roboty

Spojky

Spojky jsou instalovány mezi převodem a servomotorem nebo i mezi enkodérem a servomotorem, abychom eliminovali chyby mezi hřídelemi. Ovlivňují tak chování hnacího řetězce. Dále se při aplikaci spojky musí uvážit torzní tuhost a tlumící efekt. [14]

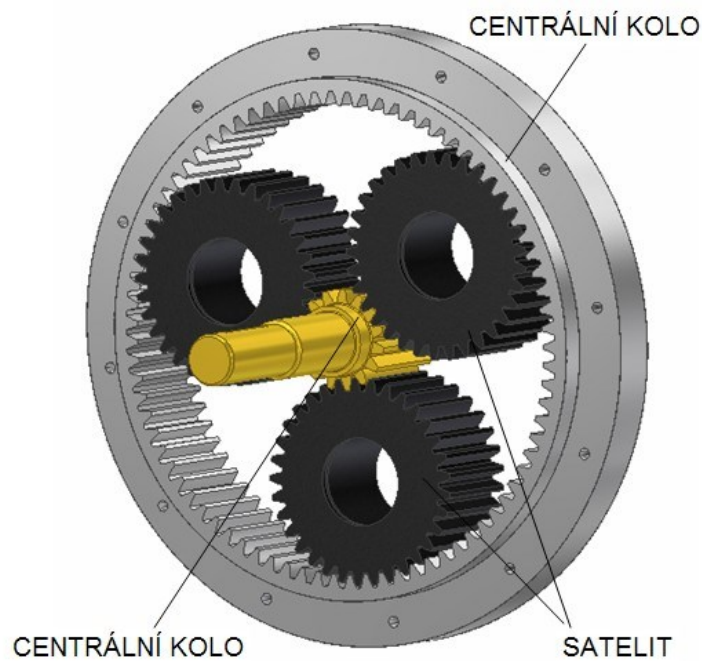
Volba převodu

Strukturu daného převodu je třeba zvolit podle druhu motoru a pohybu akčního členu motoru včetně jeho pohybové jednotky a vzájemné poloze. Volba převodu závisí na požadavcích na převody robotů: účinnost, složitost, vůle v převodech, konstrukce, rozměry, hmotnost, cena atd.

Základní typy převodů jsou harmonické v polohovacím i orientačním ústrojí, cykloidní v polohovacím ústrojí a planetové ve všech ústrojích robotu. [14]

5.1.1 Planetová převodovka

Planetová převodovka se skládá běžně ze tří satelitů obíhajících vnitřní centrální kolo. Tento točivý pohyb satelitů tak umožňuje vnějšímu centrálnímu kolu v rotačním pohybu. V dnešní době se ozubená kola používají u konstrukcí průmyslových robotů velmi často, a to v translačních i rotačních pohybových jednotkách, v kloubech, v orientačním ústrojí a v koncových efektorech. Velkou výhodou planetových převodů je jejich kompaktnost, malá hmotnost a rozměry a malý moment setrvačnosti. Planetové převodovky dokážou dosáhnout velmi velkých převodových poměrů. [14]

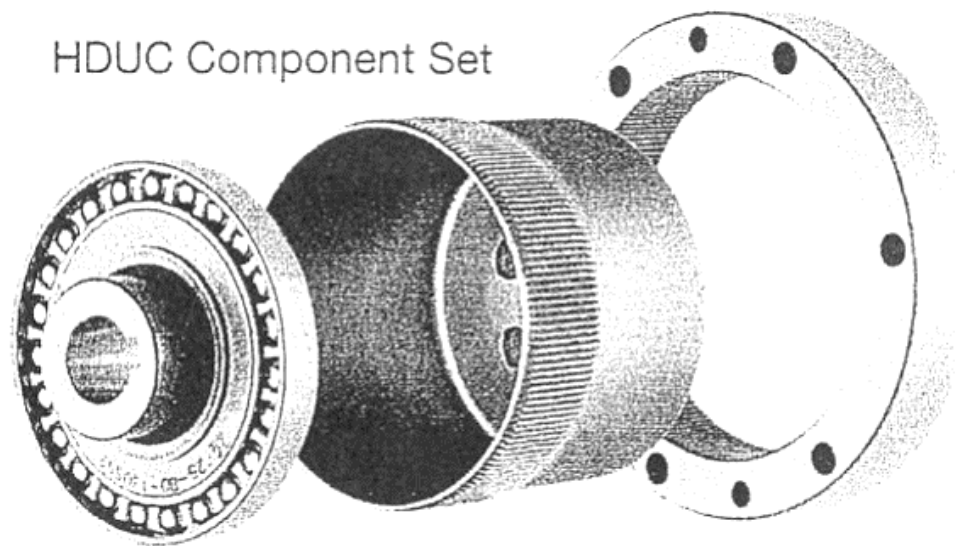


Obrázek 10: Planetová převodovka [15]

5.1.2 Harmonická převodovka

Harmonický převod je založen na konkrétním typu planetového převodu. Vstupní člen je unašeč a díky vyosenému satelitu z centrální osy se získávají otáčky. Tato převodovka se skládá z generátoru vln, pružného členu a tuhého členu. [14]

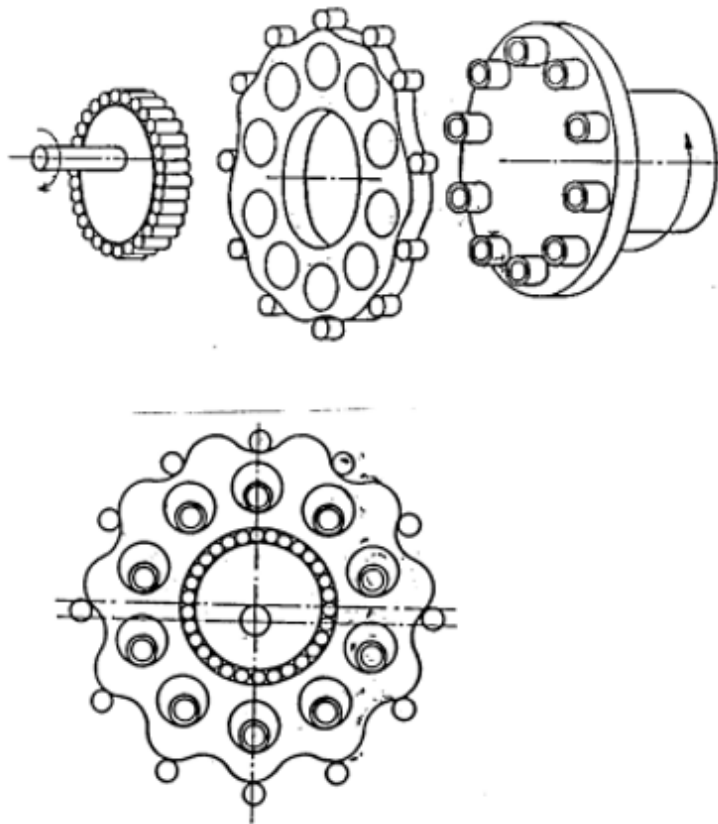
Výhodou harmonické převodovky je její kompaktnost a vynikající přesnost. Další výhodou je nízký moment setrvačnosti, možnost přenosu vysokého krouticího momentu, vysoká účinnost a vysoký převodový poměr (1:80 až 1:320). Tento typ převodu není samosvorný, to jim umožňuje mít vstupní převod na kterékoliv z obou stran. Nevýhodou však bývá poddajnost převodovek – dochází ke kmitání. [14]



Obrázek 11: Současné provedení hrníčkové harmonické převodovky [14]

5.1.3 Cykloidní převodovka

Cykloidní převodovka funguje podobně jako převodovka harmonická. Jejím principem je to, že vyosený unašeč pohybuje diskem s otvory do stran. V těchto otvorech je volně umístěn výstupní disk, který se otáčí pomaleji, než jsou vstupní otáčky. Výhodou cykloidního převodu je velmi vysoká přesnost, dlouhá životnost, vysoká účinnost (až 94 %), malé rozměry, malý moment setrvačnosti a tichý a hladký chod. Převodový poměr se pohybuje běžně v rozmezí 1:9 až 1:85. [14]



