VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMEDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

ZAŘÍZENÍ S MODELÁŘSKÝMI RC SERVY

SYSTEM WITH RC MODEL SERVOS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE MILAN GARDÁŠ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Prof. Dr. Ing. PAVEL ZEMČÍK
SUPERVISOR

BRNO 2016

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav počítačové grafiky a multimédií Akademický rok 2015/2016

Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Gardáš Milan**
Obor: Informační technologie
Téma: **Zařízení s modelářskými RC servy**
System with RC Model Servos
Kategorie: Uživatelská rozhraní

Pokyny:

1. Prostudujte způsob řízení modelářských serv a možnosti jejich ovládání počítačem.
2. Navrhněte jednoduchý strojek sestrojený z modelářských serv a způsob jeho ovládání (jezdící model, robotek, mechanickou ruku apod.)
3. Popište a diskutujte možnosti ovládání modelářskými servy.
4. Navržený systém implementujte a demonstrujte.
5. Diskutujte dosažené výsledky a možnosti pokračování práce.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího

Pro udělení zápočtu za první semestr je požadováno:

- Body 1 až 3 zadání

Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Zemčík Pavel, prof. Dr. Ing.**, UPGM FIT VUT
Datum zadání: 1. listopadu 2015
Datum odevzdání: 18. května 2016

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav počítačové grafiky a multimédií
612 66 Brno, Božetěchova 2

L.S.

doc. Dr. Ing. Jan Černocký
vedoucí ústavu

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá RC modelářskými servomotory. Zkoumá a popisuje jejich fungování a vlastnosti. Dále popisuje možnosti jejich řízení pomocí počítače. Tyto znalosti jsou využity při stavbě robotické ruky a jejímu řízení pomocí počítače.

Abstract

This thesis deals with RC servo motor. Examines and describe their functioning and attributes. Further describing possibilities of their control with computer. These knowledge are use in building robotic arm and control it with computer.

Klíčová slova

Arduino, Pulzně-šířková modulace, RC servomotor, robotická ruka, sériový port

Keywords

Arduino, Pulse-width modulation, RC servomotor, robotic arm, serial port

Citace

GARDÁŠ, Milan. *Zařízení s modelářskými RC servy.* Brno, 2016. 34 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Zemčík Pavel.

Zařízení s modelářskými RC servy

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Prof. Dr. Ing. Pavla Zemčíka. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

……
Milan Gardáš
18. května 2016

Poděkování

Chtěl bych poděkovat Prof. Dr. Ing. Pavlu Zemčíkovi za trpělivost a cenné rady, které mi byly poskytnuty při tvorbě této práce.

© Milan Gardáš, 2016
Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů..

Obsah

1 Úvod 2
2 Shrnutí dosavadního stavu 3
2.1 Modelářské servo 3
2.1.1 Rozdělení servomotorů 4
2.1.2 Základní vlastnosti servomotorů 6
2.1.3 Součástky servomotoru 7
2.2 Modulace 11
2.3 Řízení modelářských servomotorů 14
2.3.1 Řízení pomocí RC vysílače a přijímače 15
2.3.2 Řízení pomocí počítače 15
3 Analýza a návrh řešení 19
4 Řešení a implementace 23
4.1 Hardwarová část řešení 23
4.2 Softwarová část řešení 28
4.3 Testování a zhodnocení výsledku 30
5 Závěr 33
Literatura 34

1 Úvod

V současné době se dostává modelářství do stále větší obliby široké veřejnosti, především díky stále klesajícím cenám nejrůznějších modelů ať už se jedná o letadla, vrtulníky, auta či stále populárnější multikoptéry. Ne každý ovšem chce pouze přijít do obchodu a zakoupit si model, ale velká část lidí si chce model postavit sama ať už z důvodu že prodávaným modelům nevěří, chtěl si sami vybrat součástky nebo jen pro dobrý pocit z odvedené práce.

Má práce se zabývá modelářskými servomotory, které jsou nedílnou součásti naprosté většiny modelů, protože jsou velmi levné a spolehlivě plní svou úlohu, ať už se jedná o natáčení kol u aut nebo otevření kokpitu u letadla.

Tuto práci jsem si vybral, protože mě již od dětství fascinovali různé modely, ať už dálkově řízených autíček či letadel a vždy jsem si přál pochopit jak fungují.

Následující kapitola shrnuje důležitou teorii, která se týká této práce a snaží se ji jednoduše a stručně vysvětlit. Konkrétně se zabývá modelářskými servomotory, vysvětluje pojem modulace a v poslední podkapitole nabízí přehled zařízení pomocí nichž je možné řídit serva pomocí osobního počítače.

