

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Hardware pro řízení robotické ruky**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří MOUČEK**  
Osobní číslo: **E12B0460P**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Hardware pro řízení robotické ruky**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Zpracujte rešerši na možnosti provedení a využití robotických systémů.
2. Popište vybraná zařízení robotické ruky a uveďte možnosti řízení.
3. Navrhněte potřebný hardware pro ovládání robotické ruky.
4. Realizujte navržená řešení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího  
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Koudela**  
Regionální inovační centrum elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce řeší návrh a realizaci hardware pro ovládání robotické ruky. V rámci této práce byla zpracována rešerše na téma průmyslové roboty a manipulátory, následně je popsána problematika návrhu potřebného hardware pro řízení robotické ruky Lynxmotion AL5D.

Text této práce je rozdělen do několika částí. K navržení a následné realizaci hardware, pro robotický manipulátor, je nutné se nejprve seznámit se základy robotiky a technického provedení robotů, proto se první část zabývá rešerší na téma průmyslové roboty a manipulátory. Druhá část již představuje konkrétní manipulátor, pro který je navržen potřebný hardware pro ovládání manipulátoru. Třetí část popisuje navržené řešení a realizaci.

## **Klíčová slova**

robotická ruka, robotický manipulátor, robot, servomotor, Arduino, pulzně šířková modulace, deska plošných spojů

## **Abstract**

This bachelor work solves a proposition and a realization of hardware for control of a robotic arm. There has been elaborated a recherche of industrial robots and manipulators within the framework of this work. Then there is described a problematic of hardware proposition that is necessary for control of the robotic arm Lynxmotion AL5D.

Text of this work is divided to several parts. At first it is necessary to make an acquaintance with bases of robotics and robot technical practicability. The first part is engaged in a recherche of industrial robots and manipulators. The second part already presents a particular manipulator for that it was proposed a needful hardware for control of manipulator. The third part describes a proposal solution and a realization.

## **Key words**

robotic arm, robotic manipulator, robot, servomotor, Arduino, pulse width modulation, circuit board

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské práce je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 8.6.2015

Jiří Mouček

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Koudelovi a konzultantovi Ing. Františku Machovi za cenné profesionální rady, připomínky a nápady vedoucí k realizaci této práce.

## Obsah

<b>OBSAH .....</b>	<b>8</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY A MANIPULÁTORY.....</b>	<b>11</b>
1.1 ROZDĚLENÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ A MANIPULÁTORŮ .....	12
1.2 ROZDĚLENÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ PODLE GENERACÍ .....	13
1.3 ARCHITEKTURA PRŮMYSLOVÉHO ROBOTU .....	13
1.3.1 Motorický systém robotů.....	13
1.4 KINEMATIKA ROBOTŮ .....	14
1.4.1 Kinematické dvojice .....	14
1.4.2 Kinematické řetězce .....	15
1.5 SOUŘADNICOVÉ SYSTÉMY .....	18
1.6 ŘÍDICÍ SYSTÉM ROBOTŮ .....	19
1.7 ZPŮSOBY PROGRAMOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ.....	19
<b>2 ROBOTICKÁ RUKA .....</b>	<b>21</b>
2.1 LYNXMOTION AL5D .....	21
2.2 SERVOMOTORY.....	22
2.3 PULZNĚ ŠÍŘKOVÁ MODULACE (PWM).....	23
2.4 ARDUINO .....	25
2.5 NÁVRH A VÝROBA DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ .....	27
2.6 SOFTWARE.....	28
2.6.1 Vývojové prostředí Arduina .....	28
2.6.2 Vlastní software .....	28
<b>3 ZÁVĚR.....</b>	<b>29</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>31</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>32</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>32</b>



## Úvod

Slovo robot bylo historicky poprvé použito v roce 1920 ve hře Karla Čapka R.U.R. (Rossumovi univerzální roboti). Je dobré si všimnout, že Karel Čapek užíval slovo robot v životném tvaru, zatímco technická terminologie odpovídá neživotnému tvaru. V dnešní době je spíše než klasické slovo robot používán pojem průmyslový robot. Tento pojem je již běžně užíván v praxi.

Robotika je jedním z nejmladších oborů technického směru. Avšak již od pradávna je cílem člověka vytvořit něco, co znásobí jeho možnosti či schopnosti, zlepšit životní podmínky a uspokojí životní potřeby. Nejlepší cestou k uskutečnění těchto cílů vede přes rozvoj výroby. Podstatné urychlení výroby je zaznamenáváno od průmyslové revoluce po zavedení mechanizace, později automatizace a v jejím rámci robotizace.

Robot je tedy poměrně novým druhem stroje. První průmyslově využitelné prototypy vznikly v roce 1958, jejich vývoj byl však natolik rychlý, že v 80. letech 20. století byly již běžně nasazovány ve výrobě jako plnohodnotná zařízení srovnatelná s ostatními výrobními zařízeními. Definice robotu nejsou jednoznačné. Shoda mezi odborníky dosud neexistuje. To může být způsobeno například tím, že jde o velmi složitý technický systém, jehož řešením se zabývá spousta specialistů z mnoha vědeckých oborů, kteří většinou preferují svůj pohled na danou problematiku. Jedna z definic uvádí, že „Robot je mechanický stroj určený k úkolům, které by mohly být také vykonávány člověkem<sup>1</sup>.“ Jiná definice zní: „robot je reprogramovatelný multifunkční manipulátor navržený pro přenášení materiálu, součástí, nástrojů nebo specializovaných zařízení pomocí variabilně programovaných pohybů k provádění různých úkolů.“<sup>2</sup> Podle Australian Robotics and Automation Association<sup>3</sup> standardní definice neexistuje. Lze ale vyjádřit tři podstatné charakteristiky robotu:

- umožňuje nějakou formu mobility
- může být programován k velmi variabilním úkolům
- po naprogramování již pracuje v automatickém režimu

Z hlediska technického je významný krok ve smyslu vývoje robotů spojen se jmény Taylor a Ford. Henry Ford v roce 1910 založil pásovou výrobu automobilů. Frederick Winslow Taylor se zabýval normováním práce a rozkladem složitých činností pracovníků

ve výrobě, včetně jednotlivých úkonů a pohybů ruky. To přispělo k rozvoji pásové výroby a možnosti zaměstnávat i nekvalifikované pracovníky. Tento postup se začal rychle rozrůstat, hlavně díky své výhodnosti i do dalších odvětví průmyslu a tím umožnil vznik sériové a hromadné výroby a také výrobních linek. Významným krokem v oblasti automatizace je období po 2. světové válce, kdy na evropském trhu výrazně převažovala poptávka nad nabídkou. Pro uspokojení poptávky se vyráběly velké série výrobků. Problémem byla nemožnost linku přestavět a naprogramovat, pro třeba jen částečně změněný výrobek.