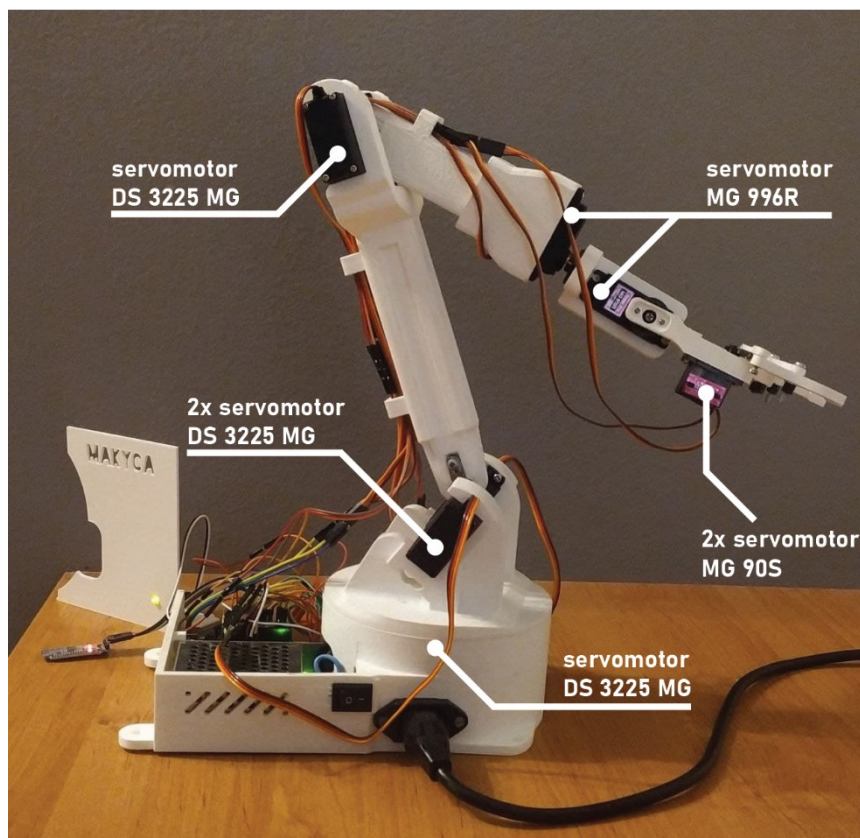
Obrázek 12: Přejchod od třecího převodu k převodu ozubenému [14]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

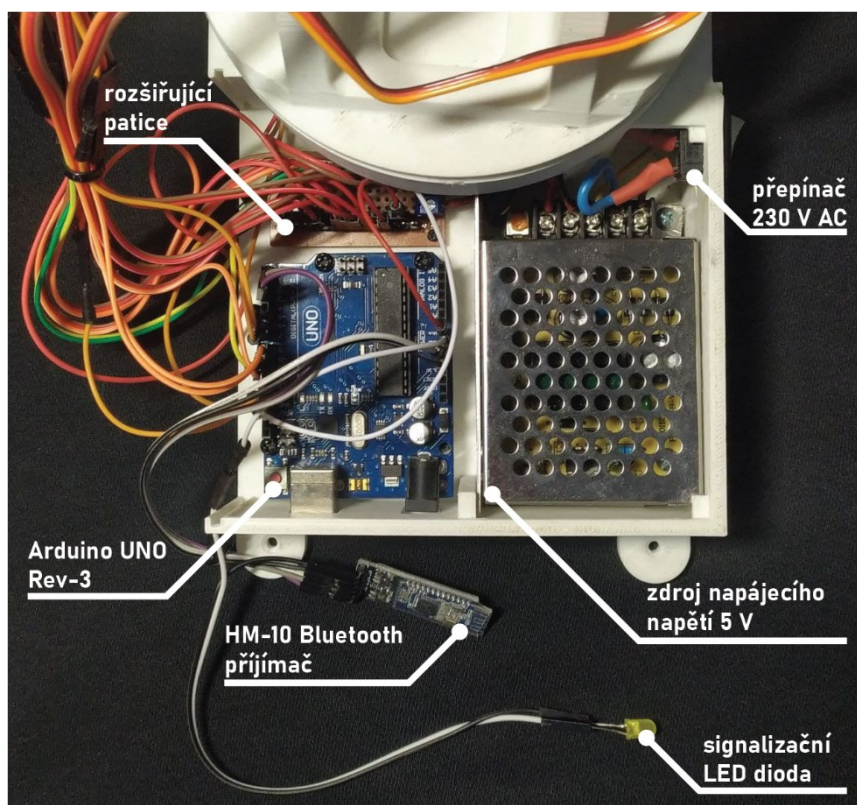
6 KONSTRUKCE ROBOTICKÉ RUKY

Má představa robotické ruky byla taková, že jsem chtěl vytvořit sériový manipulátor s pěti stupni volnosti (5 DoF). S touto představou jsem si zvolil konstrukční provedení, přibližné délky ramen a vypočítal požadovaný točivý moment na každý kloub.

V základě robotické ruky je umístěn jeden servomotor, v prvním rameni jsou umístěny dva servomotory proti sobě tak, aby společně dosáhly požadovaného točivého momentu. Dále jsou pak servomotory umístěny jednotlivě až po koncový efektor. Na tomto konci jsou dva malé servomotory, která společně rovnoběžně svírají a rozevírají čelist sloužící jako koncový efektor. Jako řídicí jednotka byla zvolena Arduino Uno R3, která svými vlastnostmi poslouží k ovládní všech 8 servomotorů včetně komunikace HM-10 Bluetooth přijímače. Zdroj je napájen síťovým napětím 230 V AC, který poskytuje potřebné napájecí napětí a elektrický proud všech servomotorů dohromady. Dále je vytvořena rozšiřující patice propojená se zdrojovým napětím (5 V), na kterou jsou napojeny všechny napájecí vodiče servomotorů. Jako signalizace viditelnosti či úspěšného spárování zařízení s Bluetooth přijímačem je použita zelená LED dioda, která je namontována na výsuvném krytu základny. Rozložení komponent je zobrazeno na obrázcích níže:



Obrázek 13: Boční pohled – rozložení servomotorů

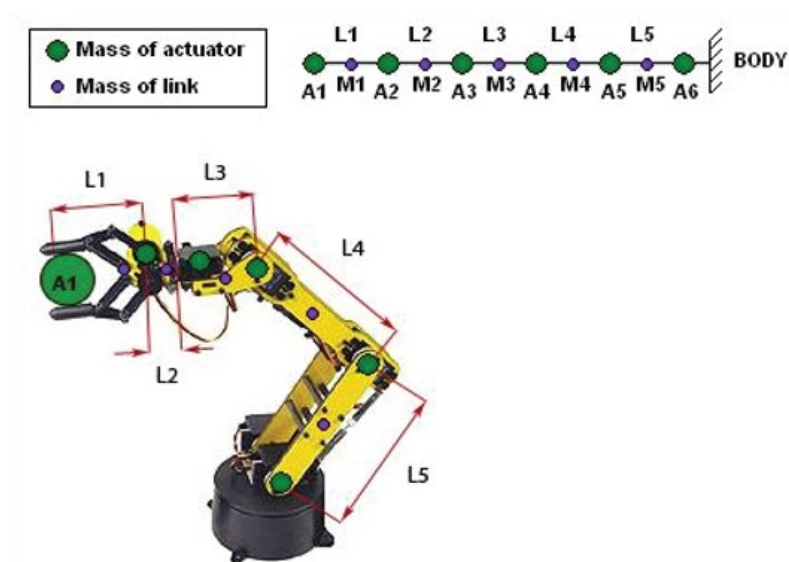


Obrázek 14: Zapojení komponent v základně

6.1 Zvolení komponent

6.1.1 Výpočty akčních členů

K výpočtu potřebných točivých momentů jednotlivých servomotorů jsem využil online kalkulatoru. Pro získání potřebných hodnot točivých momentů všech servomotorů bylo třeba dosadit jednotlivé délky ramen, jejich hmotnost a hmotnost drženého servomotoru. Následně jsem upravil parametry délek všech ramen, aby se hodnoty požadovaných točivých momentů co nejvíce přiblížily návrhu mého řešení. Výpočet daného kloubu zahrnuje hmotnost a rozměr předchozích částí. Vypočítané točivé momenty servomotorů jsou dimenzovány pro nosnost zátěže o hmotnosti 600 g (hmotnost **zakončení** je tedy $600 \text{ g} + 112 \text{ g} = 712 \text{ g}$). [9]



Obrázek 15: Schématické označení parametrů pro tabulku níže [9]

Tabulka 1: Výsledky vypočítaných hodnot s použitím kalkulátoru [9]

L: [cm]	M: [kg]	A: [kg]	T: [kg cm]
L1: 0	M1: 0	A1: 0	T1: 0
L2: 0	M2: 0.012	A2: 0.7	T2: 0
L3: 6	M3: 0.015	A3: 0.055	T3: 4.646999999999999
L4: 5	M4: 0.018	A4: 0.055	T4: 8.876999999999999
L5: 11.5	M5: 0.075	A5: 0.055	T5: 19.773249999999999
L6: 19	M6: 0.15	A6: 0.11	T6: 42.003249999999999