Třetí kapitola definuje požadavky na můj vlastní návrh strojku sestrojeného pomocí modelářských servomotorů a porovnává jej s konkurencí.

Čtvrtá kapitola se zabývá samotnou konstrukcí zařízení z modelářských serv. Dále se také věnuje popisu implementace programu pro ovládání zkonstruovaného zařízení. Dále se věnuje testování zařízení a vyhodnocením výsledků.

2 Shrnutí dosavadního stavu

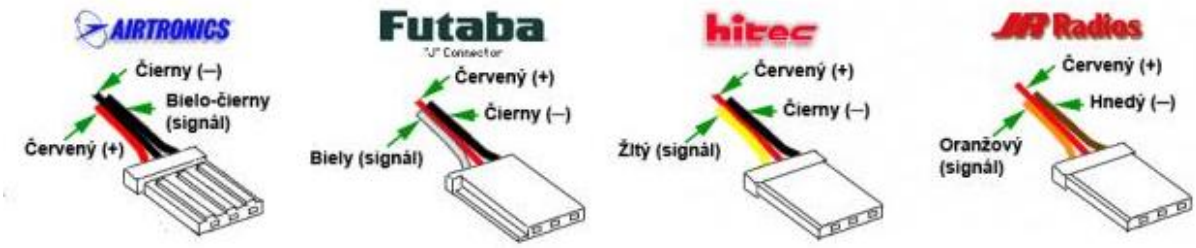
Kapitola obsahuje bližší informace o modelářských RC servomotorech, jejich řízení pomocí počítače a o modulaci. Informace jsou čerpal ze zdrojů [1][3][4][5].

2.1 Modelářské servo

Modelářské servo je zařízení, které převádí digitální signál z přijímače na mechanický pohyb, jímž je otáčena výstupní páka. Využívá se v RC modelech pro ovládání pohyblivých součástí například ovládání natočení kol modelu auta nebo ovládání směrovky u modelu letadla. Ukázka servomotorů je k vidění na obr. č. 2.1. Provozní napětí bývá v rozmezí od 4,8 do 6 V, ovšem typické napětí je 5 V.

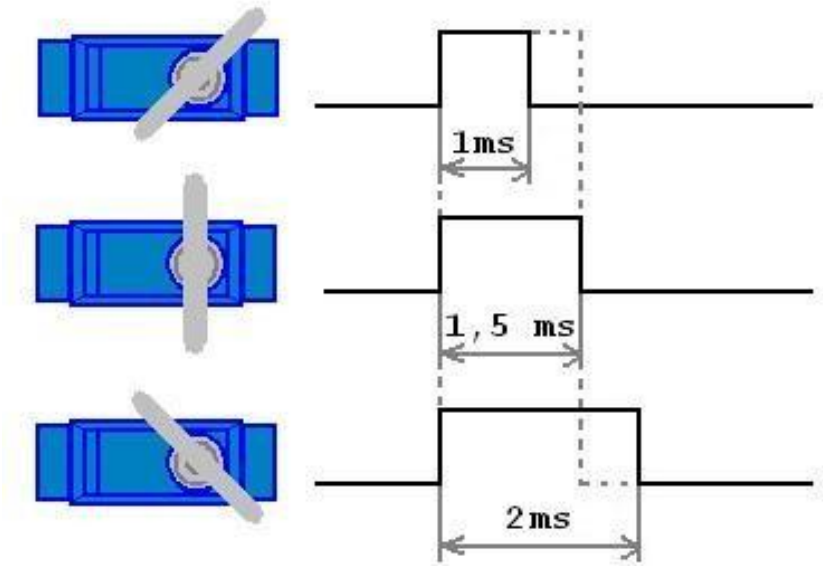
Obr. č. 2.1.: Analogové servo Hitec HS-225 nalevo, digitální servo Hitec HS-7235 napravo

Do každého serva vede kabel jehož starostí je napájení a přívod signálu do serva. Tento kabel je třívodičový, kde napájení má dva vodiče typicky červený pro plus a černý pro mínus a vodič bílé nebo žluté barvy pro přívod řídícího signálu ovšem každý výrobce to může mít jinak. Tyto vodiče jsou zakončeny třípinovým konektorem. Tvar konektorů a barvy vodičů některých výrobců modelářských servomotorů jsou zobrazeny na obr. č. 2.2.



