



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU ROBOTU

DESIGN OF A ROBOT GRIPPER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Šimon Stoszek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Šimon Stoszek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh koncového efektoru robotu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zaměřením práce bude konstrukční návrh, výroba a programování koncového efektoru robotu. Návrh bude předpokládat využití aditivních technologií výroby.

Cíle bakalářské práce:

- Rešerše efektorů, obzvláště tříprstého typu.
- Návrh a realizace konstrukce gripperu založená na servech Dynamixel a přídavné senzorce.
- Tvorba demonstrační úlohy a realizace experimentů, včetně vyhodnocení.
- Popis a zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá tematikou robotických koncových efektorů, konkrétně manipulačními koncovými efekty a přináší jejich základní přehled. Cílem této práce je návrh, konstrukce a programování tříprstého manipulačního koncového efektoru. Koncový efektor je navržen s využitím stavebnice ROBOTIS Premium, především servomotorů Dynamixel, senzoriky a dílů Bioloid, a dílů vyrobených pomocí aditivní technologie 3D tisku. Toto tříprsté chapadlo je možné používat ve dvou konfiguracích: centrické pro uchopování sférických předmětů a paralelní pro uchopování cylindrických předmětů. Funkce tohoto koncového efektoru byla úspěšně experimentálně ověřena. Hlavními benefity tohoto chapadla je schopnost přizpůsobit se tvaru a velikosti uchopovaného předmětu a samostatně zahájit jeho úchop.

Abstract

This bachelor thesis is focused on robotic end-effectors, grippers in particular and is bringing their general overview. Goal of the thesis is design, assembly and programming of three finger gripper. The effector is designed using ROBOTIS Premium building set, especially Dynamixel actuators, obstacle detector and Bioloid frames, 3D printed parts. It is possible to use this three finger gripper in two configurations: centric for grasping spherical objects and parallel for grasping cylindrical objects. Functionality of this end-effector was successfully experimentally verified. Main benefits of the gripper are: its ability to adapt to shape and size of grasped object and to automatically initiate its grasping.

Klíčová slova

koncový efektor, gripper, robotika, robotický manipulátor, adaptivita

Keywords

end-effector, gripper, robotics, robotic manipulator, adaptivity

Citace

STOSZEK, Šimon. *Návrh koncového efektoru robotu*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Radomila Matouška, Ph.D. a uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

Šimon Stoszek

Děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Radomilu Matouškovi, Ph.D za vedení a přínosné rady při vypracování této bakalářské práce.

Šimon Stoszek

Obsah

1	Úvod	3
2	Přehled současného stavu poznání	4
2.1	Rozdělení podle typu úchopu	5
2.1.1	Dvouprsté grippery	5
2.1.2	Víceprsté grippery	6
2.1.3	Podtlakové grippery	7
2.2	Adaptivní grippery	7
2.3	Tříprsté grippery	8
2.3.1	SCHUNK PZN-plus	9
2.3.2	FESTO MultiChoiceGripper	10
2.3.3	Tříprstý adaptivní gripper Robotiq	11
3	Analýza problému a cíl práce	12
3.1	Zadání práce	12
3.2	Popis návrhu gripperu	12
4	Koncepční řešení	13
4.1	Návrh rozložení	13
4.1.1	Schéma rozložení prstů gripperu	13
4.1.2	Návrh mechanismu natočení prstů gripperu	13
4.2	Návrh prstů	14
4.2.1	Servomotory Dynamixel AX-12A	15
4.2.2	Díly Bioloid	15
4.2.3	Kinematické a dynamické parametry prstů	15
5	Konstrukční řešení	17
5.1	Sestava	18
5.2	Díly vyrobené metodou 3D tisku	18
5.2.1	Horní deska	18
5.2.2	Spoj	19
5.2.3	Podložka	19
5.2.4	Podstava	19
5.3	Sestavení	20
5.4	Programování	23
5.4.1	Demonstrační program	23
6	Diskuze	25

7 Závěr	26
Literatura	27
A Grafická reprezentace demonstračního programu	29
B Zdrojový kód demonstračního programu	35

Kapitola 1

Úvod

V roce 1954 si americký vynálezce a podnikatel George Devol nechal patentovat návrh průmyslového robota. O pět let později Devolova firma *Unimate* instalovala stejnojmenného robota v továrně General Motors v New Jersey, kde vykonával tzv. *pick-and-place*¹ úlohu. V roce 1969 výzkumníci na Stanfordově univerzitě postavili průmyslový manipulátor s 6-ti stupni volnosti (6DoF), čímž umožnili využít roboty také pro širší spektrum operací, například sváření či montáž dílů. Od osmdesátých let minulého století začaly celosvětové prodeje robotů exponenciálně narůstat.[1] Za tři čtvrtě století od Devolova patentu se robotika výrazně rozvinula a rozšířila z průmyslu do mnoha dalších odvětví. Kvůli rozmanitosti prostředí, ve kterých dnes roboti pracují, a úloh, které jsou schopni vykonávat se vývoj robotických koncových efektorů stal důležitou disciplínou.

V dnešní době je schopnost přizpůsobit výrobu pro malé dávky (až na úroveň kusové výroby) jedním z hlavních trendů v oblasti výzkumu „chytrého“ průmyslu (Průmyslu 4.0). Taková flexibilita výroby klade nové nároky na automatizovaná pracoviště. Jak píše *Bernhard Wally et al.* [18], konkrétní konfigurace produktů a specifikace přesných výrobních postupů nemusí být předem specifikovány, pokročilé plánování výroby může v průběhu navrhnout nebo modifikovat konkrétní výrobní postupy pro dosažení optimálního výsledku dle aktuálně dostupných prostředků výrobní linky. Z toho je zřejmé, že jednotlivé prvky flexibilní výrobní linky musí být dostatečně adaptivní, aby dokázaly těmto požadavkům vyhovět. Toto platí také pro koncové efekторы robotů. Adaptivní koncový efektor schopný přizpůsobit se produktu může výrazně ušetřit čas i ekonomické zdroje v porovnání s použitím více jednoúčelových zařízení.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a zkonstruovat adaptivní manipulační koncový efektor robotu, který bude schopen poskytnout základní zpětnou vazbu a přizpůsobit se uchopovanému objektu. V průběhu návrhu, konstrukce a testování tohoto efektoru je úkolem této práce detekovat a popsat problémy a výzvy spojené s jeho vývojem.

¹Tento název označuje robotickou operaci přemísťování objektů z jednoho pracovního prostoru do jiného.

Kapitola 2

Přehled současného stavu poznání

Cíl této kapitoly je poskytnout základní přehled robotických koncových efektorů sloužících pro uchopování předmětů. Koncový efektor je v robotice obecný název pro zařízení, umístěné obvykle na konci kinematického řetězce robotického ramene, sloužící k interakci s okolním prostředím. Koncové efekторы pro průmyslové roboty a manipulátory můžeme rozdělit podle činností, kterými jsou [19]:

1. vkládání objektů do pracovního prostoru výrobních zařízení a jejich vyjímání,
2. mezioperační manipulace,
3. technologické operace,
4. kontrolní operace,
5. speciální práce.

Z konstrukčního hlediska lze koncové efekторы rozdělit na [19]:

- technologické,
- manipulační,
- kombinované,
- speciální.

Příkladem technologických koncových efektorů může být uchopovací chapadlo, ale i svařovací hlavice nebo lepicí pistole. Tato práce je zaměřena pouze na manipulační koncové efekторы (neboli chapadla), především tříprstého typu. Robotická uchopovací chapadla se v českém prostředí také označují uchopovače, případně anglickým termínem *gripper* (česky vyslovováno [*gripr*]). V této práci bude používán především výraz *gripper*.

Volba správného robotického koncového efektoru je klíčová pro úspěšnou automatizaci procesu. I přesto je dnes obtížné najít aktuální přehled koncových efektorů a jejich příkladů, který by mohl posloužit k rychlé orientaci v této problematice. V první sekci (viz 2.1) je uvedeno základní rozdělení gripperů podle typu úchopu a příklady průmyslových řešení. Ve druhé sekci (viz 2.2) je popsána adaptivita gripperů, která je klíčovou pro flexibilní použití těchto koncových efektorů. Třetí sekce (viz 2.3) je zaměřena na tříprsté grippery a konkrétní příklady jejich současných pokročilých řešení.

2.1 Rozdělení podle typu úchopu

Monkman et al. [5] definují grippery jako podmnožinu manipulačních systémů, které poskytují dočasný kontakt s předmětem, jež má být uchopen. Zajišťují jeho pozici a orientaci při přenosu a spojení s manipulačním zařízením. Úchop je možný díky působení síly na předmět tvarově odpovídajícími prvky. Pojem *gripper* je také často používán v případech, kde předmět úchopu není svírán několika prvky, ale je spíše držen (například pomocí podtlaku), a kde síla působí v bodě, v přímce nebo na spojitém povrchu.

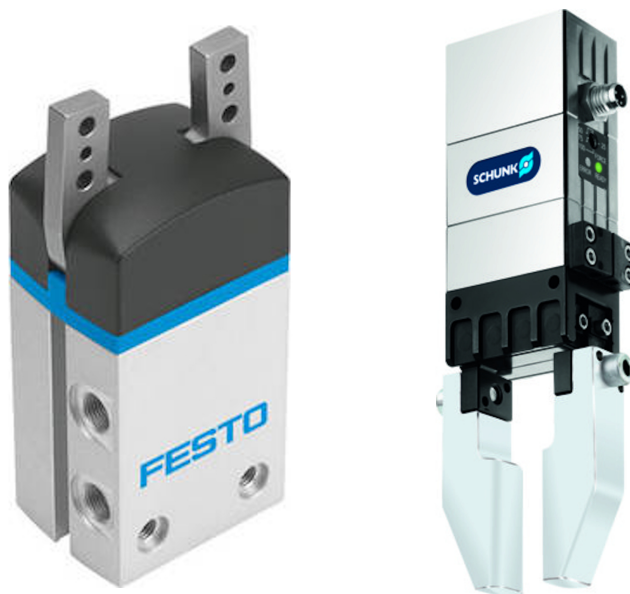
Tato sekce uvádí základní přehled nejpoužívanějších kategorií robotických gripperů pro rychlou orientaci a příklady některých průmyslových řešení.