Délky všech ramen jsem zvolil tak, aby se co nejlépe blížily hodnotám zvolených servomotorů. Hmotnost ramena uvažuje vlastní objem $[cm^3] \cdot$ hustota PLA materiálu $1,24 [g / cm^3]$. [3]

Tabulka 2: Výsledné parametry robotické ruky

Část robotické ruky	Délka části [mm]	Hmotnost části [g]	Požadovaný točivý moment $[kg \cdot cm]$	Požadovaný točivý moment $[N \cdot m]$
Rameno	190	260	42	4,12
Loket	115	130	19,77	1,94
Zápěstí rotace	50	73	8,877	0,87
Zápěstí zdvih	60	70	4,647	0,65
Zakončení	-	712	-	-

6.1.2 Vybrané komponenty

Pohonná část robotické ruky se skládá ze servomotorů, které jsem zvolil tak, aby jejich točivé momenty s rezervou přesahovaly vypočtené točivé momenty z předchozí tabulky. Pro rameno jsem zvolil 2 servomotory DS 3225 MG konstrukčně hřídelemi položeny proti sobě, aby byl jejich výsledný točivý moment dvojnásobný. Pro rotační plošinu a loket jsem zvolil taktéž servomotor DS 3225 MG. Tento typ servomotoru má při napájecím napětí 6 V točivý moment 25 [kg * cm]. Dále pro rotaci a zdvih zápěstí jsem zvolil servomotor MG996R, který má při napájecím napětí 6 V točivý moment 10 [kg * cm]. Pro koncový efektor jsem zvolil 2 malé servomotory MG90S.

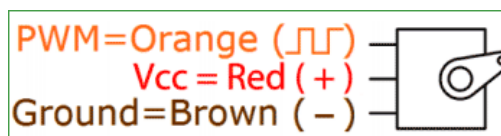
Jako **řídící jednotku** jsem zvolil mikropočítač Arduino UNO R3 a Bluetooth přijímač HM-10.

Jelikož požadované napájecí napětí řídicí jednotky a servomotorů je 5 V DC, tak jsem jako **zdroj** vybral modulový napájecí zdroj LYONZG S-25-5 (5V/5A) 25W.

Nejčastěji se pro humanoidní roboty, RC autíčka atd. používá servomotor MG995 (viz. obrázek 16). Ten je podobný servomotoru MG996R. Barevné označení vodičů je zobrazeno na obrázku 11, to se ale může výrobcem lišit.



Obrázek 16: Servomotor MG995



Obrázek 17: Barevné označení všech 3 vodičů

6.2 Design

Robotickou ruku jsem si zvolil jako 5 DoF (5 stupňů volnosti). Jedná se tak o sériový manipulátor, který bude mít o jeden stupeň volnosti víc než běžný typ SCARA.

V modelovacím software Blender jsem si ze všech parametrů a zvolených komponent vytvořil 3D model. Bylo nutno vejít se do 700 g hmotnosti cívky s PLA filamentem a dodržet jednoduchost tvarů, aby nevznikalo příliš mnoho podpěrného materiálu. Většina rohů bylo zahlazeno kvůli větší robustnosti a designu.

6.2.1 Výsledný 3D model

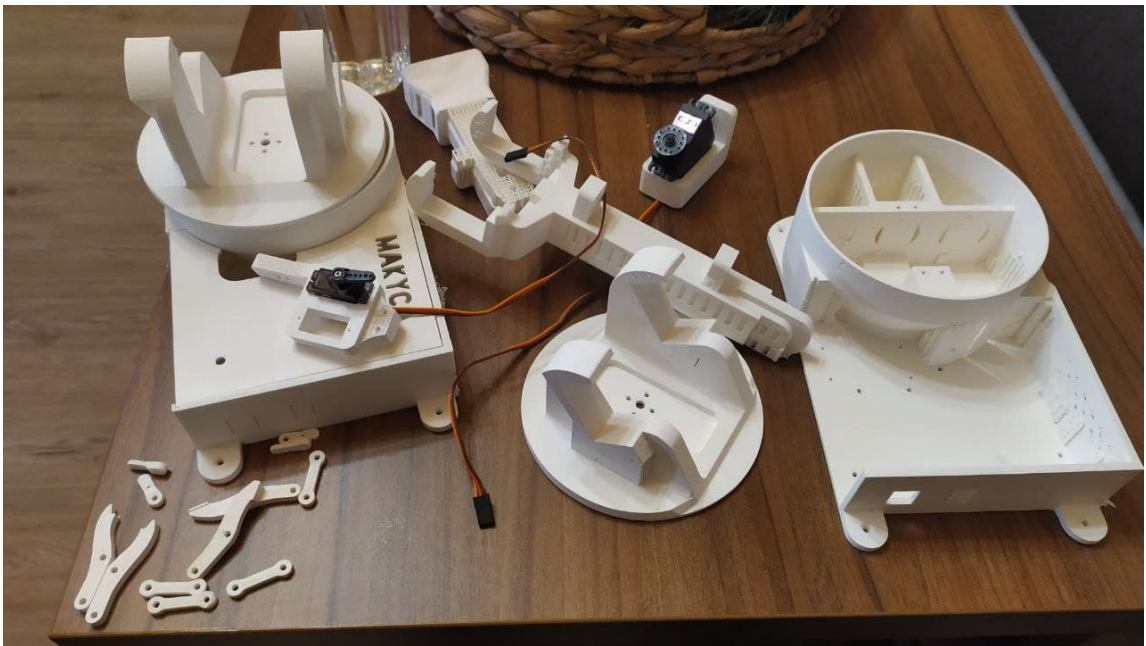
Model je schematicky zakreslen podle popisu.



Obrázek 18: 3D model robotické ruky připraven na 3D tisk

6.3 3D tisk

Napřed bylo potřeba připravit 3D modely jednotlivých částí na 3D tisk tak, že jsem každou část exportoval zvlášť do formátu STL. Pomocí technologie 3D tisku jsem pak tyto části realizoval s parametry – tloušťka stěn: 2 mm; výška vrstvy: 0,6 mm; výplň: mřížka. Jako materiál jsem zvolil PLA o tloušťce vlákna 1,75 mm a cívku o hmotnosti 700 g materiálu.