Za vývojem prvního průmyslového robotu stáli američtí inženýři Georg Devol a Joseph Engelberger, kteří v roce 1958 založili firmu Unimation pro výrobu svého robotu Unimate 1900.<sup>5</sup> Ten byl nasazen již v roce 1961 ve firmě General Motors (USA) jako náhrada pracovníků obsluhující stroje pro lití pod tlakem či pro uvolnění žhavých a těžkých odlitků z formy. Jednalo se tedy o pro člověka nebezpečnou práci. Robot se v praxi osvědčil a jejich počet začal rychle narůstat.

---

<sup>1</sup> <http://www.webster-dictionary.org/definition/robot>

<sup>2</sup> <http://www.robotics.org/>

<sup>3</sup> <http://www.araa.asn.au/>

<sup>4</sup> <http://www.robots.com/education/industrial-history>

# 1 Průmyslové roboty a manipulátory

Průmyslové roboty a manipulátory jsou automatická manipulační zařízení libovolně programovatelné ve dvou a více osách sloužící pro polohování předmětu či nástroje do dané cílové pozice bez fyzického kontaktu člověka s předmětem. Z toho vyplývá, že nahrazují člověka u výrobní linky. Jakožto manipulační zařízení nahrazují lidskou ruku, která má 27 stupňů volnosti - viz výukový materiál na internetových stránkách SPŠ A VOŠT Brno. [9] Pro zajištění polohy a orientace manipulovaného předmětu stačí pouze šest stupňů volnosti, z toho tři stupně jsou pro polohování a další tři pro orientaci. Součástí průmyslových robotů a manipulátorů jsou podávací ruce nebo technologické nástroje. Manipulátory nacházejí uplatnění zejména v provozu s velkou sériovostí výroby v podmínkách pro člověka nepříznivých či u technologií, pro něž je člověk příliš nedokonalý a které není vzhledem ke svým omezeným možnostem schopen zvládnout (např. pracovat s požadovanou přesností). Roboty se nasazují v oblastech jako je např. svařování, lakování, lisování, kování či montáž. Důvody pro nasazení robotických manipulátorů v průmyslu jsou:

## **technické důvody:**

- zlepšení kvality výrobků
- snížení zmetkovitosti
- pružnost výroby

## **ekonomické důvody:**

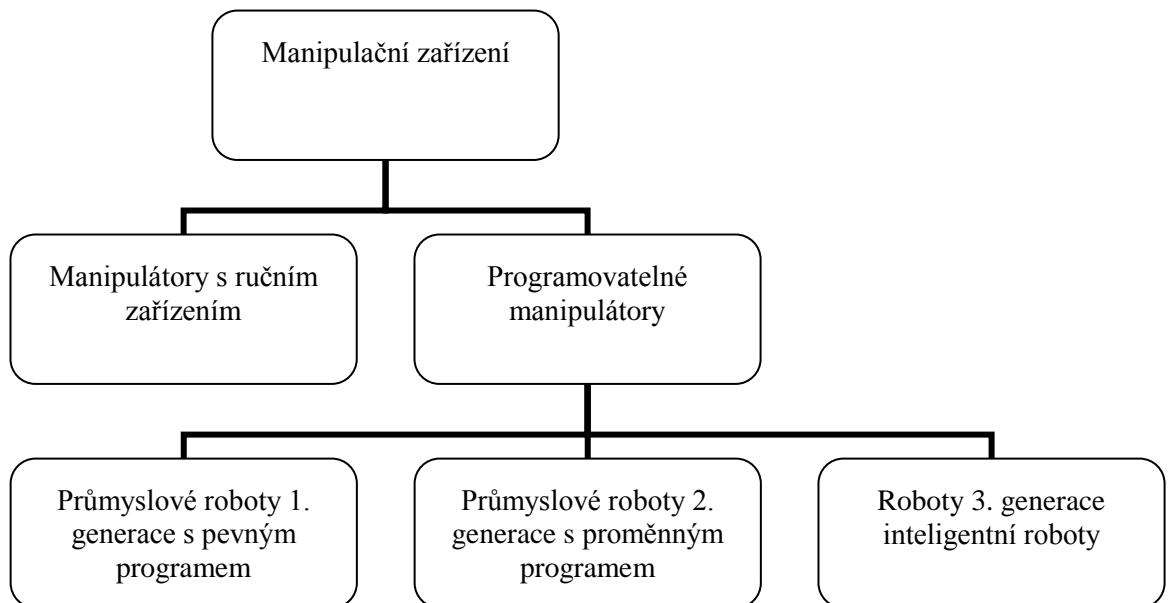
- zvýšení kapacity výroby
- zvýšení koeficientu směnnosti
- úspora pracovního místa
- uvolnění kvalifikovaných pracovníků

## **sociální důvody:**

- vyřazení člověka z fyzicky namáhavé práce
- vyřazení člověka z monotónní práce
- vyřazení člověka ze zdraví škodlivého prostředí

## 1.1 Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů

Je důležité si uvědomit, že rozdíl mezi manipulátorem a průmyslovým robotem není přesně definován. Původní výraz manipulátor, jenž je používán pro zařízení řízená ručně nebo automaticky, dospěl svým vývojem k označení průmyslový robot.



Obr. 1.1: Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů

**Manipulátory** jsou ručně řízená zařízení. Jednoúčelové manipulátory mají omezenou funkci na několik jednoduchých pohybů a slouží spíše k automatizaci jednoúčelových strojů a linek hromadné výroby – často jsou nazývány podavače.