2.1.1 Dvouprsté grippery

Dvouprsté grippery jsou pro svou jednoduchost a nízkou cenu pravděpodobně nejpoužívanějším typem robotického chapadla. Jsou vhodné pro manipulaci s mnoha předměty, především v situacích, kdy má uchopovaný předmět pravidelný tvar a není lehce deformovatelný.

Dvouprsté grippery můžeme rozdělit podle pohybu prstů (označovaných také čelisti):

- *Paralelní grippery*: Prsty se pohybují přímočaře proti sobě.
- *Úhlové grippery*: Prsty vykonávají rotační, případně kyvný pohyb. Jsou vhodnou alternativou k paralelním gripperům především tehdy, když uchopované předměty nemají v místě úchopu konstatní tloušťku.



Obrázek 2.1: **Dvouprsté grippery.** Vlevo *úhlový gripper* FESTO [4] s pneumatickým pohonem, vpravo *paralelní gripper* SCHUNK [12] s elektrickým pohonem.

V průmyslovém prostředí jsou oblíbenými výrobci dvouprstých gripperů společnosti FESTO a SCHUNK. Grippery obou těchto firem jsou vyráběny v nejrozličnějších variantách a velikostech. Na výběr je i typ pohonu (pneumatický nebo elektrický). Příklady těchto gripperů jsou zobrazeny na obrázku 2.1.

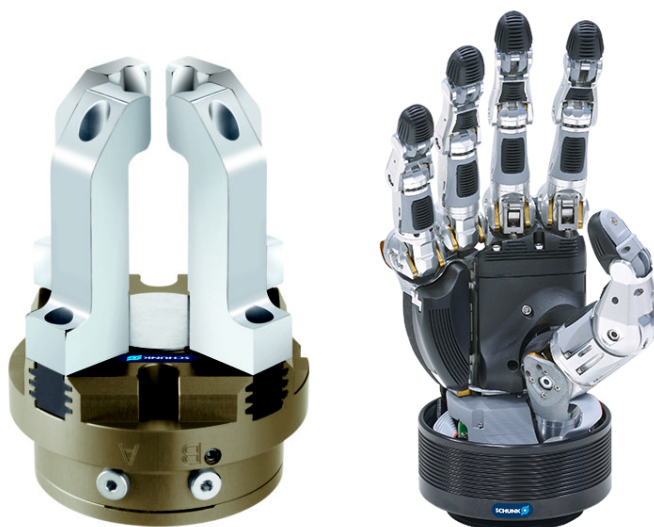
Při výběru gripperu je potřeba dále zvážit, jestli bude využíván pro úchop předmětu zevně nebo zevnitř. Výrobci obvykle tyto grippery vyrábějí ve variantách se zabezpečením síly při otevírání nebo při zavírání.

2.1.2 Víceprsté grippery

Do této kategorie spadají také tříprsté grippery, těm však je z povahy této práce věnována samostatná sekce (viz. 2.3) na konci této kapitoly. Tato sekce z tohoto důvodu uvádí pouze příklady gripperů se čtyřmi a více prsty.

Víceprsté grippery se v průmyslu využívají převážně v situacích, kde:

- úchop předmětu pouze ve dvou bodech není vhodný nebo možný,
- je potřeba maximalizovat styčnou plochu mezi uchopovaným předmětem a gripperem,
- je potřeba vystředit polohu uchopovaného předmětu pro další manipulaci,
- prvky množiny uchopovaných předmětů jsou nekonzistentního tvaru a je potřeba se jim přizpůsobit¹.



Obrázek 2.2: Čtyřprstý středící gripper SCHUNK PZV a pětiprstý kolaborativní gripper SCHUNK SVH.

Víceprsté grippery se mezi sebou liší nejen počty prstů, ale také konstrukcí jednotlivých prstů, počtem kloubů, a tedy počtem stupňů volnosti. Díky tomu mají odlišné uchopovací schopnosti a při jejich výběru je potřeba dobře zvážit vhodnost použití, protože cena těchto gripperů se v závislosti na jejich schopnostech výrazně liší.

Nejzákladnějším čtyřprstým gripperem je SCHUNK PZV, který je dle výrobce vhodný pro ukládání obrobků cylindrického tvaru do beden [15] (viz obrázek 2.2). Pětiprstá an-

¹Grippers, které se dokážou přizpůsobit tvaru uchopovaného předmětu, se nazývají *adaptivní*. Adaptivnost gripperů je stručně popsána v sekci 2.2.

tropomorfní kolaborativní² ruka SCHUNK SVH [14] s dvaceti stupni volnosti (20 DoF) je průmyslové řešení věrně napodobující chování lidské ruky. Podle výrobce je tento gripper připraven k sériové výrobě a je schopen výrazně rozšířit okruh robotických operací a spolupráci robota s člověkem.

2.1.3 Podtlakové grippery

Podtlakové (také vakuové či přísavkové) robotické grippery jsou standardními koncovými efekty ve výrobě díky jejich vysoké flexibilitě [9]. Tyto grippery jsou složeny především z gumové nebo pěnové sací části, která je v kontaktu s uchopovaným předmětem [9] a dále z podtlakové komory, která využívá ke své činnosti ejektor nebo vývěvu [19]. Podtlakové sací grippery jsou preferovány v aplikacích, kde by kontaminace produktu znamenala problém (například manipulace s potravinami nebo elektronikou) [10].

Výrobce těchto gripperů je například švédská společnost UniGripper, která se kromě vlastních standardních gripperů (viz obrázek 2.3) zabývá i výrobou gripperů na míru pro konkrétní operace.



Obrázek 2.3: Podtlakový gripper Co/Light společnosti UniGripper. [16].

2.2 Adaptivní grippery

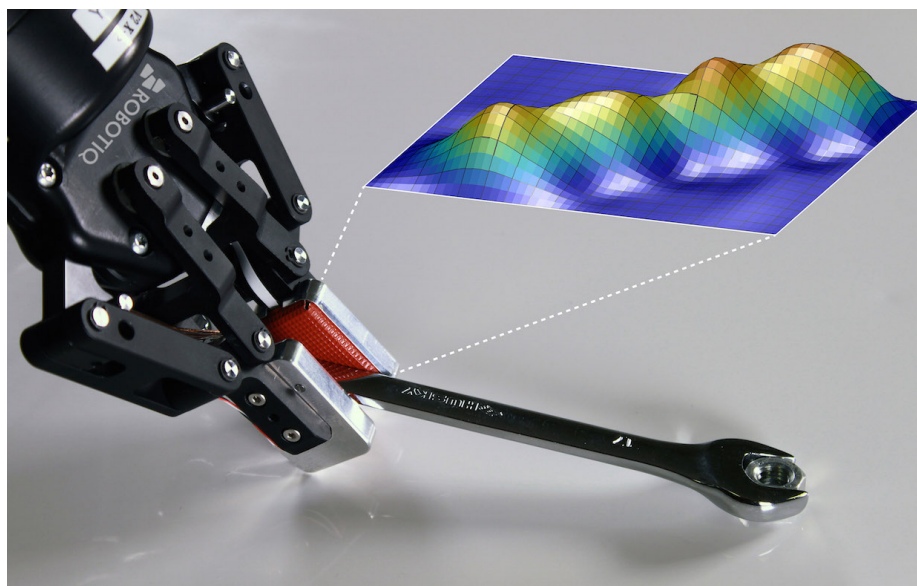
Adaptivitu můžeme definovat jako proces, při kterém se systém přizpůsobuje změnám probíhajícím uvnitř nebo mimo něj. Jinými slovy adaptivní robot je schopen detekovat změny ve svém pracovním prostředí a reagovat na ně. Vzhledem k tomu, že koncové efekty zpravidla zajišťují interakci robota s jeho pracovním prostředím, je jejich adaptivnost velkou výhodou. Pro sledování prostředí se často osazují různými snímači a senzory. Sensory umístěné na gripperech zprostředkovávají informace o sevření předmětu, popřípadě zatížení

²Kolaborativní zařízení je schopno spolupráce s člověkem, aniž by jej ohrozilo na zdraví. Taková zařízení musí splňovat přísné normy a být certifikována příslušnou komisí.

koncového členu, o jeho interakci s překážkami v prostředí, o prokluzu předmětu v gripperu apod. [19]

K tomuto účelu se využívají například kamery (získávající 2D nebo 3D obraz), dále senzory vzdálenosti, senzory sil a momentů nebo taktilní senzory. Taktilní senzory jsou definovány jako prvky schopné snímat informaci o dotyku s jiným prvkem a převádět ji na elektrický signál. Taková informace může být využita pro upravení úchopu předmětu. Taktilní snímače mohou být jednoduchá zařízení schopna pouze indikovat dotyk, jiná umožňují měřit tlak v místě dotyku [17]. Vědci z École de Technologie Supérieure (ÉTS) v Montrealu osadili taktilními senzory tříprstý gripper společnosti Robotiq³ a pomocí měřených dat se snažili zlepšit schopnost adaptivního uchopování rozličných předmětů. Jak popisují ve článku z roku 2016 [2], povedlo se jim tímto způsobem vytvořit systém, který je schopen v 83 % případů korektně předvídat selhání úchopu. Vizualizace informací získaných z taktilního snímače je ilustrována na obrázku 2.4.