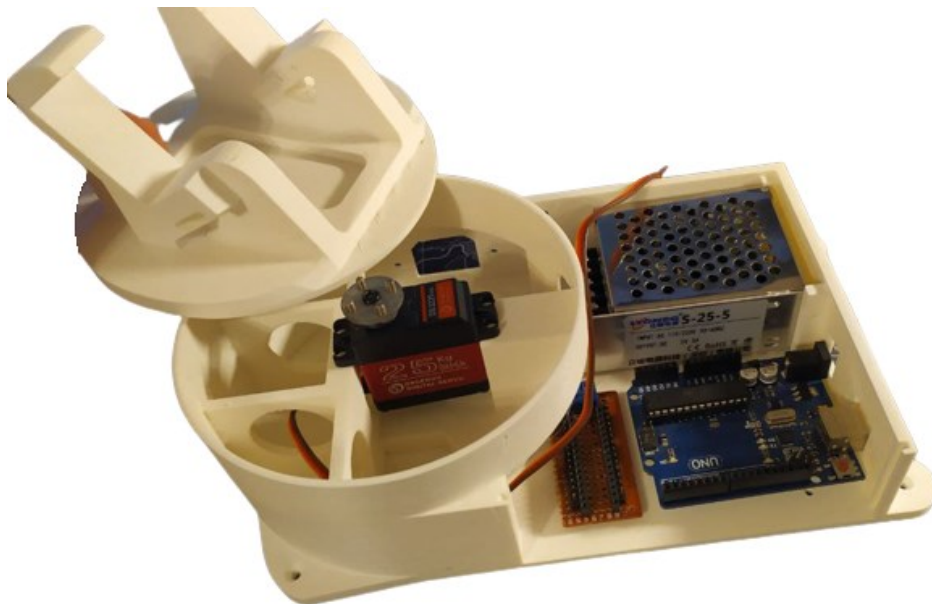


Obrázek 19: Vytisknuté části robotické ruky

6.4 Sestavení

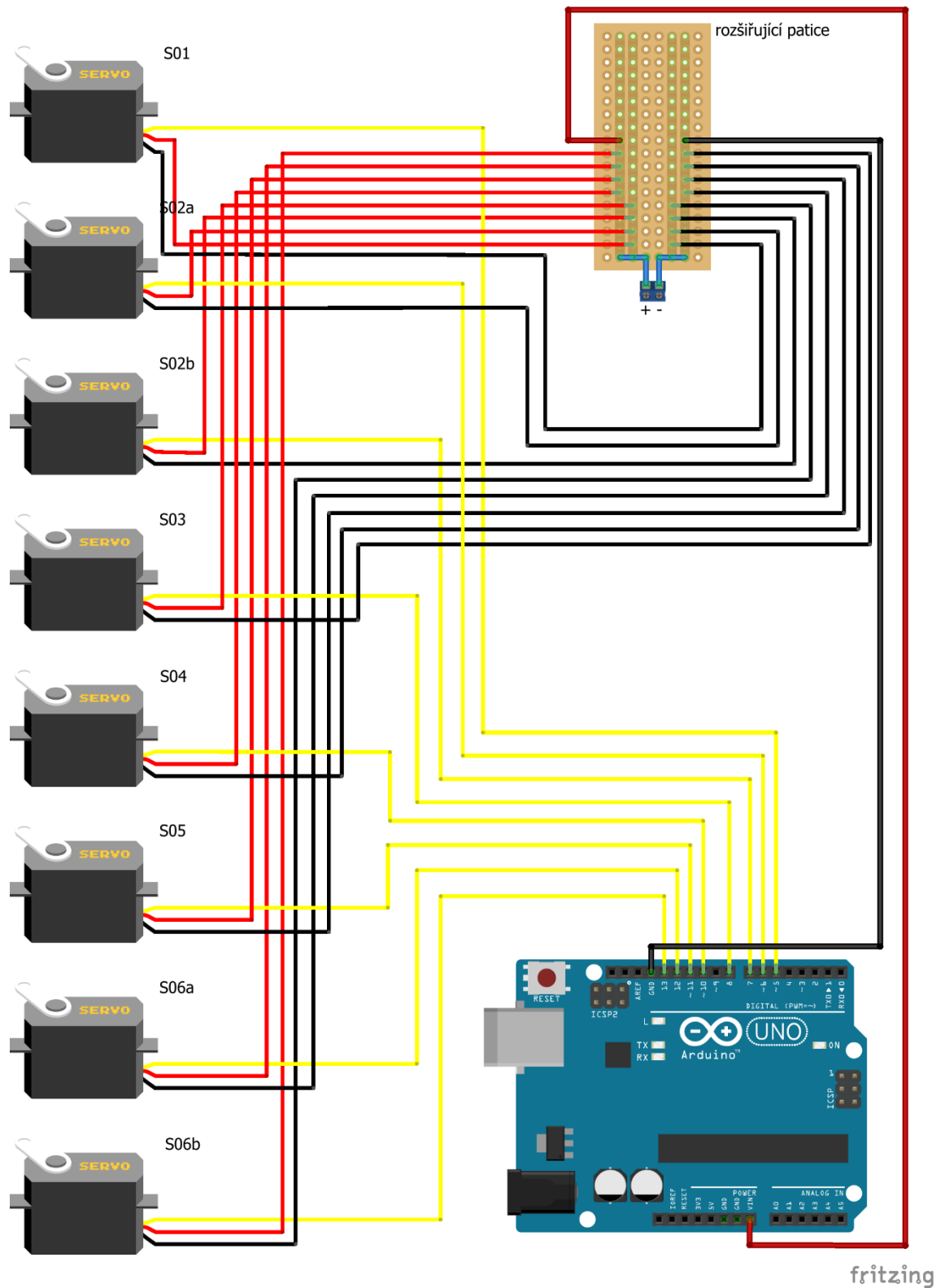
6.4.1 Konstrukce

Základní konstrukce robota začala po odstranění všech podpěrných materiálů a ověření délek všech otvorů. Do základny byla umístěna řídicí jednotka Arduino Uno, napájecí zdroj a rozšiřující patice. Vývojová deska Arduino Uno a příslušný otvor v základně je umístěn tak, aby se mikropočítač dal kdykoliv přeprogramovat pomocí USB-A/B kabelu. Celá konstrukce je připevněna skrze 4 závitové šroubky o průměru 4 mm k ocelové základně, která brání robotu v převrácení a volnému pohybu.

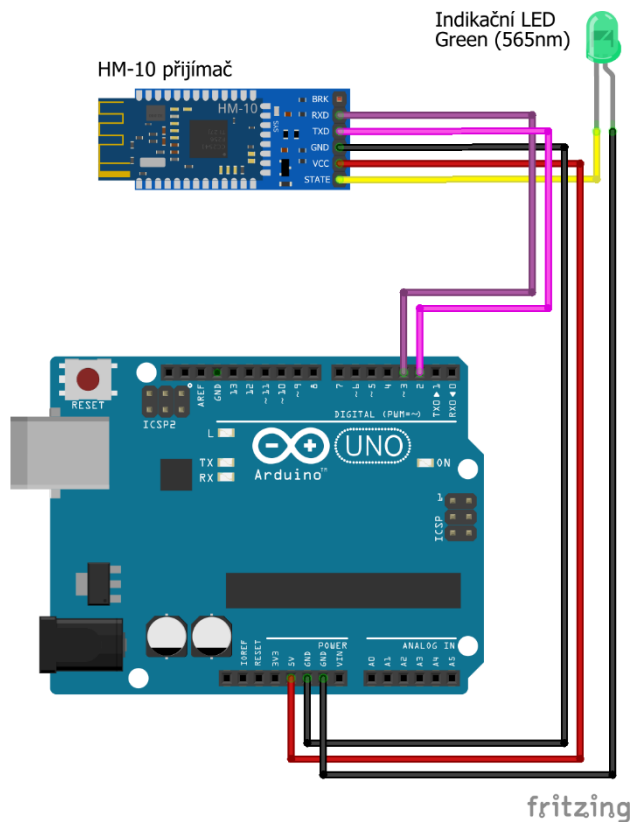


Obrázek 20: Rozložení komponent v základně

6.4.2 Zapojení komponent



Obrázek 21: Schéma zapojení servomotorů a rozšiřující patice



Obrázek 22: Schéma zapojení HM-10 Bluetooth přijímače a indikační LED diody

Tabulka 3: Přehled zapojení komponent k jednotlivým pinům

Komponent	Označení	PIN
Servo DS 3225 MG	S01	5
Servo DS 3225 MG	S02a	6
Servo DS 3225 MG	S02b	7
Servo DS 3225 MG	S03	8
Servo MG 996R	S04	10
Servo MG 996R	S05	11
Servo MG 90S	S06a	12
Servo MG 90S	S06b	13
HM-10 (Receive)	RXD	3
HM-10 (Transmit)	TXD	2

6.4.3 Popis komponent

Servo DS 3225 MG

Digitální servomotor s kroutícím momentem 25 [kg * cm] při napájecím napětí 6.2 V. Tento servomotor obsahuje kovový převod a je tak vhodný pro použití s větším zatížením. Dále servomotor disponuje vysokou kvalitou a hliníkovým chlazením.

Servo MG 996R

Digitální servomotor s kroutícím momentem 10 [kg * cm] při napájecím napětí 6.2 V. Taktéž obsahuje kovový převod, avšak nemá hliníkové chlazení a je více hlučné v režimu brzdy.

Servo MG 90S

Je to často používaný servomotor, který se svými malými rozměry hodí do aplikací jako je právě koncový efektor. Výhodou oproti podobnému typu SG 90 je, že má ozubený převod z kovu, a ne z plastu.

Rozšiřující patice

Je to deska pájivého pole, která je osazena male/female paticemi pro poskytování napájecího napětí všech servomotorů, přijímače HM-10 a mikropočítače Arduino.