**Průmyslové roboty** jsou univerzální automatické zařízení programovatelné v několika osách pro vykonávání pohybů zastávající funkce člověka, především u výrobního stroje. Pomocí chapadel, nástrojů a senzorů jsou schopny vykonávat velké množství různých pracovních aktivit, zejména manipulační či technologické operace. Složitost řídicího systému určuje tzv. generaci robotů.

## 1.2 Rozdělení průmyslových robotů podle generací

**Roboty první generace** jsou řízeny programem bez zpětné vazby, což znamená nevyužitelnost jakýchkoliv senzorů. Tyto zařízení vykonávají pevně naprogramované postupné operace.

**Roboty druhé generace** jsou roboty vyšší úrovně se zpětnou vazbou. Jejich činnost je tedy určena nejen programem, ale i podněty z okolí pomocí senzorů. Jsou snadno a rychle programovatelné.

**Roboty třetí generace** jsou inteligentní roboty. Jejich řídicí systém je složitý a pohyblivost vysoká. Zahrnují složitou sensoriku, což znamená adaptovatelnost na okolní prostředí. Jsou schopny se učit a samostatně řešit zadané úkoly. Mezi jejich další vlastnosti patří schopnost vizualizace, hlasové komunikace či orientace v prostředí. Robotu je pouze určen cíl činnosti, postup a dosažení cíle si však robot určuje sám.

## 1.3 Architektura průmyslového robotu

### Hlavní části průmyslového robotu:

- Stojan (pevný nebo mobilní)
- Ramena
- Zápěstí
- Hlavice (či chapadlo)

### Části systému průmyslového robota:

- **Motorický systém** zajišťuje vlastní pohyb robotu a aktivně působí na prostředí.
- **Senzorický systém** přijímá prostřednictvím senzorů informace o prostředí.
- **Řídicí systém** zpracovává informace o prostředí a na základě programu provádí veškeré činnosti robota.

### 1.3.1 Motorický systém robotů

**Manévrovací pohyby** zajišťují přesuny na větší vzdálenosti, než je akční rádius dosahu robotu. Zařízení schopné vykonávat manévrovací pohyby se nazývá mobilní robot, v opačném případě by se jednalo o stacionárního robota. Tyto pohyby provádí tzv. lokomoční

podsystem. V současné době je většina typů průmyslových robotů bez manévrovacích pohybů. Existující mobilní roboty jsou ve většině případů ve svém manévrovacím pohybu omezeny, neboť jsou závislé na předem určené trajektorii (pohyb po kolejích). Plně mobilní roboty zpravidla pracují pod přímým a nepřetržitým dohledem člověka. Snahou konstruktérů je sestavení co nejpohyblivějšího robota schopného např. otočení na místě či vysoké průchodovosti robotu, což umožňují zejména pásový podvozek.

**Operační pohyby** (regionální) jsou pohyby, zajišťující přemísťování výstupní hlavice do různých bodů pracovního prostoru robotu. Tyto pohyby jsou prováděny manipulačním podsystemem.

**Suboperační pohyby** (místní) jsou pohyby výstupní hlavice. Patří sem například rozevírání čelistí chapadla. Tyto pohyby jsou rovněž prováděny manipulačním podsystemem.

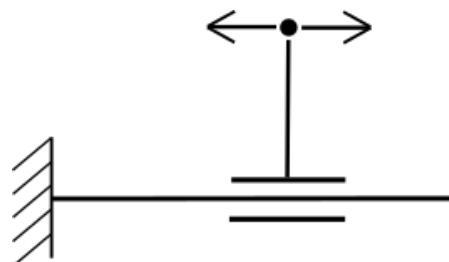
Důležitou roli v charakteristice robotu zaujímá údaj o počtu stupňů volnosti. Jde o minimální počet parametrů (rotace, translace), který jednoznačně popisuje polohu bodu nebo tělesa v rovině či prostoru. Nejrozšířenějšími průmyslovými roboty jsou s 5 až 6 stupni volnosti. V pracovním prostoru robotu vznikají tzv. hluchá místa, což jsou místa, kam robot nedosáhne. Zvýšením počtu stupňů volnosti zvyšuje manipulační schopnost robotu, čímž redukuje hluchá místa. Tím se však zvyšují nároky na řídicí systém robotu a náklady.

## 1.4 Kinematika robotů

### 1.4.1 Kinematické dvojice

Průmyslový robot je tvořen kinematickým řetězcem, ten je tvořen jednotlivými kinematickými dvojicemi:

- **Posuvné (translační)** – po delším vedení se posouvá kratší těleso



Obr. 1.2: Posuvné kinematické dvojice

(Zdroj: [web.spssbrno.cz/web/files/ukazky\\_vyuky\\_robotiky.pdf](http://web.spssbrno.cz/web/files/ukazky_vyuky_robotiky.pdf))

- **Smykadlové** – v kratším vedení je posouváno delší těleso



Obr. 1.3: Smykadlové kinematické dvojice

(Zdroj: web.spssbrno.cz/web/files/ukazky\_vyuky\_robotiky.pdf)

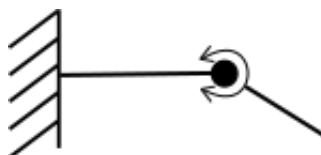
- **Teleskopické** – jedná se o výsuvný pohyb jedné části vůči druhé



Obr. 1.4: Teleskopické kinematické dvojice

(Zdroj: web.spssbrno.cz/web/files/ukazky\_vyuky\_robotiky.pdf)

- **Rotační:** otočné a kyvné – pravděpodobně nejběžnější typ kinematické dvojic

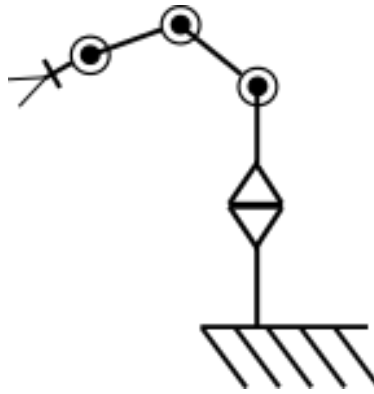


Obr. 1.5: Rotační kinematické dvojice

(Zdroj: web.spssbrno.cz/web/files/ukazky\_vyuky\_robotiky.pdf)

## 1.4.2 Kinematické řetězce

Kinematické řetězce představují vzájemné spojení kinematických dvojic stroje robotu – tvoří kinematickou strukturu průmyslového robotu (Obr. 1.6).