Pro některé účely je dostačující a ekonomicky výhodné využít systém tzv. *mechanické adaptivity* definované jako vhodně zvolený způsob pohybů úchopných a periferních prvků robotického systému, který dokáže požadovaným způsobem manipulovat s různými předměty úchopu [19]. Gripperu využívající mechanickou adaptivitu se dokážou do jisté míry přizpůsobit tvaru uchopovaného předmětu pouze na základě silového působení mezi uchopovaným předmětem a gripperem. Příkladem využití mechanické adaptivity je podtlakový gripper *FlexShapeGripper* společnosti FESTO [3] (viz obrázek 2.5).

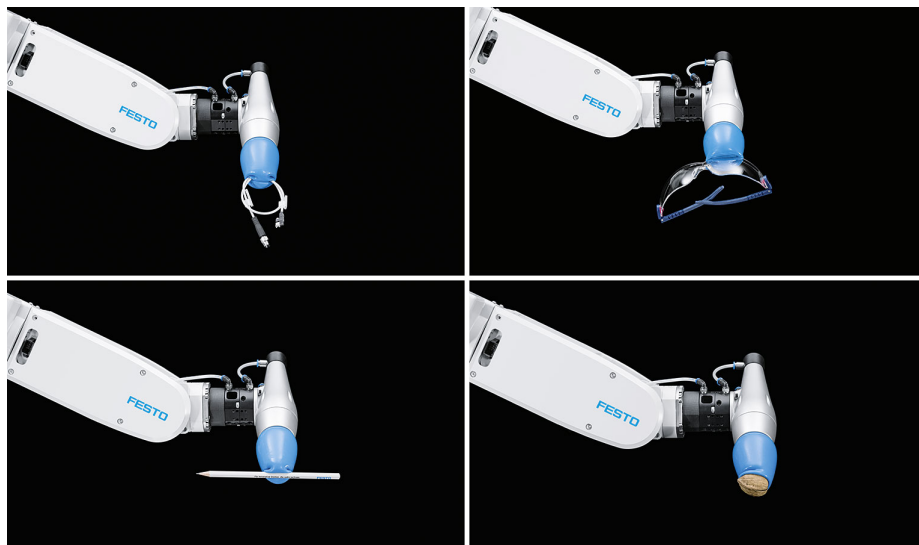


Obrázek 2.4: Vizualizace informací získaných z taktilního snímače [2].

2.3 Tříprsté gripperu

Ačkoliv jsou dvouprsté gripperu dostatečně vhodné pro použití při mnoha robotických úlohách, potřeba vyšší citlivosti při uchopování křehkých nebo měkkých předmětů ospravedlňuje použití gripperu tříprstého typu navzdory jeho vyšší výrobní ceně a složitosti [10].

³Tento tříprstý gripper je blíže představen v kapitole 2.3.3.



Obrázek 2.5: Gripper *FlexShapeGripper* společnosti FESTO využívající mechanickou adaptivnost pro uchopování předmětů rozličných tvarů. [3].

Nejvhodnějším uchopovacím systémem je lidská ruka, ale její technické napodobení je obtížné; jako optimální řešení se tak jeví tříprsté grippery [19]. V závislosti na počtech stupňů volnosti, schopnosti adaptivity, velikosti nebo maximální úchopné síly jsou však i mezi tříprstými grippery velké rozdíly v ceně a použitelnosti.

2.3.1 SCHUNK PZN-plus

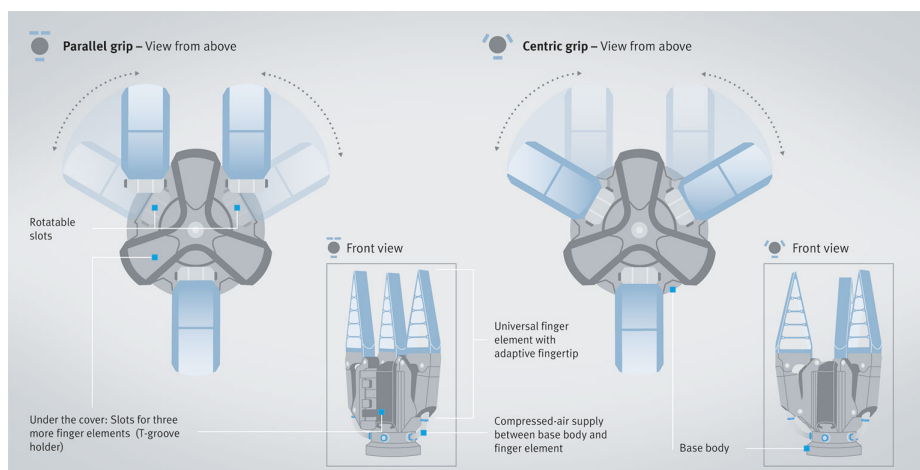
Jednoduchým průmyslovým řešením tříprstého gripperu je SCHUNK PZN-plus [13] (viz obrázek 2.6), tříprsté středící chapadlo s velkou uchopovací silou, které je možné použít i v prostředí vyžadujícím chemickou nebo tepelnou odolnost. Tento gripper je možné pořídit v mnoha velikostech a verzích. Jeho nevýhodou je nízký počet stupňů volnosti a tedy poměrně nízká flexibilita.



Obrázek 2.6: Tříprstý gripper PZN-plus společnosti SCHUNK. [13].

2.3.2 FESTO MultiChoiceGripper

MultiChoiceGripper [11] je tříprstý gripper firmy FESTO, který je schopen měnit natočení prstů pro paralelní nebo centrický úchop (viz obrázek 2.7). Tento gripper nabízí možnost výměny jednotlivých prstů z produkce FESTO, nejzajímavějšími z nich jsou mechanicky adaptivní prsty *Fin Ray* (viz obrázek 2.8), které jsou díky svému unikátnímu řešení vhodné pro úchop velmi širokého spektra předmětů. K tomuto gripperu je možné připojit další, až tři prsty a jednoduše jej přeměnit ve čtyřprstý, až šestiprstý gripper.



Obrázek 2.7: Znázornění paralelního a centrického úchopu gripperu FESTO MultiChoice-Gripper. [11].



Obrázek 2.8: FESTO MultiChoiceGripper s mechanicky adaptivními prsty Fin Ray. [11].

2.3.3 Tříprstý adaptivní gripper Robotiq

Tento tříprstý gripper (viz obrázek 2.9) je schopen se přizpůsobit tvaru uchopovaného objektu díky čtyřem možným konfiguracím úchopu. V případě, že všechny prsty obejmou uchopovaný předmět, dokáže unést až 10 kg, v případě, že jej drží pouze mezi konečky prstů, má nosnost 2,5 kg [6]. Díky své pokročilosti, robustnosti a možnosti získávat zpětnou vazbu od každého prstu, je vhodným řešením pro průmysl i výzkum.



Obrázek 2.9: Tříprstý adaptivní gripper společnosti Robotiq. [6].

Kapitola 3

Analýza problému a cíl práce

Cílem této práce je navrhnout, zkonstruovat a otestovat vlastní řešení tříprstého robotického gripperu. Dalším cílem je popsat výhody i problémy, které provedené řešení přineslo a zhodnotit jeho funkčnost.

3.1 Zadání práce

Zaměřením práce je konstrukční návrh, výroba a programování koncového efektoru robotu. Návrh předpokládá využití aditivních technologií výroby. Cíle, kterých má být dosaženo:

- Rešerše efektorů, obzvláště tříprstého typu.
- Návrh a realizace konstrukce gripperu založená na servomotorech Dynamixel a přídatné sensorice.
- Tvorba demonstrační úlohy a realizace experimentů včetně vyhodnocení.
- Popis a zhodnocení dosažených výsledků.

3.2 Popis návrhu gripperu

Předměty, které gripper má být schopen uchopit, budou cylindrického nebo sférického tvaru. Gripper sám detekuje, zda je předmět připraven k uchopení a při úchopu se přizpůsobí jeho tvaru. Gripper bude složen z těla gripperu obsahujícího řídicí jednotku a přídatnou sensoriku a tří prstů, které budou moci být v předstihu snadno natočeny pro úchop sférického, nebo cylindrického předmětu.

Pro konstrukci robota budou využity servomotory a díly stavebnice *ROBOTIS Premium* [8]. Ostatní díly budou vyrobeny technologií 3D tisku.

Kapitola 4

Koncepční řešení

Tato kapitola je věnována návrhu tříprstého robotického gripperu. V první sekci (viz 4.1) je popsáno rozložení prstů a způsob jejich natáčení, ve druhé sekci (viz 4.2) je popsán návrh jednotlivých prstů.

4.1 Návrh rozložení

Návrh gripperu předpokládá, že uchopované předměty budou cylindrického nebo sférického tvaru. Pro spolehlivé uchopení obou tvarových typů je potřeba zajistit natáčení dvou prstů tak, aby bylo možné dosáhnout centrické nebo paralelní konfigurace. Centrická konfigurace se používá pro uchopení tělesa sférického tvaru, v této konfiguraci jednotlivé prsty směřují do středu dlaně gripperu a siločáry působící na uchopované těleso směřují v ideálním případě do jediného středového bodu. Paralelní konfigurace se používá pro uchopení tělesa cylindrického tvaru, v této konfiguraci jsou dva prsty postaveny paralelně k třetímu a siločáry působící na uchopované těleso jsou mimoběžné přímkami.