Obr. č. 2.2.: Konektory a barvy kabelů některých výrobců serv

Po řídícím vodiči vede signál modulovaný pomocí PWM modulace, více o ní a vůbec o modulacích se dočtete v kapitole modulace. Tento signál určuje o kolik se otočí výstupní páka. Rozsah otáčení výstupní páky je ve většině případů $180°$, přesněji jde otočit o $90°$ do protisměru hodinových ručiček a $90°$ po směru hodinových ručiček za předpokladu že se páka nachází v neutrální poloze. Natočení výstupní páky podle velikosti střídy je k vidění na obr. č. 2.3.



Obr. č. 2.3.: Natočení výstupní páky servomotoru dle velikosti střídy

2.1.1 Rozdělení servomotorů

Hlavní dělení serv probíhá dle hmotnosti od níž se odvíjí také velikost. Toto dělení je zaznamenáno v následující tabulce:

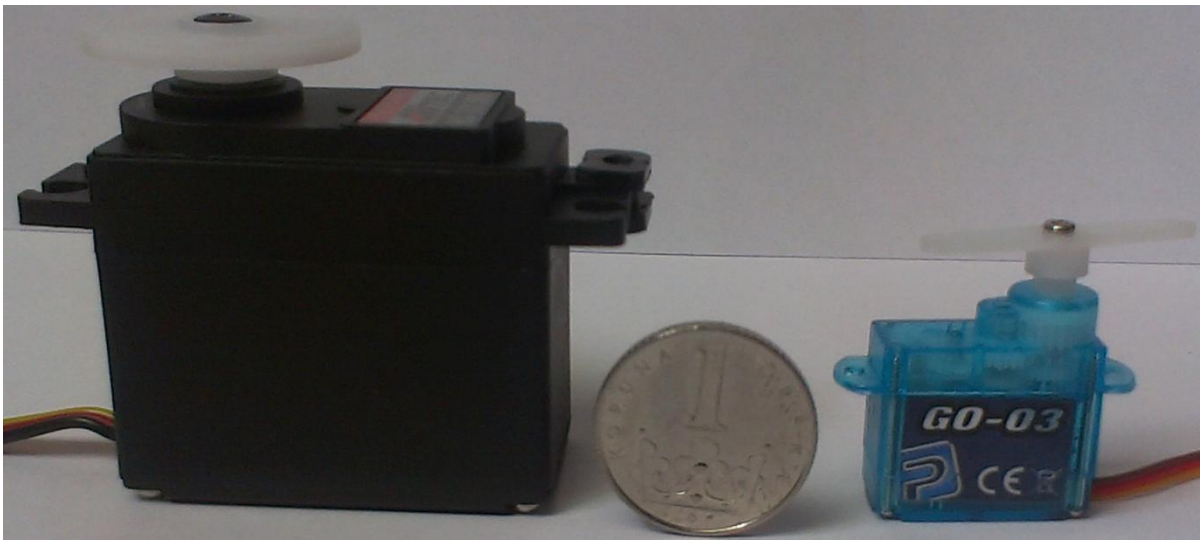
Označení	Hmotnost [g]	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]
Mikro	1 - 10	18 - 32	8 - 15	16 - 30
Mini	10 - 20	32 - 40	16 - 20	32 - 40
Standard	20 - 50	40 - 50	20 - 25	35 - 45
Maxi	50+	50 - 65	25 - 32	45 - 60

Tabulka č.1.: Rozdělení modelářských servomotorů dle hmotnosti

Skupina Mikro serv, které mají hmotnost mezi jedním až pěti gramy se označuje jako Super-mikro nebo Ultra-mikro serva. Ukázka některých typů serv je na obr. č. 2.4.