HM-10 Bluetooth modul

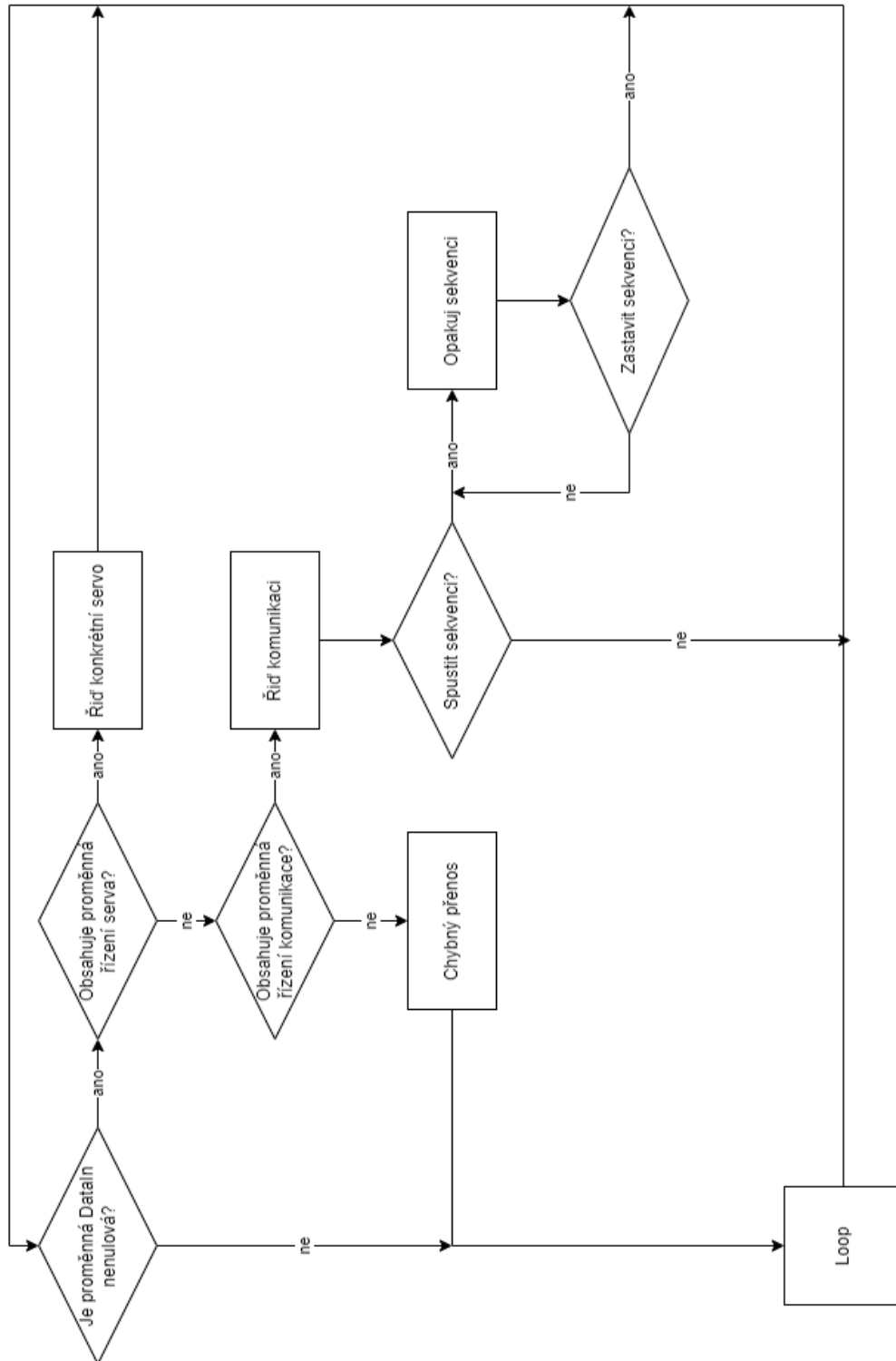
Je to přijímač/vysílač. Pracuje tedy v režimu Master nebo Slave na frekvenci 2,4 Ghz. Je napájen napájecím napětím 5 V a je vybaven regulátorem, který sníží toto napětí na 3,3 V. Dále je modul vybaven pinem pro naprogramování v AT režimu (pin BRK) a pinem pro indikaci připojení zařízení (pin STATE).

Mikrokontrolér Arduino UNO

Tento mikrokontrolér je díky svou robustností a svými vlastnostmi (počet pinů, snadnost programování ...) skvělou volbou pro podobné roboty jako je tato robotická ruka. Dále byl tento mikrokontrolér zvolen kvůli velké popularitě, kdy se dá snadno dohledat patřičný problém.

7 PROGRAMOVÁ ČÁST ROBOTICKÉ RUKY

7.1 Vývojový diagram



Obrázek 23 – Vývojový diagram mikropočítače

7.2 Popis funkcí

Funkce pro řízení servomotorů

- `void dock()` – Nastaví polohu všech servomotorů do původní startovací polohy.
- `void attachServos()` – Připojí všechny servomotory a nastaví je do startovací polohy
- `void handleServos()` – Stará se o manuální řízení servomotorů. Je volána pokaždé, když přijímač přijme signál pro řízení.

Funkce pro řízení komunikace

- `void handleCom()` – Stará se o komunikaci, kde chceme provést činnost (DOCK, SAVE, RUN/PAUSE, RESET, ...).

Funkce pro řízení sekvence

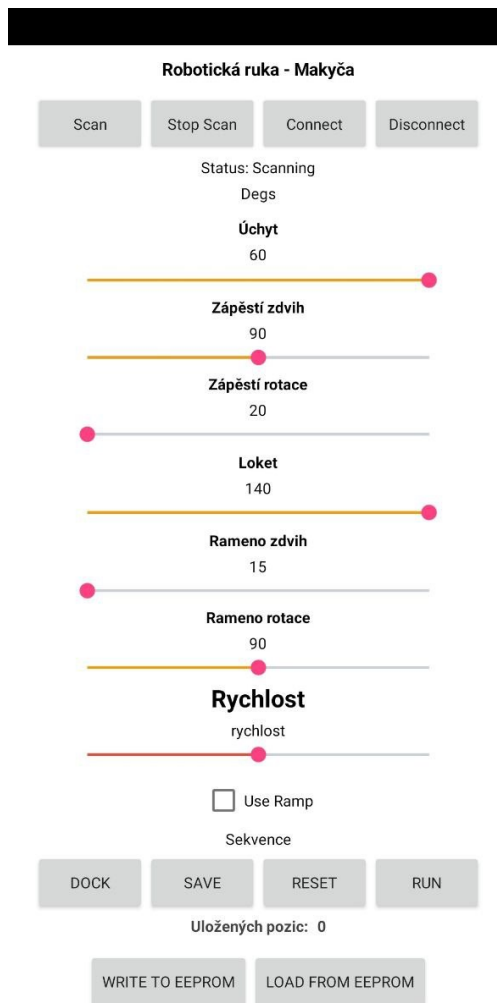
- `void runServo()` – Spustí sekvenci kroků, které byly činnostmi SAVE nahrány, nebo byly načteny z EEPROM. Tato sekvence se opakuje, dokud ji nepozastavíme, nebo neresetujeme.
- `void save(int index)` – Uloží krok s příslušným indexem do sekvence. Tento krok obsahuje informace o tom, jaký úhel má každý servomotor mít.
- `void saveSequence()` – Uloží sekvenci do paměti EEPROM, která je obsažena v čipu mikropočítače.
- `void loadSequence()` – Načte sekvenci z paměti EEPROM.
- `void clearEEPROM()` – Vymaže sekvenci z paměti EEPROM.
- `void writeIntArrayIntoEEPROM(int address, int numbers[], int arraySize)` – Obsahuje for cyklus, který postupně zapíše jednotlivé kroky sekvence v podobě bytů do EEPROM paměti.
- `void readIntArrayFromEEPROM(int address, int numbers[], int arraySize)` – Načte zpětně všechny kroky sekvence v podobě bytů a přeloží je do celých čísel.

8 MOBILNÍ APLIKACE

Pro front-end i back-end jsem použil online softwaru MIT-APP INVENTOR. Tento vývojový software nám umožňuje s použitím zvolených pluginů lehce vytvořit jednoduchou aplikaci s hezkým a funkčním UI designem. Pomocí rozšíření BluetoothLE1 jsem byl schopen vytvořit horní panel, který obsahuje vše pro spárování mobilního telefonu se zařízením – mém případě přijímač HM-10.

Základním prvkem aplikace je časovač nastavený na 250 ms, který volá funkci BluetoothLE1.WriteStrings pokaždé, když je splněna podmínka, že posílaný string se liší od předešlého. Zápis do globální proměnné je prováděn sítí Callbacků. Pokaždé, když se změní hodnota posuvníku, nebo když se zmáčkne jakékoliv tlačítko, tak se provede zápis do této globální proměnné. Ta je, jak bylo zmíněno výše, za podmínky poslána do přijímače v podobě bajtů, avšak v mikropočítači Arduino je následně přeložena do podoby řetězce, se kterým dál pracuje. Naopak komunikace z modulu HM-10 do mobilní aplikace není potřebná, jelikož se jedná o pouhý prototyp a není tak vyžadovaná žádná zpětná vazba. Tento systém pracuje tedy jako Master – Slave.

8.1 Popis UI mobilní aplikace



Obrázek 24: Náhled ovládacího panelu mobilní aplikace

Panel pro spárování zařízení

Kliknutím na tlačítko Scan se zobrazí list dostupných zařízení. Po vybrání zařízení je možno spárovat toto zařízení s přijímačem. Tlačítko Disconnect zařízení od přijímače odpojí.

Status

Jednoduše zobrazuje, zda bylo zařízení úspěšně spárováno s přijímačem, zda dochází ke skenování, nebo zda je zařízení odpojeno. Dále je zobrazen text, který ukazuje, jaká data byla právě odeslána.