4.1.1 Schéma rozložení prstů gripperu

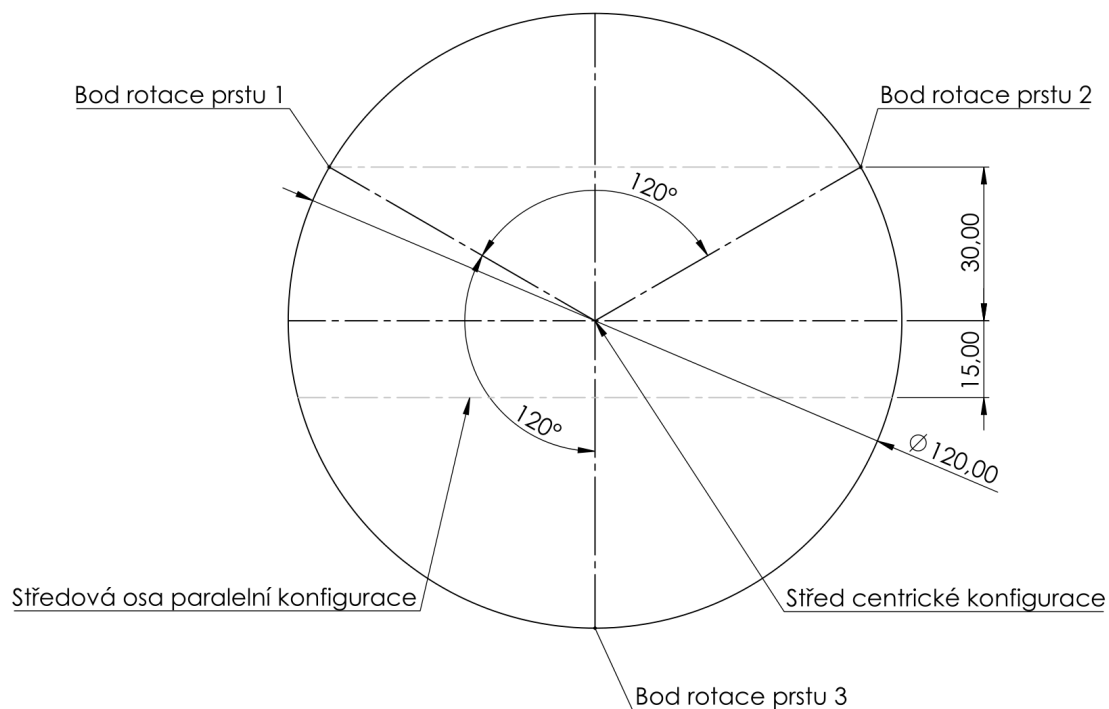
Nákres navrhovaného rozložení prstů je na obrázku 4.1. Všechny tři prsty leží na kružnici o průměru 120 mm, resp. na této kružnici leží body rotace jednotlivých prstů. Spojíme-li jednotlivé body rotace úsečkami se středem výše uvedené kružnice, získáme střed gripperu. Střed gripperu je shodný se středem centrické konfigurace. Středová osa paralelní konfigurace je přímkou rovnoběžná ke spojnici prstů posunutá o 45 mm směrem ke středu gripperu.

4.1.2 Návrh mechanismu natočení prstů gripperu

Pro natáčení prstů a tedy změnu konfigurace gripperu z centrické na paralelní a naopak byly uvažovány dva způsoby:

1. natočení servomotorem,
2. manuální natočení.

Natočení servomotorem předpokládá rotační vazbu prstů 1 a 2 s horní deskou gripperu v odpovídajících bodech rotace a pevnou vazbu mezi prstem. Dále propojení prstů 1 a 2 systémem čtyř ozubených kol, z nichž by jedno bylo napojeno na servomotor. Pro změnu natočení by se hřídel servomotoru natočil o požadovaný úhel a systém ozubených kol by



Obrázek 4.1: Nákres rozložení prstů tříprstého gripperu.

zajistil synchronizované natočení prstů 1 a 2 o tentýž úhel, směrem do středu (pro dosažení centrické konfigurace) nebo opačným směrem (pro dosažení paralelní konfigurace).

Manuální natočení taktéž předpokládá rotační vazbu všech prstů s horní deskou gripperu v odpovídajících bodech rotace. Dále předpokládá možnost zafixování prstů pomocí šroubového spoje.

Během konstrukčního řešení bylo realizováno řešení *manuálním natočením* z těchto důvodů:

1. Kvůli délce kabelů pro spojení servomotorů s řídicí jednotkou ROBOTIS CM-530 a její velikosti nebyl v těle gripperu dostatečný prostor pro umístění systému ozubených kol tak, aby řídicí jednotka byla dostupná pro ovládání.
2. Manuální natáčení umožňuje jednoduše a rychle natáčet prsty podle potřeby i do jiných konfigurací.
3. Použití manuálního natáčení znamená redukci váhy a složitosti mechanismu.

4.2 Návrh prstů

Návrh předpokládá sestavení jednotlivých prstů gripperu pomocí servomotorů Dynamixel AX-12A a jejich spojování pomocí dílů ze stavebnice ROBOTIS Premium [8]. Pohyb servomotorů bude řídit řídicí jednotka CM-530.

4.2.1 Servomotory Dynamixel AX-12A

Každý servomotor Dynamixel AX-12A bude představovat článek a kloub prstu. Každý prst pak bude reprezentován dvěma servomotory. Dohromady bude mít každý prst dva stupně volnosti, jejichž pohyb bude řízen servomotorem. Jeden stupeň volnosti představující manuální natočení prstu (viz 4.1.2) není do počtu stupňů volnosti prstu započítán, jelikož bude před úchopem zpravidla zafixován a vytvoří se tak v tomto spoji pevná vazba.

Dynamixel AX-12A [7] je sériově řízený servomotor o vnějších rozměrech $32 \times 50 \times 40$ mm a váze 54,6 g. Pro snímání pozice využívá zabudovaný potenciometr. Maximální moment, který dokáže produkovat je 1,5 Nm.

4.2.2 Díly Bioloid

Pro spojení servomotorů Dynamixel budou použity díly *Bioloid*, které jsou přímo pro tyto servomotory určeny. Tyto díly vyrábí společnost ROBOTIS. Pro spojení servomotorů půjde konkrétně o díly pod označením FP04-F3 a FP04-F2. Tyto díly jsou zobrazeny na obrázku 5.1. Každý servomotor bude mít na sobě dále připevněn díl FP04-F7, který bude vytvářet plochu pro styk s uchopovaným předmětem.

4.2.3 Kinematické a dynamické parametry prstů

Kinematické řetězce jednotlivých prstů gripperu jsou tvořeny pevnou vazbou s horní deskou gripperu třemi rameny a dvěma rotačními vazbami (viz schéma na obrázku 4.2).

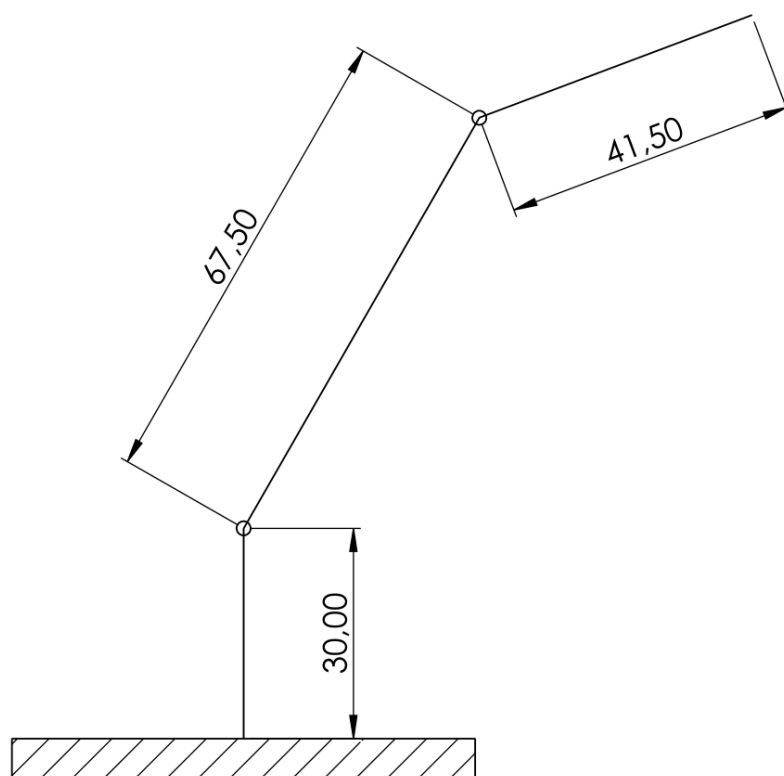
V případě, že by gripper uchopil předmět v konfiguraci kinematického řetězce s maximální délkou (jinými slovy nataženými prsty) a bod styku prstů s předmětem byl v bodě na otevřeném konci kinematického řetězce, můžeme vypočítat sílu, kterou by prsty na předmět působily pomocí vzorce momentu síly:

$$M = F \cdot r \cdot \cos \alpha,$$

kde M je moment, kterým gripper působí na předmět, v tomto případě maximální moment servomotoru (viz 4.2.1), F je síla, kterou chceme vypočítat, r je rameno, na kterém moment působí a $\cos \alpha$ položíme jedné, neboť hodnotu síly počítáme pro nejméně příznivý případ úchopu (tzn. když výslednice síly je kolmá na rameno r). Nyní můžeme sílu F z tohoto vztahu vyjádřit a vypočítat:

$$\begin{aligned} F &= \frac{M}{r \cdot \cos \alpha} \\ F &= \frac{1,5}{(67,5 + 41,5) \cdot 10^{-3} \cdot 1} \\ F &= 13,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Takovou silou by každý prst působil na předmět v případě, že by prsty gripperu byly maximálně natažené a styk s předmětem by byl v bodě na úplném konci prstu.