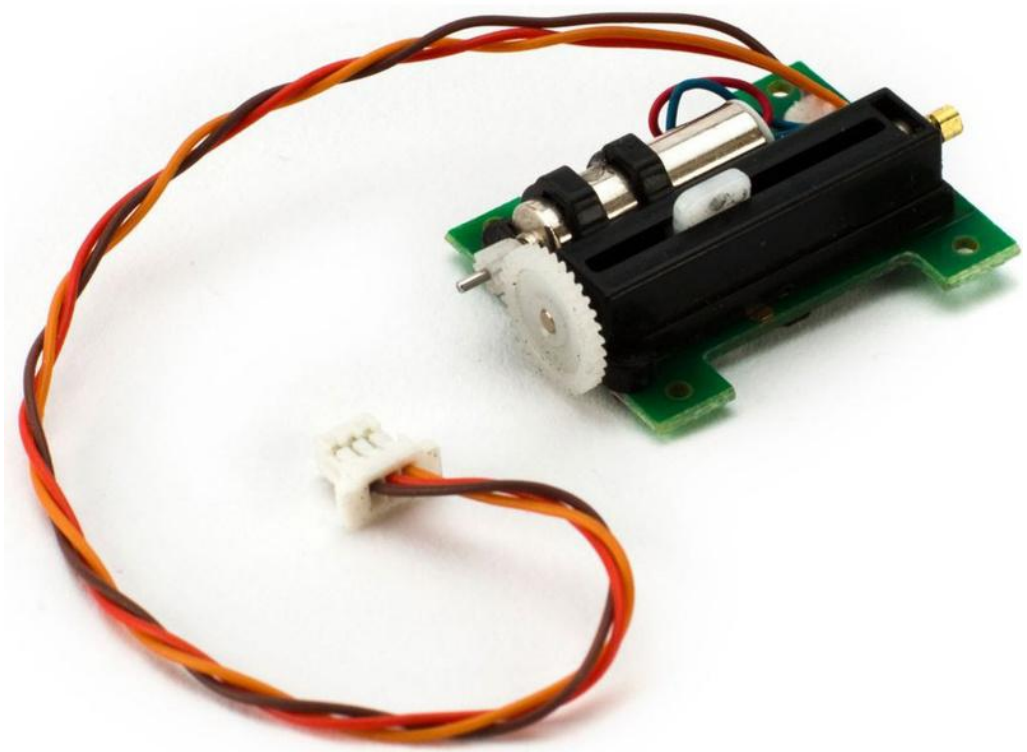
Od hmotnosti se také odvíjí výkon servomotorů, ale nemůžeme například prohlásit, že všechna serva ze skupiny mini budou výkonnější něž serva ze skupiny mikro, protože například velmi drahé mikro servo může být výkonnější než nějaké levné mini servo.

Rozdělení na analogová a digitální je vysvětleno dále v textu.



Obr. č. 2.4.: Porovnání velikosti servomotorů standard a mikro s jednokorunovou mincí

Dále se serva rozdělují také podle dráhy pohybu, jenž vykonává výstupní páka. Takto se rozdělují na klasická, kde páka vykonává pohyb po části kružnice, a na serva označovaná jako lineární jejichž výstupní páka či jezdec vykonává pohyb po úsečce. Ukázka lineárního serva je zobrazena na obr. 2.5.[1] Nabídka lineárních servomotorů je v dnešní době omezená a je spíše výjimkou naleznout je v nabídce obchodů s modelářskými potřebami.



Obr. č. 2.5.: Lineární servomotor Spektrum H2040L

[1] Převzato z: http://www.savage.cz/rc-obchod/nahradni-dily-a-prislusenstvi/rc-serva/linearni/58828-spektrum-servo-h2040t-2-9g-linear-tail.html

2.1.2 Základní vlastnosti servomotorů

Krátký popis jednotlivých vlastností, které udávají výrobci a pomáhají tím k výběru správného servomotoru pro konkrétní využití. K dalším vlastnostem udávaných výrobci serv patří samozřejmě i údaje o jeho rozměrech tedy délka, šířka, výška a také hmotnost. Hodnoty těchto naprosto základních vlastností pro jednotlivé velikosti servomotorů jsou k nalezení v tabulce umístěné dříve v textu, tyto vlastnosti zde nebudou popisovány, protože jejich popis si jistě každý dokáže domyslet sám.

Napájecí napětí

Rozsah napájecího napětí na přívodním kabelu serva, při kterém je servo schopné pracovat. Typický rozsah je 4,8 až 6 V. Některé servomotory z kategorie mikro pracují při nižším napájecím napětí mezi 2,6 V a 3 V. Některá výkonnější serva naopak potřebují větší napětí v rozmezí 7,4 až 11 Voltů.

Rychlost pohybu serva

Udává jak dlouhou dobu trvá než se servo natočí o určitý úhel, časté hodnoty úhlů jsou 45° a 60°. Toto může způsobovat komplikace při porovnávání dvou serv od různých výrobců. Ve většině případů se rychlost pohybuje mezi 0,1 a 0,2 a závisí také na velikosti a kvalitě serva. Častokrát je u popisu tato vlastnost dvakrát pro nejmenší a největší napájecí napětí, které servo zvládne.

Kroutící moment serva

Patří mezi jeden z nejdůležitějších parametrů. Obvykle se udává v kilogramech na centimetr (kg/cm) a vyjadřuje hmotnost závaží, kterým je servo schopné pohnout pokud bude zavěšené na rameni o délce jeden centimetr. Nejmenší serva mají kroutící moment v řádu 0,2 - 0,3 kg/cm, největší dosahují až 10 kg/cm. Existují ovšem i modely[2], které dosahují kroutícího momentu o jeden řád většího, taková serva jsou ovšem nejdražší.