Posuvníky

Slouží k natočení kloubů na určitý úhel. Jsou limitovány reálným limitem konstrukce a je tak nemožné zničit část robotické ruky. Další posuvník slouží pro řízení rychlosti otočení servomotorů. Hodnota je vyjádřena ve stupních za sekundu. Poslední posuvník slouží pro vyžadovanou časovou prodlevu v sekundách.

Checkbox

Tímto přepínačem měníme průběh pohybu (náběžná rampa). Má dva stavy, první znamená pohyb lineární a druhý pohyb nelineární.

Řízení sekvence

Zde je možno nastavit robot do původní polohy, ukládat aktuální polohu ve formátu kroku do sekvence, vynulovat celou sekvenci a spustit naprogramovanou sekvenci. Dále panel ukazuje, kolik kroků je již naprogramováno.

Zápis / čtení z EEPROM

Těmito tlačítky je možno nahrát/přečíst naprogramovanou sekvenci do paměti EEPROM, která je zabudována v mikropočítači. To je důležité, protože po vypnutí napájecího napětí data zůstanou v EEPROM, která je tedy nevolatilní typ paměti.

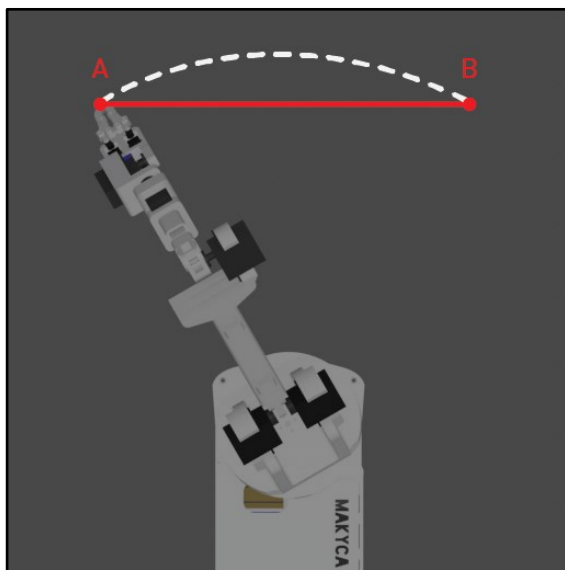
9 TESTOVÁNÍ

9.1 Opakovaná odchylka

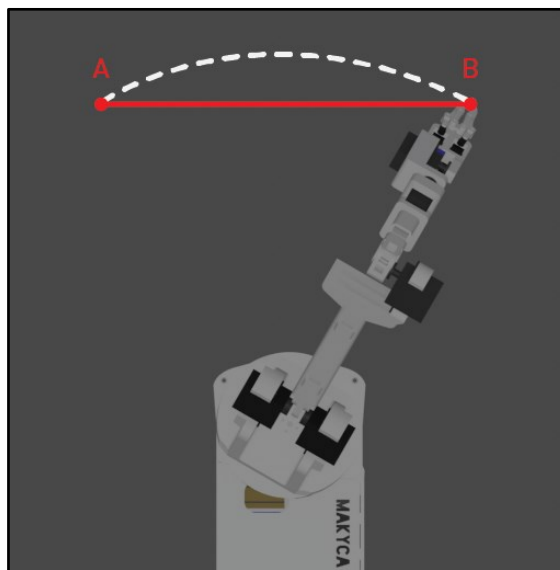
Postup měření

V tomto měření je prováděna změna rotace ramena. Pro určení přesnosti se opakovaně měří poloha v bodě A a B. Žádaná hodnota polohy A = 0 mm a polohy B = 195 mm.

Schéma soustavy – rotace



Obrázek 25: Poloha A (rotace)



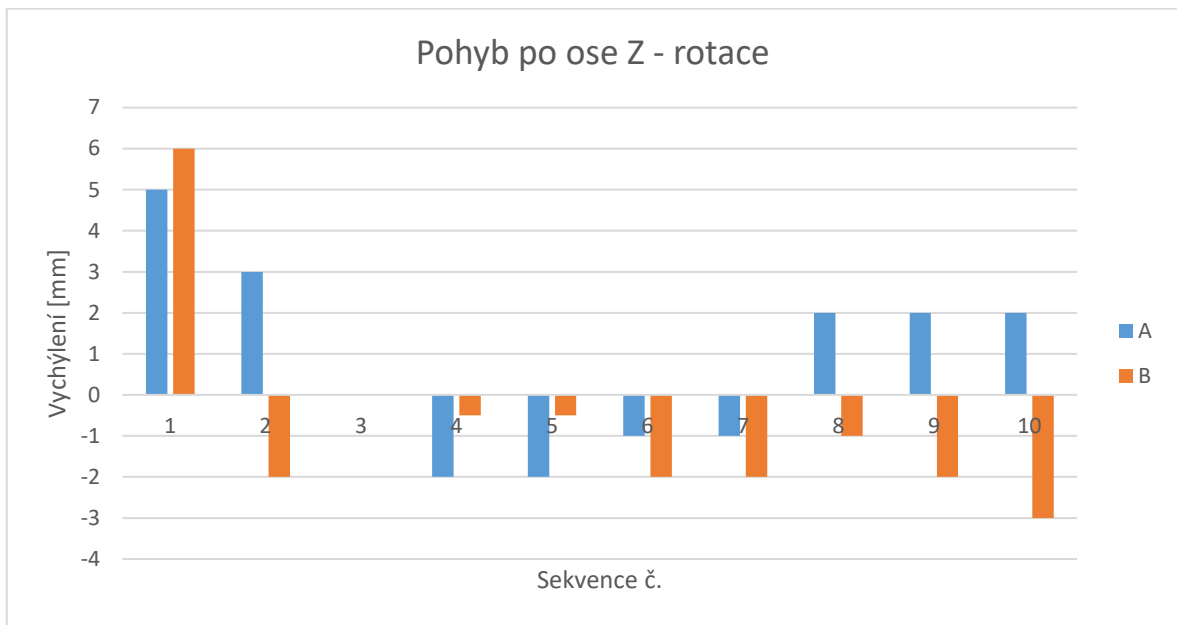
Obrázek 26: Poloha B (rotace)

Naměřené hodnoty

Tabulka 4: Naměřené hodnoty při změně vodorovné polohy

Pohyb z polohy A do B (rotace)				
Sekvence č.	Poloha A [mm]	Poloha B [mm]	Vychýlení A [mm]	Vychýlení B [mm]
1	5	201	5	6
2	3	193	3	-2
3	0	195	0	0
4	-2	194,5	-2	-0,5
5	-2	194,5	-2	-0,5
6	-1	193	-1	-2
7	-1	193	-1	-2
8	2	194	2	-1
9	2	193	2	-2
10	2	192	2	-3
minimum	-2	192	-2	-3
maximum	5	201	5	6
směr. odchylka	2,35	2,53	2,35	2,53

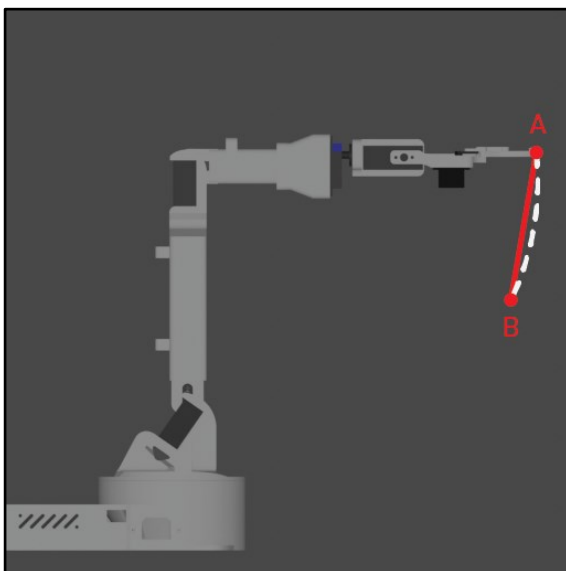
Graf 1: Zobrazení výchylky pozice A a B při změně vodorovné polohy



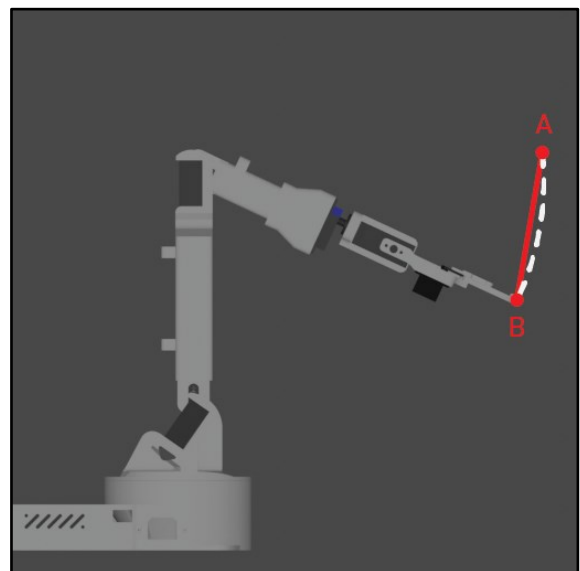
Postup měření

V druhém měření se pohybuje loktem nahoru a dolů. Požadovaná výška byla nastavena na $A = 288$ mm a $B = 400$ mm. Naměřené hodnoty sekvence se následně zapíší do tabulky.