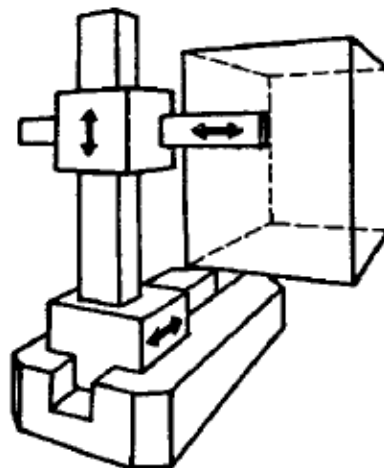


Obr. 1.6: Kinematický řetězec

(Zdroj: [web.spssbrno.cz/web/files/ukazky\\_vyuky\\_robotiky.pdf](http://web.spssbrno.cz/web/files/ukazky_vyuky_robotiky.pdf))

Kinematickému řetězci odpovídá určitý pracovní prostor, což je oblast, kterou dosáhne koncový bod ramene robotu.

- **Pravouhlá kartézská soustava (TTT)** – jedná se o tři přímočaré translační pohyby. Pracovní prostor má tvar hranolu (kvádr či krychle). Používá pravouhlý souřadný systém. Toto uspořádání je velmi stabilní a přesné, má velmi jednoduché řízení. Nevýhodou je nižší prostorová pohyblivost.

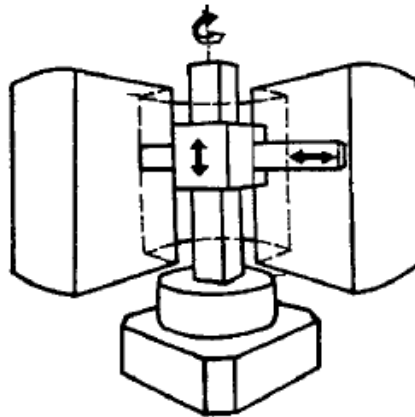


Obr. 1.7: Manipulátor pracující v pravouhlé soustavě

(Zdroj: [web.spssbrno.cz/web/files/ukazky\\_vyuky\\_robotiky.pdf](http://web.spssbrno.cz/web/files/ukazky_vyuky_robotiky.pdf))



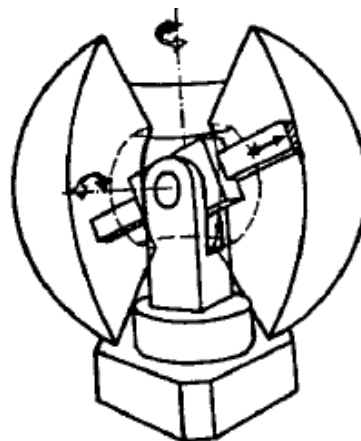
- **Válcová (cylindrická) soustava** (TTR) – jsou dva přímočaré a jeden rotační pohyb. Pracovní prostor má tvar válcového segmentu. Tento systém je velmi robustní s jednoduchým řízením.



Obr. 1.8: Manipulátor pracující ve válcové soustavě

(Zdroj: [web.spssbrno.cz/web/files/ukazky\\_vyuky\\_robotiky.pdf](http://web.spssbrno.cz/web/files/ukazky_vyuky_robotiky.pdf))

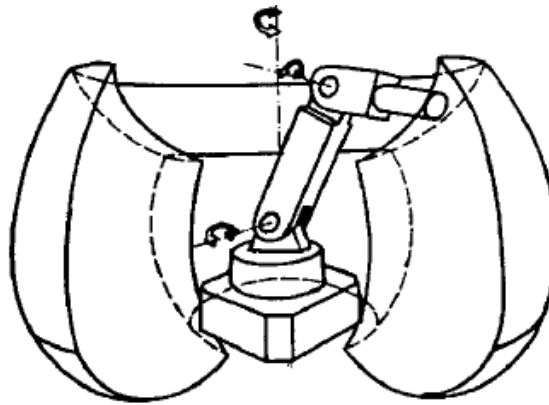
- **Sférická (kulová) soustava** (TRR) – 1 přímočarý a 2 rotační pohyby. Pracovní prostor má tvar kulového segmentu. Robot pracující s tímto systémem má menší pracovní prostor a složitější řízení, naproti tomu je však pohyblivější.



Obr. 1.9: Manipulátor pracující v kulové soustavě

(Zdroj: [web.spssbrno.cz/web/files/ukazky\\_vyuky\\_robotiky.pdf](http://web.spssbrno.cz/web/files/ukazky_vyuky_robotiky.pdf))

- **Torusová** (složená, angulární, antropomorfní) **soustava** – (RRR) jsou tři rotační pohyby. Pracovní prostor je tvořen torusovým segmentem (obloun). Používá kulový souřadnicový systém. Výhodou je vysoká manipulační schopnost a pohyblivost, ale jejich řízení je ovšem náročnější a dosahují nižší pracovní přesnosti.



Obr. 1.10: Manipulátor pracující v angulární soustavě

(Zdroj: [web.spsbrno.cz/web/files/ukazky\\_vyuky\\_robotiky.pdf](http://web.spsbrno.cz/web/files/ukazky_vyuky_robotiky.pdf))

## 1.5 Souřadnicové systémy

Souřadnicový systém definuje body v pracovním prostoru robotu. Rozdělují se na prostorové souřadnice, souřadnice stroje a souřadnice chapadla.

**Prostorové souřadnice** jsou polohy bodů pracovního prostoru, které jsou stanoveny pravotočivým pravoúhlým souřadnicovým systémem. Tři pravoúhlé osy X, Y, Z určují místo v prostoru pro umístění předmětu, další osy A, B, C jsou potřebné pro orientaci předmětu, tedy natočení osy chapadla robotu v prostoru. V tomto případě se jedná o 6 na sobě nezávislých směrů pohybu – 6 stupňů volnosti.