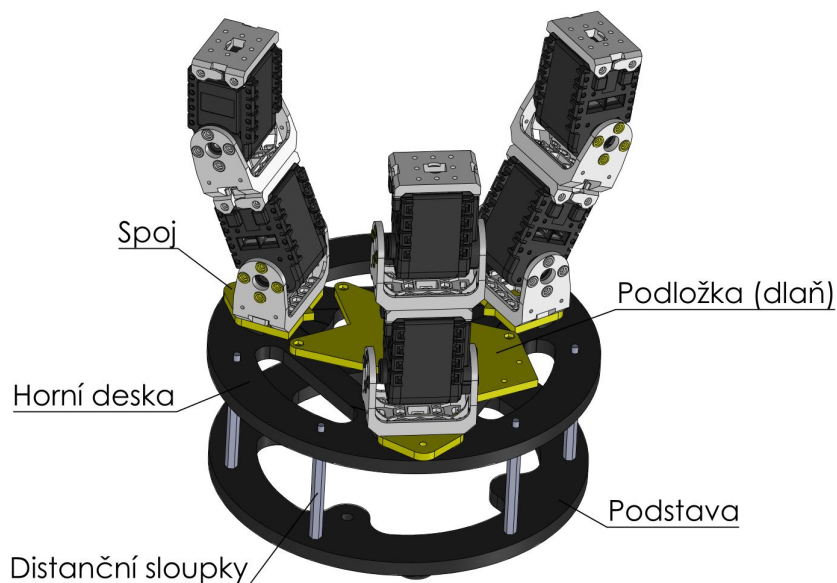


Obrázek 4.2: Schéma kinematického řetězce prstu.

Kapitola 5

Konstrukční řešení

Tato kapitola popisuje konstrukční řešení, výrobu některých dílů, následné celkové sestavení a naprogramování prezentačního programu. Konstrukce gripperu byla navržena ve student-ské verzi strojírenského 3D CAD nástroje SOLIDWORKS. Prsty gripperu byly vytvořeny s využitím servomotorů Dynamixel a stavebnice Bioloid ze setu ROBOTIS Premium [8], jak bylo navrženo v předchozí kapitole (viz 4.2.1 a 4.2.2). Z tohoto setu [8] byla také použita řídicí jednotka CM-530 a IR senzor překážek. Dále bylo dokoupeno toto vybavení: spojovací materiál, distanční sloupky (6ks), přístrojové nožičky (3ks) a protiskluzová fólie. Ostatní díly byly modelovány ve 3D CAD programu SOLIDWORKS a následně vytištěny na 3D tiskárně Original Prusa i3 MK3.



Obrázek 5.1: Model sestavy tříprstého gripperu.

5.1 Sestava

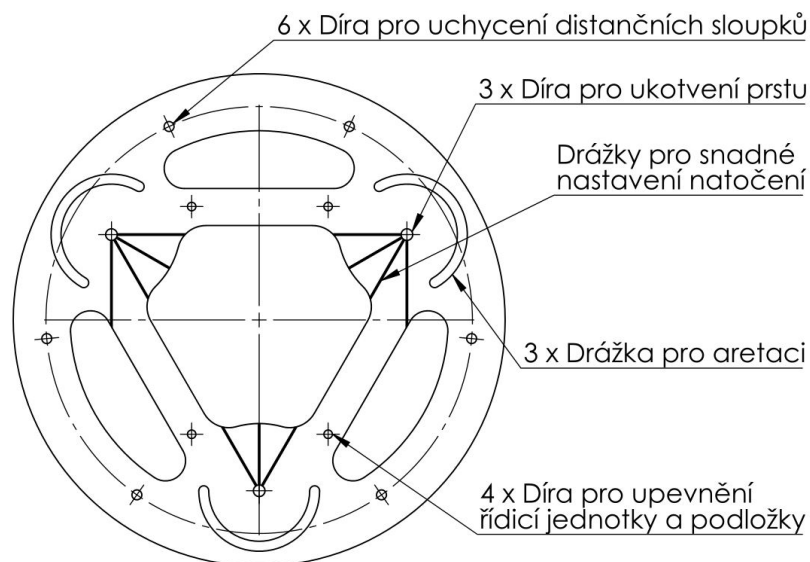
Model sestavy gripperu je na obrázku 5.1. Jednotlivé díly vlastní výroby jsou popsány v následující sekci 5.2. Tělo gripperu sestává z podstavy, distančních sloupků a horní desky, která nese jednotlivé prsty. Pro uchycení každého prstu k horní desce byl vytvořen spojovací díl, který umožňuje natáčení prstu a následnou aretaci. K horní desce je z její spodní strany připevněn kontroler CM-530 a z horní strany podložka sloužící jako dlaň gripperu a také jako nosič pro IR senzor překážek. Pro spojování dílů byly použity šroubové spoje. Celková hmotnost gripperu je 868 g.

5.2 Díly vyrobené metodou 3D tisku

Tato sekce popisuje jednotlivé díly tisknuté na 3D, jejich funkční části a parametry. Všechny díly byly vytištěny na tiskárně Original Prusa i3 MK3 z materiálu PLA. Tisk byl vždy nastaven na tloušťku vrstvy 0,10 mm.

5.2.1 Horní deska

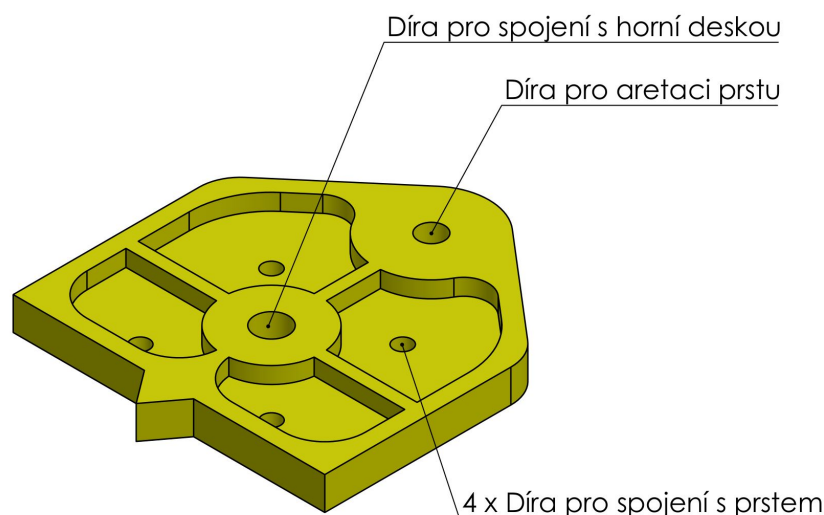
Horní deska má vnější průměr 173 mm a tloušťku 7 mm. Obsahuje tři díry o průměru 4,1 mm pro upnutí prstů a tři půlkruhové drážky o tloušce 3,5 mm pro aretaci prstů. Pro snadnější nastavení polohy prstů vedou od každé díry pro upnutí prstu půlmilimetrové drážky. Po obvodu je rozmístěno šest děr o průměru 3,5 mm pro přišroubování distančních sloupků. Ve středu jsou rozmístěny čtyři díry o průměru 3 mm, které slouží pro upnutí řídicí jednotky CM-530 ze spodní strany a podložky z horní strany. Tisk této části byl proveden s 80 % výplní a váha tohoto dílu je 110 g.



Obrázek 5.2: Náčrty horní desky s popisem.

5.2.2 Spoj

Spoj slouží pro upevnění jednotlivých prstů k horní desce a k jejich následné aretaci. Obsahuje jednu díru o průměru 4,1 mm pro šroubové spojení s horní deskou, čtyři díry o průměru 2 mm pro spojení s dílem FP04-F2, který je součástí prstu, a jednu díru o průměru 3,2 mm pro aretaci prstu. V přední části je zobáček, který slouží pro snadné nastavení směru natočení prstu. Tloušťka tohoto dílu je 4 mm. Tisk byl proveden se 100 % výplní a váha tohoto dílu je 4 g.



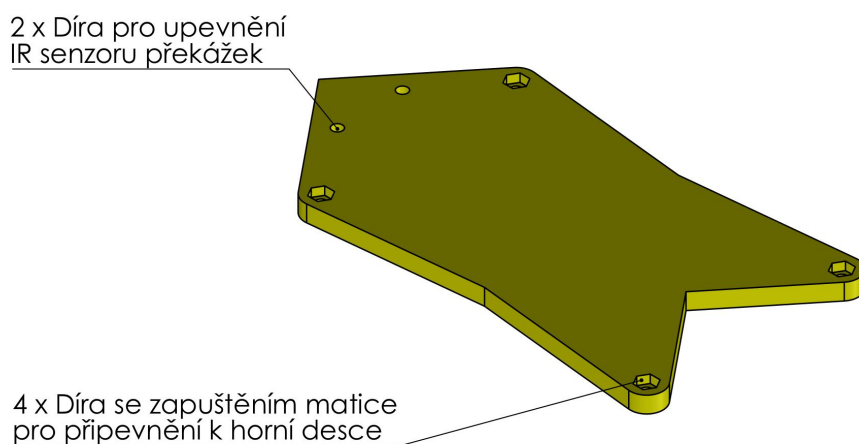
Obrázek 5.3: 3D zobrazení spoje s popisem.