Schéma soustavy – výška



Obrázek 27: Poloha A (výška)



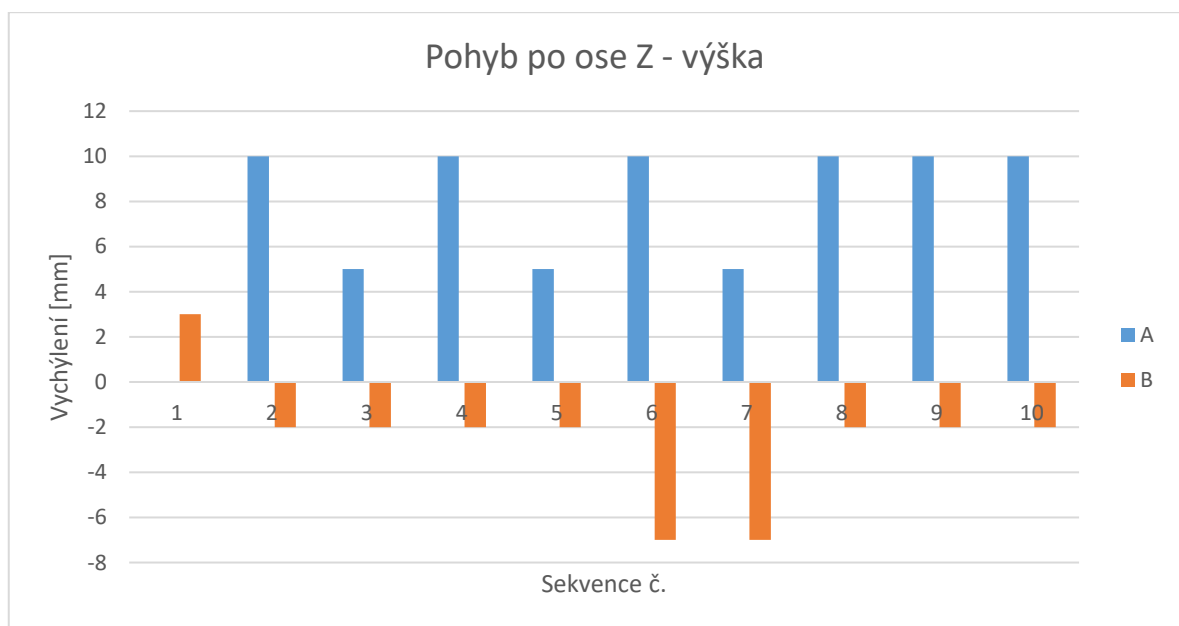
Obrázek 28: Poloha B (výška)

Naměřené hodnoty

Tabulka 5: Naměřené hodnoty při změně svislé polohy

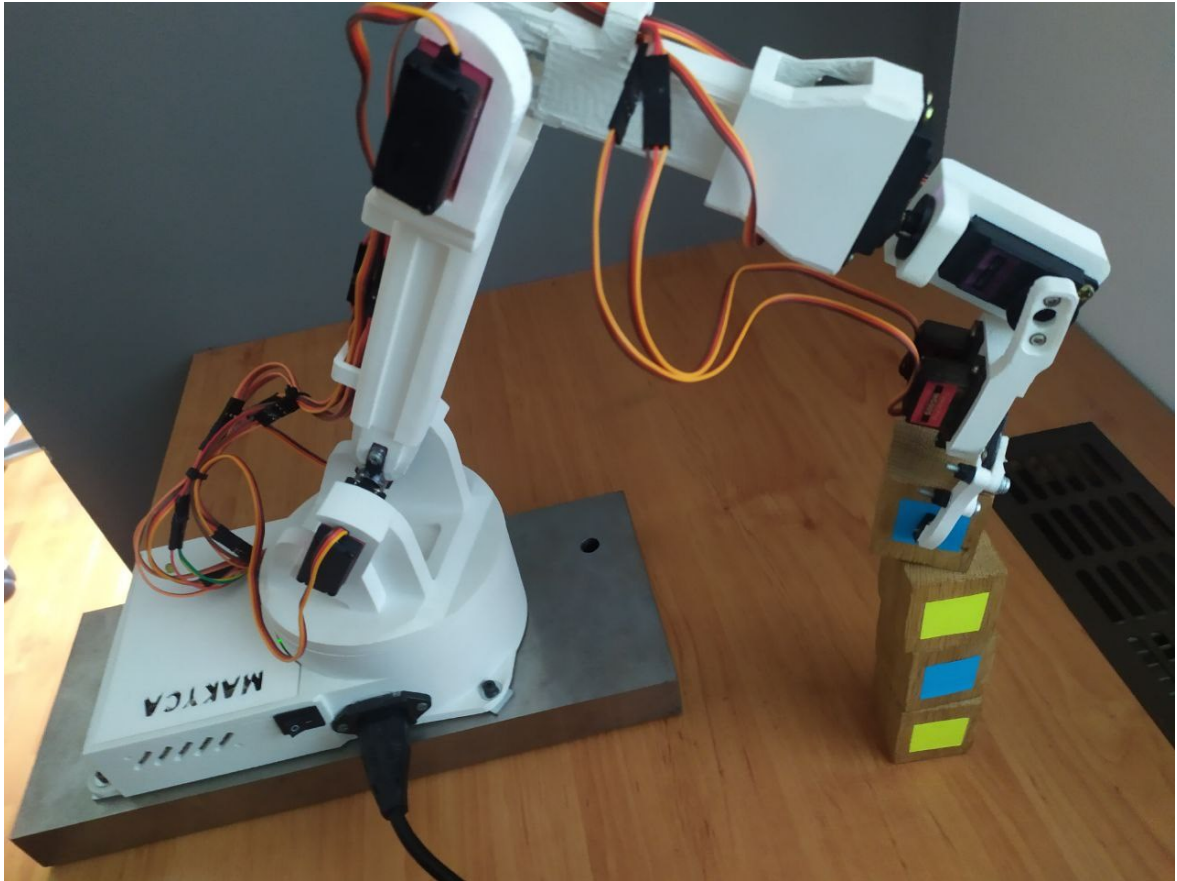
Pohyb z polohy A do B (změna výšky)				
Sekvence č.	Poloha A [mm]	Poloha B [mm]	Vychýlení A [mm]	Vychýlení B [mm]
1	400	285	0	3
2	390	290	10	-2
3	395	290	5	-2
4	390	290	10	-2
5	395	290	5	-2
6	390	295	10	-7
7	395	295	5	-7
8	390	290	10	-2
9	390	290	10	-2
10	390	290	10	-2
minimum	390	285	0	-7
maximum	400	295	10	3
směr. odchylka	3,54	2,84	3,54	2,84

Graf 2: Zobrazení výchylky pozice A a B při změně svislé polohy



9.2 Úloha skládání kostek

Pro otestování preciznosti a funkčnosti robotické ruky a jejich funkcí jsem vytvořil úlohu pro skládání kostek na sebe z inicializační polohy.



Obrázek 29: Robotická ruka skládající blokové prvky na sebe

Výsledkem této úlohy bylo ověření předem zjištěné odchylky. Výsledné sestavení odpovídalo odchylce kostek v rozmezí 2-3 mm. Dále z úlohy vyplývá ověření funkčnosti, kdy je možné opakovaně provádět sekvenci kroků pořád dokola. Nakonec byla ověřena funkčnost koncového efektoru, který dokázal silně uchopit lehké kostky, aniž by se při pohybu nějak uvolnily. Celý prototyp robotické ruky tedy splnil svůj účel, kterým bylo úspěšně přemístit a poskládat jednotlivé prvky do zvolené pozice.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a sestavit prototyp robotické ruky schopného splňovat jednoduché úkoly přemísťování objektů.

V teoretické části práce se může čtenář dočíst o robotech a jejich rozdělení. Následuje část, která popisuje komponenty pro realizaci robotů, jako jsou například mikropočítače, pohonné jednotky a převodovky.