**Souřadnice stroje** u průmyslových robotů s kloubovými rameny určují polohu jednotlivých os uvedením úhlu natočení ramen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  atd.).

**Souřadnice chapadla** tvoří souřadnicový systém vztažený k chapadlu. Počátek souřadnic je umístěn do středu chapadla. Směr osy Z směřuje směrem k součástce.

## 1.6 Řídicí systém robotů

Dříve byl řídicí systém realizován např. pomocí vačkových mechanismů. V dnešní době jsou využívány mikroprocesory a mikropočítače. Řídicí systém dělíme dle různých hledisek:

### Podle časového průběhu:

- **Časově závislé** – pracovní proces manipulátoru je přesně dán časovým plánem
- **Závislé podle vykonávané práce** – robot vše řídí podle aktuálního průběhu pracovního procesu
- **Smíšené systémy** – kombinace předchozích dvou - těch je většina

### Dle způsobu programování:

- **Systémy s pevným programem** – používáno dříve (např. vačkové systémy)
- **Programovatelné systémy** – program lze snadno měnit

### Podle způsobu zpracování informace:

- Analogové
- Číslicové

### Podle průběhu dráhy manipulačního systému:

- **PTP** – bodové řízení (Point to Point) – proces je rozdělen do malého počtu jednotlivých kroků, což je z pohledu řízení jednodušší varianta, ne však příliš přesná.
- **CP** – spojité řízení (Continues Path) – řízení podle souvislé trajektorie. Klade vyšší nároky na paměť programu a na vytvoření vhodné programovací metody. Umožňuje však realizaci mnohem komplexnějších pohybů

## 1.7 Způsoby programování průmyslových robotů

Programování průmyslových robotů je vykonáváno prostřednictvím programovacího softwaru. Způsoby programování jsou následující:

**Přímé programování** – buď ruční programování, kde jsou zadávány souřadnice ručně na klávesnici nebo metodou teach-in, která pracuje pomocí zadávání povelů a souřadnic prostřednictvím ovládacího panelu. Jelikož je postupné zadávání jednotlivých souřadnic časově náročné, je využíváno toho, že řídicí systém sám snímá prostřednictvím zručovací

jednotky (teaching-box) průběh požadované dráhy v krokovém režimu. Ty jsou poté ukládány do paměti. Metoda Play-back – Prostorové křivky jsou zadávány člověkem a řídicí jednotka pohyby zaznamenává a poté je program přehráván vyvoláním příslušného programu z řídicí jednotky.

**Nepřímé programování** – tzv. offline programování. Trajektorie je zadávána ve formě prostorových křivek (nejčastěji z výkresu).

**Přímé plánování** – tzv. online programování – Princip zadávání povelů je stejný jako v případě offline programování, robot se navíc přizpůsobuje vnějším podmínkám prostřednictvím senzorů.

## 2 Robotická ruka

### 2.1 Lynxmotion AL5D

Pro zadanou bakalářskou práci byl zvolen robotický manipulátor Lynxmotion AL5D<sup>5</sup> (Obr. 2.1). Tento manipulátor pracuje v angulární soustavě a vyznačuje se čtyřmi stupni volnosti. Jedná se o stacionárního robota pouze s otočnou základnou, tudíž neuvažujeme žádné manévrovací pohyby. Robot pracuje bez jakýchkoliv sensorických čidel, je tedy řízen pouze instrukcemi zadávanými do příslušného software pomocí klávesnice PC.



Obr. 2.1: Lynxmotion AL5D

(Zdroj: <http://www.lynxmotion.com/p-663-al5d-arm-hardware-only-kit.aspx>)

**Architekturu** robota tvoří:

- Otočná základna
- Rameno
- Loket
- Pohyblivé zápěstí s rotací hlavičky
- Čelist

---

<sup>5</sup> <http://www.lynxmotion.com/c-130-al5d.aspx>

## 2.2 Servomotory

Robotická ruka Lynxmotion AL5D využívá ke svým pohybům modelářské servomotory firmy Hitec. Ty jsou hojně využívány hlavně díky své jednoduchosti a nízké ceně.

Servomotor je rotační motor, jehož funkce spočívá na rozdíl od klasického motoru v nastavení přesné polohy natočení výstupní hřídele na požadovaný úhel, obvykle v rozsahu 120 nebo 180 stupňů.<sup>6</sup> Modelářský servomotor se skládá ze tří **základních prvků**:<sup>7</sup>

- stejnosměrný motor
- převodovka - slouží k nastavení poměru síly a rychlosti
- řídicí elektronika – řídicí elektronika zpracovává vstupní řídicí signál PWM s frekvencí 50 Hz. Doba trvání impulzů je zhruba od 0,6 ms do 2,4 ms a určuje požadované natočení servomotoru. Klidová poloha 0 stupňů je dána výrobcem pro 1,5ms impulzy (Obr. 2.3).

Servomotory se dále vyznačují několika základními technickými parametry:

- rychlost – výrobce ji udává v [ $s/^\circ$ ]
- síla – udávána v [ $kg/1\text{ cm}$ ]
- napájecí napětí – udáváno výrobcem ve voltech [V], obvyklé napájecí napětí je od 4,5 V (v našem případě je spodní hranice napájecího napětí servomotorů 4,8 V) do 6 V.
- typ převodovky – vyrobena z plastu a nebo kovové slitiny
- velikost – existují různé velikosti servomotorů, od velikosti mikro (19,6 x 8 x 19,6 mm), až po velká serva (69 x 39 x 60 mm a více)

Výše zmíněné technické parametry lze ke každému námi použitému servomotoru dohledat např. na internetových stránkách SERVOCITY. [3], [4], [5], [6], [7], [8]

---

<sup>6</sup> <http://it-slovník.cz/pojem/servomotor>

<sup>7</sup> [http://cs.wikipedia.org/wiki/Model%C3%A1%C5%99sk%C3%A9\\_servo](http://cs.wikipedia.org/wiki/Model%C3%A1%C5%99sk%C3%A9_servo)

Seznam servomotorů robotického manipulátoru Lynxmotion AL5D vidíme v tabulce 2.1:

Tabulka 2.1: Servomotory určené pro pohyby manipulátoru

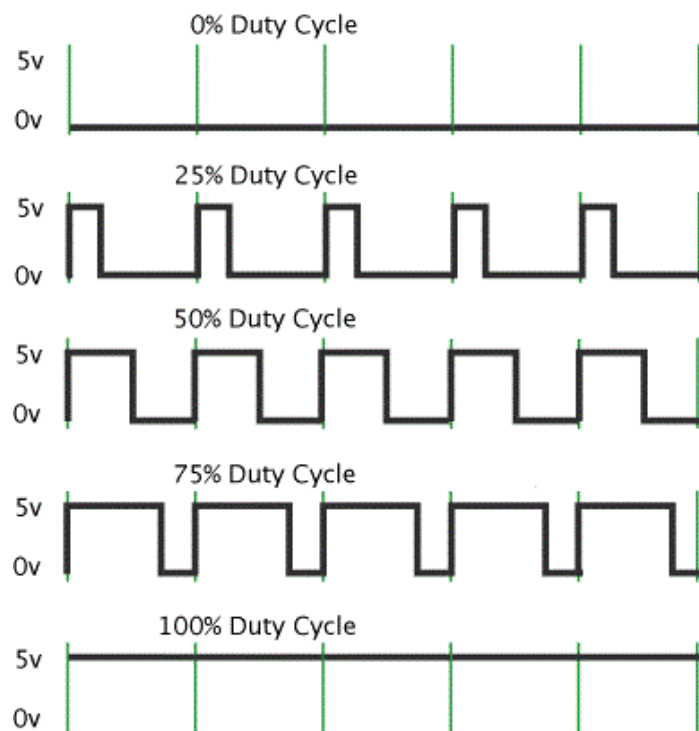
Typ serva	Pohyb	Proudový odběr v klidovém stavu (udáváno výrobcem) [mA]
HS-485HB	Rotace základny	180
HS-805BB	Pohyb ramena	830
HS-755HB	Pohyb ramenního kloubu (loket)	285
HS-645MG	Pohyb zápěstí	450
HS-422	Rozevírání čelistí	180
HS-85BB	Rotace zápěstí	260

Všechny námi použité servomotory jsou dimenzovány pro napájecí napětí od 4,8 V do 6,0 V, námi zvolené napájení je 5 V. Na konektor servomotorů jsou přivedeny 3 vodiče, konkrétně to jsou černý, červený a žlutý. Černý vodič je společné uzemnění, červený vodič je napájecí vodič a žlutý slouží pro vstup řídicích impulsů. Úhel natočení hřídele servomotorů je dána pulzně šířkovou modulací (PWM).

### 2.3 Pulzně šířková modulace (PWM)

PWM je signál s konstantní periodou  $T$  nabývající dvou hodnot: zapnuto a vypnuto (logická 1 a logická 0), u kterého můžeme měnit jeho střídu, což je hlavní určovací parametr pro velikost natočení hřídele servomotoru.<sup>8</sup> Střída je definována jako poměr času hodnot zapnuto a vypnuto. Za dobu jedné periody dojde k přenosu jedné střídy. Ukázkou pulzně šířkové modulace pro střídu 0, 25, 50, 75 a 100 % zobrazuje následující Obr 2.2.

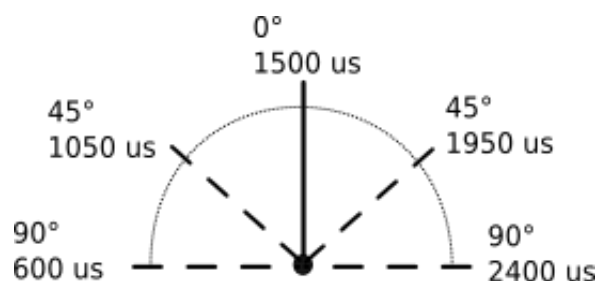
<sup>8</sup> <http://mcu.cz/news.php?extend.1579>



Obr. 2.2: Pulzně šířková modulace

(Zdroj: <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM>)

Jak již bylo řečeno, signál PWM je nezbytný pro pohyb servomotorů uvažovaného robotického manipulátoru. Určujícím faktorem pro natočení výstupní hřídele je délka doby trvání impulzu. Obrázek 2.3 popisuje potřebnou délku pulzů pro natočení hřídele servomotoru do neutrální pozice, dále o úhel  $45^\circ$  a  $90^\circ$ . Pro správnou funkci servomotoru je důležité, aby byl PWM signál vysílán nepřetržitě.



Obr. 2.3: Ukázka vlivu délky impulzu PWM na výsledném úhlu natočení servomotoru

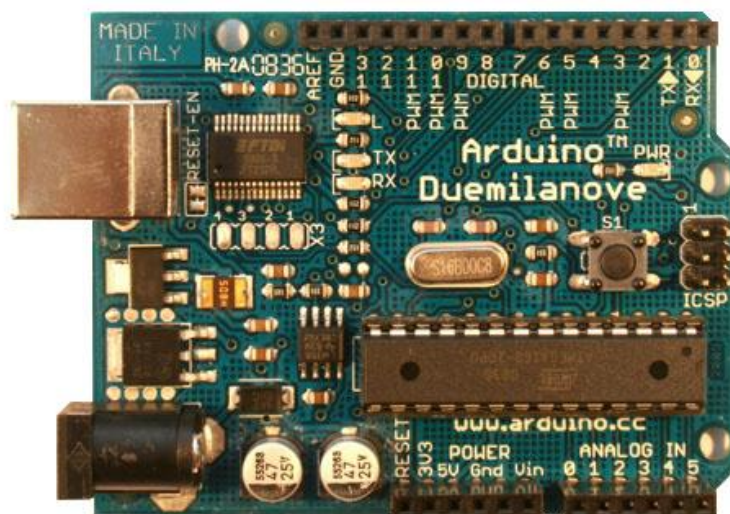
(Zdroj: [https://www.servocity.com/html/hs-422\\_super\\_sport\\_.html#.VWeQjla59B8](https://www.servocity.com/html/hs-422_super_sport_.html#.VWeQjla59B8))

Jako generátor PWM impulzů byla zvolena deska Arduino Duemilanove.