5.2.3 Podložka

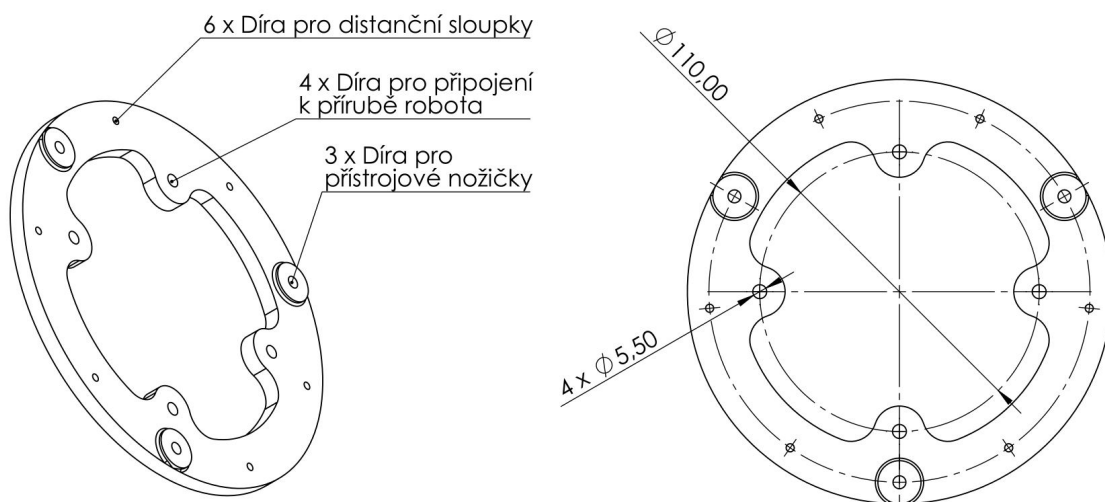
Tento díl slouží jako dlaň gripperu a jako nosič IR senzoru překážek. Pro připevnění k horní desce obsahuje čtyři díry o průměru 2,5 mm se zapuštěním pro matici M2 a dvě díry o průměru 2,5 mm pro připojení IR senzoru překážek. Tloušťka tohoto dílu je 4 mm. Tisk byl proveden se 100 % výplní a váha tohoto dílu je 23 g.

5.2.4 Podstava

Podstava je spodní část gripperu. Slouží pro stabilní postavení gripperu na podložku pro jeho prezentační účely a také pro upnutí k přírubě robota. Obsahuje šest děr o průměru 3,2 mm pro přišroubování distančních sloupků. Dále čtyři díry o průměru 5,5 mm pro připojení k přírubě robota. Pro připojení k robotovi se předpokládá vytištění dílu, který se pomocí čtyř šroubových spojů M5 upevní k podstavě a který bude obsahovat díry pro přišroubování ke konkrétní přírubě. Na spodní straně jsou tři díry pro nasazení přístrojových nožiček. Tloušťka tohoto dílu je 7 mm, tloušťka kolem děr pro přístrojové nožičky je 9 mm. Tisk této části byl proveden s 80 % výplní a váha tohoto dílu je 81 g.



Obrázek 5.4: 3D zobrazení podložky s popisem.

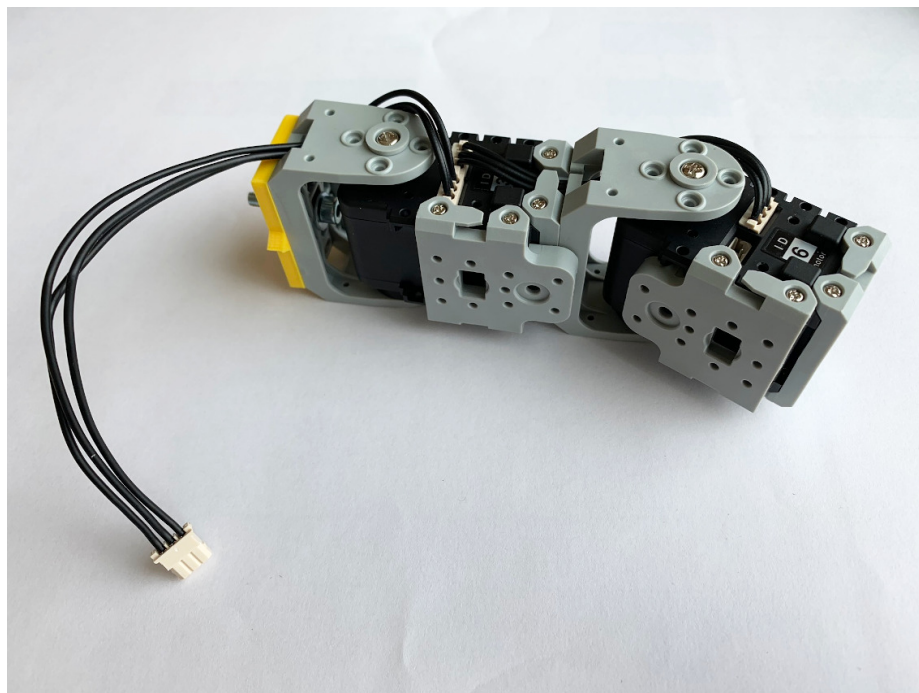


Obrázek 5.5: 3D zobrazení podstavy s popisem a výkres s rozměry pro připojení k přírubě robota.

5.3 Sestavení

Sestavení gripperu proběho v následujících krocích. V prvním kroku byly sestaveny jednotlivé prsty a propojeny servomotory. Pro každý prst bylo sestavení provedeno následovně:

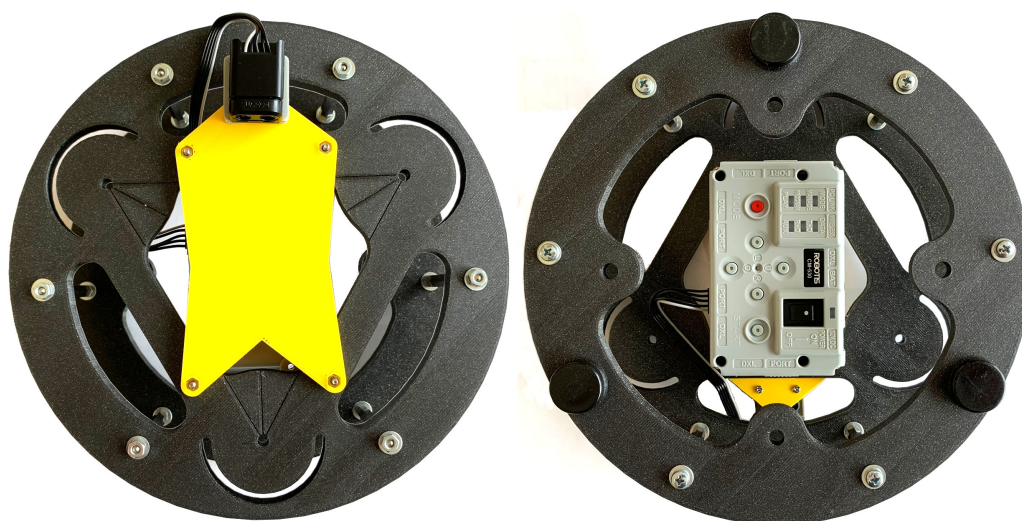
1. Spojení dílu Bioloid FP04-F2 a dílu *spoj*.
2. Spojení dvou servomotorů pomocí dílů Bioloid FP04-F3 a FP04-F2 (viz obrázek 5.6).
3. Nasazení dílů FP04-F3 a FP04-F7 na servomotory podle obrázku 5.6.
4. Propojení servomotorů kabely.



Obrázek 5.6: Sestavení prstu gripperu.

Ve druhém kroku byly spojeny dohromady díly *horní deska* a *podložka*, řídicí jednotka CM-530 a IR senzor překážek takto:

1. Montáž IR senzoru k horní straně dílu *podložka* (tj. strana se zapuštěním pro matice).
2. Sešroubování podložky, horní desky a řídicí jednotky k sobě (viz obrázek 5.7).



Obrázek 5.7: Spojení horní desky, podložky a řídicí jednotky.

Ve třetím kroku bylo dokončeno sestavení gripperu v těchto krocích:

1. Instalace tří přístrojových nožiček na díl *podstava*.
2. Montáž distančních sloupků k *podstavě*.
3. Montáž prstů na *horní desku*.
4. Spojení *horní desky* a *podstavy* pomocí distančních sloupků.

V posledním kroku byly servomotory a IR senzor překážek připojeny k řídicí jednotce. Celá sestava je zobrazena na obrázku 5.8.



Obrázek 5.8: Sestavený gripper.

5.4 Programování

Tvorba demonstračního programu probíhala v nástroji *RoboPlus Task* společnosti ROBOTIS, který je přímo určen pro programování servomotorů Dynamixel s použitím řídicí jednotky CM-530. Pro použití demonstračního programu je nutné jej nahrát do řídicí jednotky, kterou je možné připojit k osobnímu počítači pomocí USB kabelu, nastavit na řídicí jednotce mód PLAY a spustit pomocí tlačítka START.

5.4.1 Demonstrační program

Demonstrační program je vhodný pro uchopování s centrickou i paralelní konfigurací prstů. Při startu tohoto programu jsou prsty uvedeny do výchozí polohy. Dále je program tvořen nekonečným cyklem. Na začátku tohoto cyklu gripper čeká na umístění předmětu na podložku (tj. na dlaň gripperu). Poté, co je předmět umístěn, gripper se začne zavírat. Jednotlivé prsty uchopují předmět s předem daným momentem, který je možné ve zdrojovém kódu lehce změnit. Uchopování je řešeno zadáním pohybu servomotorů na určitou cílovou pozici. Po krátkém čase (dostatečném pro to, aby servomotory dosáhly cílové pozice) je servomotrům nastavena nová cílová pozice a sice ta aktuální. Tímto je dosaženo toho, že prst, který narazí na překážku se po krátkém čase přestane snažit dosáhnout cílové polohy, ale zastaví se a drží na místě. Po pěti sekundách, kdy gripper drží v úchopu daný předmět, se prsty vrátí do výchozí polohy. Poté se program vrací na začátek a znovu čeká na signál od IR senzoru překážek, že je předmět umístěn v dlani gripperu.