V praktické práci došlo k úspěšnému návrhu, sestavení a otestování prototypu robotické ruky. Z úlohy pro měření odchylky vyplývá, že robotická ruka je dostatečně přesná pro jednoduché aplikace jako je právě skládání kostek na sebe. V této úloze robotická ruka splnila svůj cíl, kdy úspěšně uchopila kostku a položila na předchozí. Zde šla patrně vidět odchylka, kdy kostky nebyly vždy umístěny přesně na sebe, ale s malým přesahem.

Po sestavení prototypu byl vytvořen řídicí program pro jeho ovládání a využití všech umístěných komponent tak, aby byl schopen splnit úlohu přemísťování objektů. Jakmile je robotická ruka zapojena, čeká na připojení k zařízení, které následně robotickou ruku ovládá pomocí aplikace.

Při konstrukci samotné robotické ruky jsem se seznámil s problematikou spojenou s bezdrátovým řízením, 3D modelováním, 3D tiskem a samotným programováním mikropočítače v praxi. Robotická ruka pak může fungovat jako nástroj pro výuku automatizační jednotky, nebo platforma pro budoucí vylepšení, případně novou a lepší verzi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] UHEREK, Vítězslav. Konstrukce mobilního robotu [online]. Brno, 2008 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8945. Bakalářská práce. VUT.
- [2] Krokový motor. In: ELECTRONIC CIRCUITS ARCHIVE [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.free-electronic-circuits.com/images/motor1.jpg>
- [3] Filament Length Calculator. 3D SOURCED [online]. 26 April 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.3dsourced.com/rigid-ink/how-many-meters-of-filament-on-a-spool-calculator>
- [4] Lesics. (19. 10. 2016). How does a Stepper Motor work? - Lesics [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=eyqwLiowZiU>
- [5] ČERMÁK, Jiří. Asynchronní stroje - konstrukce, princip funkce a řízení. O ENERGETICE [online]. 10. 2. 2017 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektroenergetika/asynchronni-stroje-konstrukce-princip-funkce-a-řízení>
- [6] Spouštění trojfázových asynchronních motorů a změna smyslu jejich otáčení. In: Lhotkanet/pub/škola/cvut-fel [online]. CVUT [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: http://www.lhotkanet.cz/pub/skola/cvut-fel/!old/14zse/Asynchroni%20motor_soubory/asynchr.htm
- [7] What is a Servo Motor?: Understanding the basics of Servo Motor Working. CircuitDigest [online]. JLN Marg, Jaipur - 302018: Apoorve, 2015, 1. 8. 2015 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/article/servo-motor-working-and-basics>
- [8] Arduino UNO R3. Arduino Documentation [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- [9] Robot Arm Torque Calculator. Robotshop [online]. 13. 12. 2019 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/community/tutorials/show/robot-arm-torque-calculator>
- [10] 321 kinematic structure. Academic [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://en-academic.com/dic.nsf/enwiki/5747631>

- [11] KURINA, Jan. Plánování trajektorie paralelního robota [online]. 2017 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73130/F2-BP-2017-Kurina-Jan-BP_Kurina_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. ČVUT.
- [12] Delta Parallel Robot Diagram. In: Ohio.edu [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.ohio.edu/mechanical-faculty/williams/html/PDF/DeltaKin.pdf>
- [13] What is an End Effector and How Do You Use One?. A3 Association for advancing automation [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.automate.org/news/what-is-an-end-effector-and-how-do-you-use-one>
- [14] SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [15] Planetový převod. In: Spssol [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.spssol.cz/rsimages/DIGI1/html/cad/P%C5%99evodovky/media/a7bf40b3-6617-4add-b17d-0e4b02a46640.jpg>
- [16] ŽAMPACH, Michal. Model robotického vozidla řízený mikropočítačem. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015, 55 s. (51 000 znaků). Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/34221>. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky, Ústav automatizace a řídicí techniky. Vedoucí práce Dolinay, Jan.
- [17] ŽÁČEK, Michal. Průmyslové roboty: Jaké jsou jejich druhy?. Factory Automation [online]. 23. 3. 2018 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/prumyslove-roboty-jake-jsou-jejich-druhy/>
- [18] PINKER J.: Mikroprocesory a mikropočítače, BEN Praha, 2008.
https://moodle.utb.cz/pluginfile.php/737927/mod_resource/content/1/princip_mikropocitace.pdf
- [19] Synchronní stroje - konstrukce, princip a použití [online]. Nálepky 620/7, Nové Dvory, 674 01 Třebíč: Jiří Čermák, 2015 [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektroenergetika/synchronni-stroje-konstrukce-princip-apouziti>
- [20] Serial manipulator. Academic [online]. [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://en-academic.com/dic.nsf/enwiki/4426129>

- [21] BARR, Michael a Anthony J. MASSA. Programming embedded systems: with C and GNU development tools. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2006. ISBN 9780596009830.
- [22] CATSOULIS, John. Designing embedded hardware. 2nd ed. Sebastopol: O'Reilly, 2005. ISBN 9780596007553.
- [23] PINKER, Jiří. Mikroprocesory a mikropočítače. Praha: BEN – technická literatura, 2004. ISBN 80073001101.
- [24] HRBÁČEK, Jiří. Komunikace mikrokontroléru s okolím. Praha: BEN – technická literatura, 1999. ISBN 9788086056425.
- [25] PAGÁČ, Marek. Učebnice SolidWorks. V Brně: Vydavatelství Nová média, [2020]. ISBN 978-80-270-8730-3.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Ampér
AC	Alternating current
A/D	Analog/Digital
AT	Attention command
DC	Direct current
DoF	Degree of freedom
EEPROM	Elektronicky mazatelná, programovatelná paměť typu ROM-RAM
GHz	Gigahertz
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IDE	Vývojové prostředí (Integrated Development Enviroment)
I/O	Vystup/Výstup (Input/Output)
LED	Luminiscenční dioda (Light-Emitting Diode)
mm	Milimetr
ms	Milisekunda
PWM	Pulsně šířková modulace (Pulse Width Modulation)
RX	Zkratka pro příjem (Recieve)
SD	Secure Digital
TX	Zkratka pro vysílání (Transmit)
UI	User interface
USB	Univerzální sériová sběrnice (Universal serial bus)
V	Volt
W	Watt
Wi-Fi	Wireless Fidelity
Y/D	hvězda / trojúhelník

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Sériový manipulátor	13
Obrázek 2: Paralelní manipulátor	14
Obrázek 3: Zjednodušené schéma počítače	17
Obrázek 4: Arduino Uno Rev-3 včetně označených pinů	18
Obrázek 5: Vývojové prostředí Arduino IDE	19
Obrázek 6: Složení stejnosměrného motoru	20
Obrázek 7: Řez krokovým motorem s proměnnou reluktancí	22
Obrázek 8: Momentová charakteristika asynchronního stroje	23
Obrázek 9: Řízení servomotoru elektrickým impulzem proměnné šířky	26
Obrázek 10: Planetová převodovka	28
Obrázek 11: Současné provedení hříčkové harmonické převodovky	29
Obrázek 12: Přejít od třetího převodu k převodu ozubenému	30
Obrázek 13: Boční pohled – rozložení servomotorů	33
Obrázek 14: Zapojení komponent v základně	33
Obrázek 15: Schématické označení parametrů pro tabulku níže	34
Obrázek 16: Servomotor MG995	36
Obrázek 17: Barevné označení všech 3 vodičů	36
Obrázek 18: 3D model robotické ruky připraven na 3D tisk	37
Obrázek 19: Vytisknuté části robotické ruky	38
Obrázek 20: Rozložení komponent v základně	39
Obrázek 21: Schéma zapojení servomotorů a rozšiřující patice	40
Obrázek 22: Schéma zapojení HM-10 Bluetooth přijímače a indikační LED diody	41
Obrázek 23 – Vývojový diagram mikropočítače	43
Obrázek 24: Náhled ovládacího panelu mobilní aplikace	46
Obrázek 25: Poloha A (rotace)	48
Obrázek 26: Poloha B (rotace)	48
Obrázek 27: Poloha A (výška)	49
Obrázek 28: Poloha B (výška)	49
Obrázek 29: Robotická ruka skládající blokové prvky na sebe	51

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Výsledky vypočítaných hodnot s použitím kalkulátoru	35
Tabulka 2: Výsledné parametry robotické ruky	35
Tabulka 3: Přehled zapojení komponent k jednotlivým pinům	41
Tabulka 4: Naměřené hodnoty při změně vodorovné polohy.....	48
Tabulka 5: Naměřené hodnoty při změně svislé polohy.....	50

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: CD disk s bakalářskou prací, se soubory obsahující zdrojové kódy, s 3D modely a s mobilní aplikací