## 2.4 Arduino

Arduino Duemilanove je otevřená elektronická platforma založená na uživatelsky jednoduchém hardware i software.<sup>9</sup> Srdcem tohoto Arduina je mikrokontrolér ATmega328 taktovaný krystalem 16 MHz. Na Arduinu se nachází 14 digitálních I/O pinů, 6 z nich generuje pulzy PWM. Dále zde nalezneme 6 analogových vstupů vybavených 10 - bitovými A/D převodníky.



Obr. 2.4: Arduino Duemilanove

(Zdroj: <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove>)

Na desce se nachází USB konektor sloužící pro komunikaci Arduina s PC. Napájení Arduina je zajištěno dvěma možnými způsoby: pomocí USB konektoru nebo pomocí 2,1 mm jacku – doporučené napájecí napětí je 7 – 12 V (pomocí vestavěného stabilizátoru je hodnota upravena na 5 V).

---

<sup>9</sup> <http://czechduino.cz/?co-je-to-arduino,29>

**Technická data** Arduina:<sup>10</sup>

- Mikrokontrolér: ATmega328
- Takt procesoru: 16 MHz
- Pracovní napětí: 5 V
- Vstupní napětí (doporučené): 7 – 12 V
- Vstupní napětí (limity): 6 – 20 V
- Digitální I/O piny: 14 (6 s podporou PWM)
- Analogové vstupní piny: 6
- Proudové zatížení I/O pinu: 40 mA
- Flash paměť: 32 KB, z toho 2 KB zabírá bootloader
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB

Při řešení způsobu napájení bylo potřeba zohlednit několik faktorů, jako například celkový proudový odběr všech použitých servomotorů. Napájení servomotorů jsme vyřešili pomocí napájecího síťového kabelu s výstupním napětím 5 V a s dostatečným dodáním proudu pro všechny servomotory. Pro napájení desky Arduino je postačující napájení pomocí USB kabelu připojeného k PC.

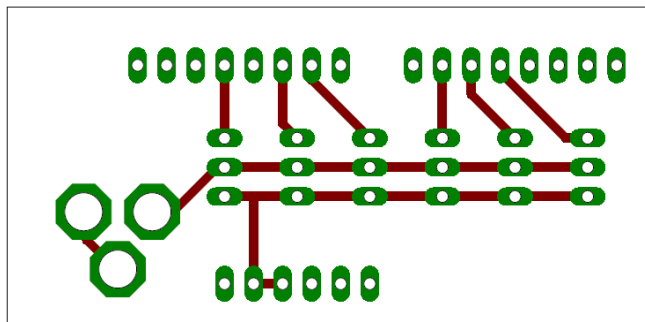
Pro toto řešení bylo potřeba zrealizovat desku plošného spoje, na kterou budou následně připojeny servomotory, PWM výstupy z Arduina a napájecí síťový kabel pro napájení servomotorů. Pro návrh desky plošného spoje byl zvolen program EAGLE.

---

<sup>10</sup> <http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove>

## 2.5 Návrh a výroba desky plošných spojů

Jak již bylo řečeno, deska plošných spojů (dále jen DPS) byla navržena v programu Eagle (Easily Applicable Graphical Layout Editor). Jedná se o editor schémat a návrhář DPS.



Obr. 2.5: Výsledný návrh desky plošných spojů vyexportovaný programem EAGLE

Pro výrobu DPS byla zvolena metoda zvaná fotocesta. Postup výroby je následující:

- Výroba předlohy – motiv návrhu DPS je vyexportován z programu EAGLE ve formátu pdf a následně vytištěn na fólii.
- Přenesení motivu na DPS – fólie s motivem se přitiskne na DPS a následně je deska vystavena UV záření po dobu několika minut.
- Vyvolání motivu – motiv je vyvolán pomocí roztoku NaOH (hydroxid sodný) rozpuštěného ve vodě. Orientační koncentrace roztoku se udává 0.7 – 1.5 % (7 - 15 g NaOH / 1 litr vody).
- Odleptání mědi – odleptání probíhá v  $ZnCl_2$  (chlorid železitý) zhruba 15 – 20 minut, dokud není odstraněna všechna přebytečná měď.

Na vyrobenou DPS byly následně napájeny konektory pro připojení servomotorů, výstupů z Arduina a napájecího síťového konektoru – viz obrázek 2.6.



Obr 2.6: Deska plošných spojů pro připojení napájení, Arduina a servomotorů

## 2.6 Software

### 2.6.1 Vývojové prostředí Arduina

Firma Arduino na svých internetových stránkách nabízí jednoduché vývojové prostředí s názvem Arduino IDE (Integrated Development Environment). Jedná se o aplikaci, která uživateli umožňuje jednoduchou práci s deskou Arduino. Další výhodou je volná dostupnost. Arduino lze programovat v jazyce C, C++ a Wiring, což je nadstavba pro Arduino IDE.

### 2.6.2 Vlastní software

Pro naše účely byla zadána bakalářská práce na téma: Software pro řízení robotické ruky, [10] v jejímž rámci byl navržen a zrealizován software v jazyce C++ pro ovládání uvažovaného robotického manipulátoru studentem elektrotechnické fakulty Západočeské univerzity v Plzni, Michalem Horáčkem.

Práce se zabývá mimo jiné návrhem grafické aplikace, která uživateli poskytuje snadné ovládání robotické ruky. Program je schopen ovládat servomotory pomocí příkazů z PC posílaných sériovou komunikací. Ovládání je zajištěno dvěma způsoby. Buď pomocí přímého ovládání nebo pomocí editoru tras. První způsob umožňuje polohovat ruku do konkrétního bodu nebo lze ovládat jednotlivé servomotory každý zvlášť. Pomocí druhého způsobu může uživatel definovat libovolně dlouhé sekvence pohybů, například přímku, čtverec nebo šestiúhelník.

### 3 Závěr

V rámci bakalářské práce byla zpracována rešerše na téma průmyslové roboty a manipulátory. Kapitoly 1.1 a 1.2 popisují nejprve obecné rozdělení robotů a manipulátorů a následně podle generací. Kapitoly 1.3 až 1.7 se zabývají architekturou průmyslových robotů, kinematikou robotů, souřadnicovými systémy, řídicím systémem robotů a způsoby programování.