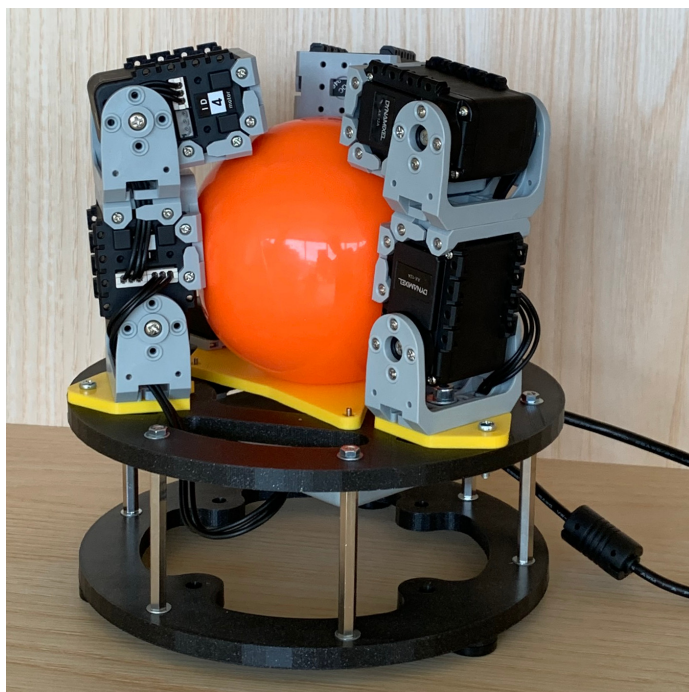
Pro přehled o aktuálním stavu gripperu je možné sledovat v programu RoboPlus Task výstup programu. Do tohoto výstupu demonstrační program tiskne čísla informující o tom, kterou část cyklu právě gripper vykonává. Zde je k dispozici vysvětlení jednotlivých čísel:

1. Gripper je na začátku cyklu.
2. Gripper čeká na umístění předmětu do dlaně, tedy na signál z IR senzoru překážek.
3. Gripper začíná uchopovat předmět.
4. Gripper začíná předmět držet.
5. Prsty gripperu se vrací do výchozí polohy.

Zdrojový kód tohoto programu je uveden v příloze B. Pro snadnější orientaci v programu je v příloze A přiložena grafická reprezentace demonstračního programu v prostředí editoru RoboPlus Task. Ukázka úchopu předmětu cylindrického tvaru v paralelní konfiguraci gripperu je zobrazena na obrázku 5.9. Ukázka úchopu předmětu sférického tvaru v centrické konfiguraci gripperu je zobrazena na obrázku 5.10.



Obrázek 5.9: Ukázka úchopu předmětu cylindrického tvaru v paralelní konfiguraci gripperu.



Obrázek 5.10: Ukázka úchopu předmětu sférického tvaru v centrické konfiguraci gripperu.

Kapitola 6

Diskuze

V kapitole *Přehled současného stavu poznání* (viz 2) byla podle zadání provedena rešerše robotických gripperů s důrazem na gripper tříprstého typu. Při hledání relevantních zdrojů bylo zjištěno, že je v této problematice nedostatek přehledných materiálů pro základní orientaci současných průmyslových řešení a názvosloví výrobců je nejednotné. Z tohoto důvodu je ona kapitola zaměřena pouze na manipulační koncové efekty a přináší přehled a příklady současných průmyslových řešení.

Při konstrukci se podařilo dosáhnout správné funkce gripperu (popsané v kapitole 4 *Koncepční řešení* 4), že gripper má být schopen uchopovat předměty cylindrického a sférického tvaru. Funkčnost řešení byla úspěšně otestována na předmětech různých velikostí, tvarů a materiálů. Bohužel se během návrhu ukázalo, že původně zamýšlené automatické natáčení prstů pomocí servomotoru (viz 4.1.2) není z konstrukčního hlediska vhodné. K úspěšné realizaci této varianty návrhu by bylo potřeba mít k dispozici delší kabely pro propojení servomotorů s řídicí jednotkou.

Požadavek zadání využít přídatnou senzorku byl při realizaci splněn využitím senzoru pro detekci překážek. Pomocí tohoto senzoru je gripper schopen samostatně uchopit předmět, který je mu vložen do dlaně. Problém nastává ve chvíli, kdy předmět je větší než vzdálenost mezi prsty v rovině dlaně. Takový předmět nemůže být umístěn až na dlaň (podložku) a senzor tak jeho přítomnost není schopen detekovat. Řešením by bylo umístit druhý senzor do vyšší polohy a snímat tak prostor mezi prsty ve dvou oblastech. Podle výstupů z těchto senzorů by následně mohlo být upraveno uchopování předmětů. Bohužel nebyla při konstrukčním návrhu nalezena vhodná pozice pro druhý senzor, aniž by docházelo ke kolizi s některým z prstů.

V poslední části práce byla vytvořena demonstrační úloha a byly provedeny experimenty. Na základě zkušeností z experimentů byla upravena konstrukce dílu *spoj* (viz 5.3). Původní díl nepoužíval pro upevnění prstu k tělu gripperu dva šroubové spoje, ale pouze jeden (aretační) a středový sloupek. Středový sloupek, který byl součástí dílu *spoj*, sloužil jako osa rotace prstu. Při provádění experimentu se prsty vzpříčily a vylomily. Z tohoto důvodu bylo původní řešení nahrazeno současnými dvěma šroubovými spoji.

Kapitola 7

Závěr

V rámci této bakalářské práce byla v první části provedena analýza současného stavu poznání manipulačních koncových efektorů. Ve druhé části byl proveden návrh tříprstého manipulačního koncového efektoru a jeho realizace. Tento tříprstý koncový efektor (gripper) byl navržen jako adaptivní. Je schopen uchopovat předměty sférického i cylindrického tvaru, přizpůsobit se tvaru a velikosti uchopovaného předmětu, detekovat jeho přítomnost a sám zahájit uchopování.

Tyto schopnosti byly ověřeny provedením experimentů a tvorbou demonstrační úlohy, čímž bylo splněno zadání. Tato práce však odhalila také problémy, které jsou s prezentovaným návrhem spojeny, a které jsou uvedeny v kapitole 6 *Diskuze*.

Pro další případnou práci s prezentovaným gripperem se jeví vhodné jeho programování v některém ze standardně používaných programovacích jazyků a následná instalace na průmyslového robota. V dalším kroku by bylo vhodné rozšířit jeho senzorický systém a poskytovat zpětnou vazbu kontroleru robota.

Literatura

- [1] DAVIDS, M. *A Brief History of Robots in Manufacturing* [online]. Robotiq, červenec 2017 [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/a-brief-history-of-robots-in-manufacturing>.
- [2] DUCHAINE, V. *Why Tactile Intelligence Is the Future of Robotic Grasping* [online]. 2016 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/autoton/robotics/robotics-hardware/why-tactile-intelligence-is-the-future-of-robotic-grasping>.
- [3] FESTO. *FlexShapeGripper* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.festo.com/group/en/cms/10217.htm>.
- [4] FESTO. *Úhlové chapadlo FESTO* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DHWS.
- [5] MONKMAN, G., HESSE, S., STEINMANN, R. a SCHUNK, H. *Robot Grippers*. Wiley, 2007. ISBN 9783527609895.
- [6] ROBOTIQ. *Tříprstý adaptivní gripper* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: https://robotiq.com/products/3-finger-adaptive-robot-gripper?ref=nav_product_new_button.
- [7] ROBOTIS. *Servomotor Dynamixel AX-12A* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.robotis.us/ax-12a/>.
- [8] ROBOTIS. *Stavebnice ROBOTIS Premium* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <http://www.robotis.us/robotis-premium/>.
- [9] ROBOTWORX. *Grippers For Robots* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/grippers-for-robots>.
- [10] SAMADIKHOSHKHO, Z., ZAREINIA, K. a JANABI-SHARIFI, F. A Brief Review on Robotic Grippers Classifications. In: *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*. 2019, s. 1–4.
- [11] SCHUNK. *MultiChoiceGripper* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.festo.com/group/en/cms/10221.htm>.
- [12] SCHUNK. *Paralelní uchopovač SCHUNK EGP* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/egp/.
- [13] SCHUNK. *PZN - plus* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/pzn-plus/.

- [14] SCHUNK. *SVH* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z:
https://schunk.com/de_en/gripping-systems/highlights/svh/.
- [15] SCHUNK. *Čtyřprstý gripper SCHUNK PZV* [online]. 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/series/pzv/.
- [16] UNIGRIPPER. *Podtlakový gripper Co/Light* [online]. [cit. 2020-06-23]. Dostupné z:
<https://www.unigripper.com/en/colight.php>.
- [17] VOLF, J. *Taktilní senzory pro automatizaci* [online]. 2008 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37544.pdf>.
- [18] WALLY, B., VYSKOČIL, J., NOVÁK, P., HUEMER, C., ŠINDELAR, R. et al. Flexible Production Systems: Automated Generation of Operations Plans Based on ISA-95 and PDDL. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2019, sv. 4, č. 4, s. 4062–4069.
- [19] ZDENĚK, K. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIAM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

Příloha A

Grafická reprezentace demonstračního programu

V této příloze je uvedena grafická reprezentace demonstračního programu (který je popsán v sekci 5.4) v prostředí editoru RoboPlus Task.

```
1: START PROGRAM
2: {
3:     CALL MoveToDefault
4:      Timer = 3.072sec
5:     CALL Timer
6:
7:     ENDLESS LOOP
8:     {
9:         CALL SetVelocity
10:         Print with Line = 1
11:
12:         Timer = 1.024sec
13:        CALL Timer
14:
15:        CALL DetectObject
16:         Print with Line = 2
17:
18:        CALL PrepMovement
19:
20:        // Uchopovani predmetu
21:         Print with Line = 3
22:        CALL LowerSegment
23:         Timer = 0.896sec
24:        CALL Timer
25:        CALL UpperSegment
26:         Timer = 2.560sec
27:        CALL Timer
28:
```

```

29:      // Drzeni predmetu
30:       Print with Line = 4
31:      CALL HoldPosition
32:       Timer = 5.120sec
33:      CALL Timer
34:
35:      // Vraceni se do vychodi polohy
36:       Print with Line = 5
37:      CALL MoveToDefault
38:       Timer = 3.072sec
39:      CALL Timer
40:  }
41: }
42:
43: // Program bude pokračovat az po uplynuti timeru
44: FUNCTION Timer
45: {
46:     bool = FALSE
47:     LOOP WHILE ( bool == FALSE )
48:     {
49:         IF (  Timer == 0.000sec )
50:         {
51:             bool = TRUE
52:         }
53:     }
54: }
55:
56: // Nastavi rychlosti pohybu servomotoru
57: FUNCTION SetVelocity