V další části bakalářské práce, konkrétně se jedná o kapitolu 2.1, byla popsána robotická ruka Lynxmotion AL5D, využívající ke svým pohybům servomotory firmy Hitec. Servomotory jsou řízeny pulzně šířkovou modulací, tu zajišťuje deska Arduino Duemilanove, což je popsáno v kapitole 2.4. Tato elektronická platforma je velice rozšířená mezi nadšenci do elektroniky, neboť existuje spousta možností využití Arduina, ať už se jedná o řízení robota či ovládání vlastního satelitu k průzkumu vesmíru. Arduino je napájeno pomocí USB kabelu připojeného k počítači. Napájení servomotorů bylo vyřešeno napájecím síťovým kabelem, který má výstupní napětí 5 V a maximální možný odebíraný proud 3 A, což je dostačující proud pro napájení všech námi použitých servomotorů.

Pro tyto účely byla navržena deska plošných spojů (DPS) s konektory pro připojení napájecího kabelu servomotorů, dále pro propojení s řídicími signály z desky Arduino a nakonec pro připojení samotných servomotorů. Námi vyrobená DPS byla navržena v programu EAGLE a vyrobena metodou zvaná fotocesta, což je metoda hojně využívána v amatérských podmínkách, hlavně díky své jednoduchosti. Postup výroby je popsán v kapitole 2.5.

Výsledkem práce je tedy navržený hardware pro řízení robotické ruky Lynxmotion AL5D. V konečné fázi byl robotický manipulátor schopen základních pohybů, což bylo možné ověřit použitím již zmíněné aplikace Arduino IDE – viz kapitola 2.6.1. Následně byl aplikován vlastní software, který je výsledkem bakalářské práce studenta Michala Horáčka, tím se zabývá kapitola 2.6.2.

Možným vylepšením robotické ruky by mohlo být využití senzorických čidel, jako je například senzor síly pro čelist manipulátoru, což by poskytlo komfortnější uchopení předmětu, nebo použití senzorů pro pohyb, to by usnadnilo uživateli řízení robotické ruky.

Dalším vylepšením by mohla být aplikace manévrovacích pohybů, například v podobě kolejnic, po kterých by se manipulátor pohyboval.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [2] VROŽINA, Milan; DAVID, Jiří a GARZINOVÁ, Romana. *Automatizace technologických procesů, část 3: Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. 42 s.
- [3] ServoCity HS-485HB [online] - [cit. 2. května 2015]. Dostupné z URL: < [https://www.servocity.com/html/hs-485hb\\_servo.html#.VWbrFpgw\\_IU](https://www.servocity.com/html/hs-485hb_servo.html#.VWbrFpgw_IU) >.
- [4] ServoCity HS-805BB [online] - [cit. 2. května 2015]. Dostupné z URL: < [https://www.servocity.com/html/hs-805bb\\_mega\\_power.html#.VWbrbZgw\\_IU](https://www.servocity.com/html/hs-805bb_mega_power.html#.VWbrbZgw_IU) >.
- [5] ServoCity HS-755HB [online] - [cit. 2. května 2015]. Dostupné z URL: < [https://www.servocity.com/html/hs-755hb\\_1\\_4\\_scale.html#.VWbs25gw\\_IU](https://www.servocity.com/html/hs-755hb_1_4_scale.html#.VWbs25gw_IU) >.
- [6] ServoCity HS-645MG [online] - [cit. 2. května 2015]. Dostupné z URL: < [https://www.servocity.com/html/hs-645mg\\_ultra\\_torque.html#.VWcQI5gw\\_IU](https://www.servocity.com/html/hs-645mg_ultra_torque.html#.VWcQI5gw_IU) >.
- [7] ServoCity HS-422 [online] - [cit. 2. května 2015]. Dostupné z URL: < [https://www.servocity.com/html/hs-422\\_super\\_sport\\_.html#.VWcQSZgw\\_IU](https://www.servocity.com/html/hs-422_super_sport_.html#.VWcQSZgw_IU) >.
- [8] ServoCity HS-85BB [online] - [cit. 2. května 2015]. Dostupné z URL: < [https://www.servocity.com/html/hs-85bb\\_\\_mighty\\_micro.html#.VWcQbJgw\\_IU](https://www.servocity.com/html/hs-85bb__mighty_micro.html#.VWcQbJgw_IU) >.
- [9] SPŠ a VOŠT Brno [online] - [cit. 9. května 2015]. Dostupné z URL: < [web.spssbrno.cz/web/files/ukazky\\_vyuky\\_robotiky.pdf](http://web.spssbrno.cz/web/files/ukazky_vyuky_robotiky.pdf) >.
- [10] HORÁČEK, Michal. *Tvorba software pro řízení robotické ruky*. Bakalářská práce, Západočeská univerzita v Plzni, 2015.

## Seznam obrázků

Obr. 1.1: Rozdělení průmyslových robotů a manipulátorů.....	9
Obr. 1.2: Posuvné kinematické dvojice.....	11
Obr. 1.3: Smykadlové kinematické dvojice.....	12
Obr. 1.4: Teleskopické kinematické dvojice.....	12
Obr. 1.5: Rotační kinematické dvojice (zleva: otočné, kyvné).....	12
Obr. 1.6: Kinematický řetězec.....	13
Obr. 1.7: Manipulátor pracující v pravoúhlé soustavě.....	13
Obr. 1.8: Manipulátor pracující ve válcové soustavě.....	14
Obr. 1.9: Manipulátor pracující v kulové soustavě.....	14
Obr. 1.10: Manipulátor pracující v angulární soustavě.....	15
Obr. 2.1: Lynxmotion AL5D.....	18
Obr. 2.2: Pulzně šířková modulace.....	21
Obr. 2.3: Ukázka vlivu délky periody PWM na výsledném úhlu natočení servo motoru.....	21
Obr. 2.4: Arduino Duemilanove.....	22
Obr. 2.5: Výsledný návrh desky plošných spojů vyexportovaný programem EAGLE.....	24
Obr. 2.6: Deska plošných spojů pro připojení napájení, Arduina a servomotorů.....	24

## Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Servomotory určené pro pohyby manipulátoru.....	20
--	----