```

```

58: {
59:     velocity = 70
60:     ID[1]:  Moving Velocity = velocity
61:     ID[2]:  Moving Velocity = velocity
62:     ID[3]:  Moving Velocity = velocity
63:     ID[4]:  Moving Velocity = velocity
64:     ID[5]:  Moving Velocity = velocity
65:     ID[6]:  Moving Velocity = velocity
66: }
67:
68: // Ohne posledni clanky prstu
69: FUNCTION PrepMovement
70: {
71:     torque = 200
72:     ID[4]:  Goal Torque = torque
73:     ID[5]:  Goal Torque = torque
74:     ID[6]:  Goal Torque = torque
75:     position = 350
76:     ID[4]:  Goal Position = position
77:     ID[5]:  Goal Position = position
78:     ID[6]:  Goal Position = position
79: }
80:
81: // Nastavi cilovou pozici spodnich servomotoru pro uchop
82: FUNCTION LowerSegment
83: {
84:     torque = 200
85:     ID[1]:  Goal Torque = torque
86:     ID[2]:  Goal Torque = torque

```

```

87:   ID[3]: Goal Torque = torque
88:   position = 350
89:   ID[1]: Goal Position = position
90:   ID[2]: Goal Position = position
91:   ID[3]: Goal Position = position
92: }
93:
94: // Nastavi cilovou pozici hornich servomotoru pro uchop
95: FUNCTION UpperSegment
96: {
97:   torque = 200
98:   ID[4]: Goal Torque = torque
99:   ID[5]: Goal Torque = torque
100:  ID[6]: Goal Torque = torque
101:  position = 240
102:  ID[4]: Goal Position = position
103:  ID[5]: Goal Position = position
104:  ID[6]: Goal Position = position
105: }
106:
107: // Nastavi cilovou pozici vseh servomotoru na jejich aktualni poz
    ici
108: FUNCTION HoldPosition
109: {
110:   p1 = ID[1]: Present Position
111:   p2 = ID[2]: Present Position
112:   p3 = ID[3]: Present Position
113:   p4 = ID[4]: Present Position
114:   p5 = ID[5]: Present Position

```

```

115:   p6 = ID[6]: Present Position
116:   ID[1]: Goal Position = p1
117:   ID[2]: Goal Position = p2
118:   ID[3]: Goal Position = p3
119:   ID[4]: Goal Position = p4
120:   ID[5]: Goal Position = p5
121:   ID[6]: Goal Position = p6
122: }
123:
124: // Detekuje, zda je predmet umisten v gripperu
125: FUNCTION DetectObject
126: {
127:   bool = FALSE
128:   LOOP WHILE ( bool == FALSE )
129:   {
130:     IF ( PORT[4]:IR Sensor > 100 )
131:     {
132:       bool = TRUE
133:     }
134:   }
135: }
136:
137: // Vratí prsty do výchozí polohy
138: FUNCTION MoveToDefault
139: {
140:   ID[All]: Moving Velocity = 150
141:   ID[All]: Goal Torque = 750
142:   ID[All]: Goal Position = 570
143: }

```


Příloha B

Zdrojový kód demonstračního programu

V této příloze je uveden textový soubor zdrojového kódu demonstračního programu, který je popsán v sekci 5.4. Pro otevření tohoto programu v nástroji RoboPlus Task je potřeba následující text zkopírovat do textového editoru a uložit jej jako soubor s příponou *.tsk. Po uložení je možné jej otevřít v programu RoboPlus Task a dále s ním pracovat, případně jej nahrát do řídicí jednotky CM-530.

```
version 3.00
cm_version 1.0
platform CM-530
o main
o begin
o call faddr_dest:MoveToDefault
o load param_dest:cm:5 param_src:timer_num:24
o call faddr_dest:Timer
-
o while(1)
o begin
o call faddr_dest:SetVelocity
o load param_dest:cm:11 param_src:dec_num:1
-
o load param_dest:cm:5 param_src:timer_num:8
o call faddr_dest:Timer
-
o call faddr_dest:DetectObject
o load param_dest:cm:11 param_src:dec_num:2
-
o call faddr_dest:PrepMovement
-
o // param_text:Uchopovani predmetu
o load param_dest:cm:11 param_src:dec_num:3
o call faddr_dest:LowerSegment
o load param_dest:cm:5 param_src:timer_num:7
o call faddr_dest:Timer
```

```

o call faddr_dest:UpperSegment
o load param_dest:cm:5 param_src:timer_num:20
o call faddr_dest:Timer
-
o // param_text:Drzeni predmetu
o load param_dest:cm:11 param_src:dec_num:4
o call faddr_dest:HoldPosition
o load param_dest:cm:5 param_src:timer_num:40
o call faddr_dest:Timer
-
o // param_text:Vraceni se do vychozi polohy
o load param_dest:cm:11 param_src:dec_num:5
o call faddr_dest:MoveToDefault
o load param_dest:cm:5 param_src:timer_num:24
o call faddr_dest:Timer
o end
o end
-
o // param_text:Program bude pokračovat az po uplynuti timeru
o function faddr_src:Timer
o begin
o load param_dest:var:bool param_src:bool_num:0
o while param_src:var:bool lop:== param_src:bool_num:0 rop:then
o begin
o if param_src:cm:5 lop:== param_src:timer_num:0 rop:then
o begin
o load param_dest:var:bool param_src:bool_num:1
o end
o end
o end
o end
-
o // param_text:Nastavi rychlosti pohybu servomotoru
o function faddr_src:SetVelocity
o begin
o load param_dest:var:velocity param_src:dec_num:70
o load param_dest:motor:1:107 param_src:var:velocity
o load param_dest:motor:2:107 param_src:var:velocity
o load param_dest:motor:3:107 param_src:var:velocity
o load param_dest:motor:4:107 param_src:var:velocity
o load param_dest:motor:5:107 param_src:var:velocity
o load param_dest:motor:6:107 param_src:var:velocity
o end
-
o // param_text:Ohne posledni clanky prstu
o function faddr_src:PrepMovement
o begin
o load param_dest:var:torque param_src:dec_num:200
o load param_dest:motor:4:108 param_src:var:torque

```

```

o load param_dest:motor:5:108 param_src:var:torque
o load param_dest:motor:6:108 param_src:var:torque
o load param_dest:var:position param_src:position_num:350
o load param_dest:motor:4:106 param_src:var:position
o load param_dest:motor:5:106 param_src:var:position
o load param_dest:motor:6:106 param_src:var:position
o end
-
o // param_text:Nastavi cilovou pozici spodnich servomotoru pro uchop
o function faddr_src:LowerSegment
o begin
o load param_dest:var:torque param_src:dec_num:200
o load param_dest:motor:1:108 param_src:var:torque
o load param_dest:motor:2:108 param_src:var:torque
o load param_dest:motor:3:108 param_src:var:torque
o load param_dest:var:position param_src:dec_num:350
o load param_dest:motor:1:106 param_src:var:position
o load param_dest:motor:2:106 param_src:var:position
o load param_dest:motor:3:106 param_src:var:position
o end
-
o // param_text:Nastavi cilovou pozici hornich servomotoru pro uchop
o function faddr_src:UpperSegment
o begin
o load param_dest:var:torque param_src:dec_num:200
o load param_dest:motor:4:108 param_src:var:torque
o load param_dest:motor:5:108 param_src:var:torque
o load param_dest:motor:6:108 param_src:var:torque
o load param_dest:var:position param_src:dec_num:240
o load param_dest:motor:4:106 param_src:var:position
o load param_dest:motor:5:106 param_src:var:position
o load param_dest:motor:6:106 param_src:var:position
o end
-
o // param_text:Nastavi cilovou pozici vseh servomotoru na jejich aktualni pozici
o function faddr_src:HoldPosition
o begin
o load param_dest:var:p1 param_src:motor:1:109
o load param_dest:var:p2 param_src:motor:2:109
o load param_dest:var:p3 param_src:motor:3:109
o load param_dest:var:p4 param_src:motor:4:109
o load param_dest:var:p5 param_src:motor:5:109
o load param_dest:var:p6 param_src:motor:6:109
o load param_dest:motor:1:106 param_src:var:p1
o load param_dest:motor:2:106 param_src:var:p2
o load param_dest:motor:3:106 param_src:var:p3
o load param_dest:motor:4:106 param_src:var:p4
o load param_dest:motor:5:106 param_src:var:p5

```

```

o load param_dest:motor:6:106 param_src:var:p6
o end
-
o // param_text:Detekuje, zda je predmet umisten v gripperu
o function faddr_src:DetectObject
o begin
o load param_dest:var:bool param_src:bool_num:0
o while param_src:var:bool lop:== param_src:bool_num:0 rop:then
o begin
o if param_src:aux:4:63 lop:> param_src:dec_num:100 rop:then
o begin
o load param_dest:var:bool param_src:bool_num:1
o end
o end
o end
-
o // param_text:Vrati prsty do vychozi polohy
o function faddr_src:MoveToDefault
o begin
o load param_dest:motor:254:107 param_src:dec_num:150
o load param_dest:motor:254:108 param_src:dec_num:750
o load param_dest:motor:254:106 param_src:position_num:570
o end

```