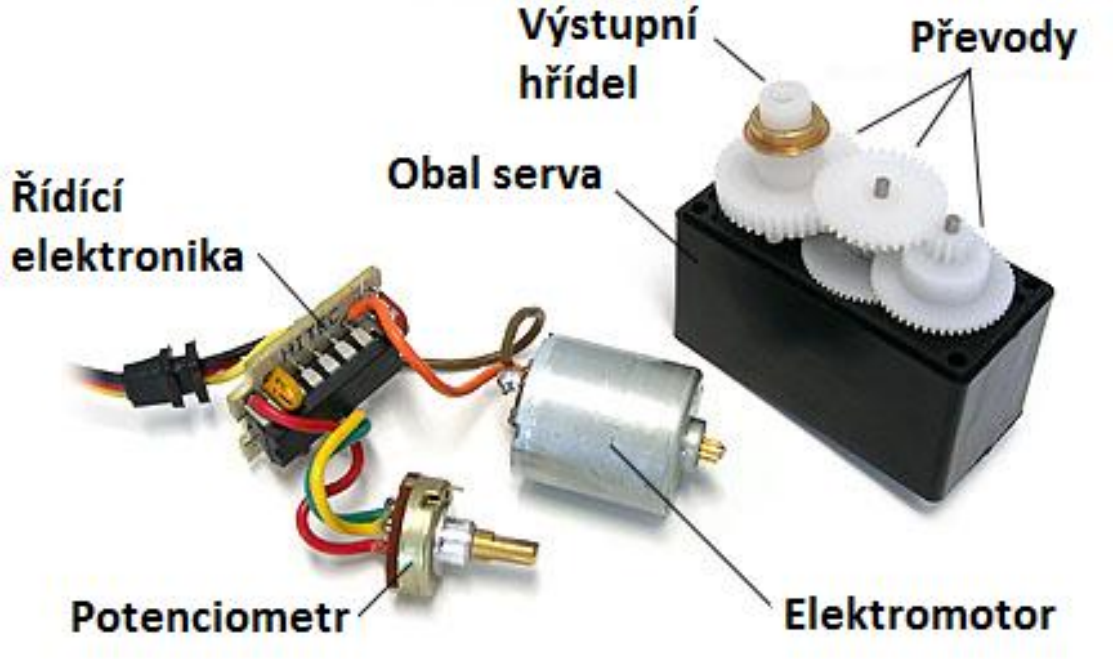
Šířka pásma necitlivosti

Časový údaj, který udává jak dlouhý musí být řídící impulz, aby se servo začalo pohybovat. Slouží jako ochrana proti rozkmitání serva při velmi malém chvění ovladače na vysílací straně. Standardně bývá toto pásmo v rozmezí 3 - 9 mikrosekund. Bohužel tento údaj neudávají všichni výrobci, ale pouze někteří.

[2] Hitec HS-1000 SGT dostupné na adrese: http://www.pelikandaniel.com/?sec=product&id=72702

2.1.3 Součástky servomotoru

Serva se skládají z několika součástek, které jsou k vidění na obr. č. 2.6. Jmenovitě se jedná obal serva, převody, řídící elektroniku, potenciometr, elektromotor, výstupní hřídel a výstupní páku (není na obrázku).



Obr. č. 2.6.: Jednotlivé části modelářského servomotoru

Obal serva

U většiny serv vyroben z plastu, ale u dražších a výkonnějších může být vyroben z hliníku. Obsahuje patky pro uchycení.

Elektromotor

Existují dva typy a to bezjádrové tzv. core-less elektromotorky, které se používají v malých servech a standardní stejnosměrné elektromotorky s třemi nebo pěti póly. Bezjádrové jsou lehčí proto je možné rychle ji roztočit, ale jsou dražší než standardní, které je kvůli své větší hmotnosti složitější roztočit, ale na druhou stranu jsou levnější a odolnější.

Převody

Obsahují několik stupňů typicky 4 až 5. Pomocí nich mohou mít serva i přes své malé rozměry velkou sílu. Převodový poměr určuje mezi rychlostí a tahem serva a je běžné že se jedno servo vyrábí a prodává ve dvou provedeních, kde jedno je slabější a rychlejší a druhé je pomalejší, ale zároveň také silnější. Převody se také vyrábějí ve dvou provedeních a to plastové, které jsou zobrazeny na obr. č. xx a kovové s kuličkovými ložisky, jenž jsou k vidění na obr. č. 2.7.

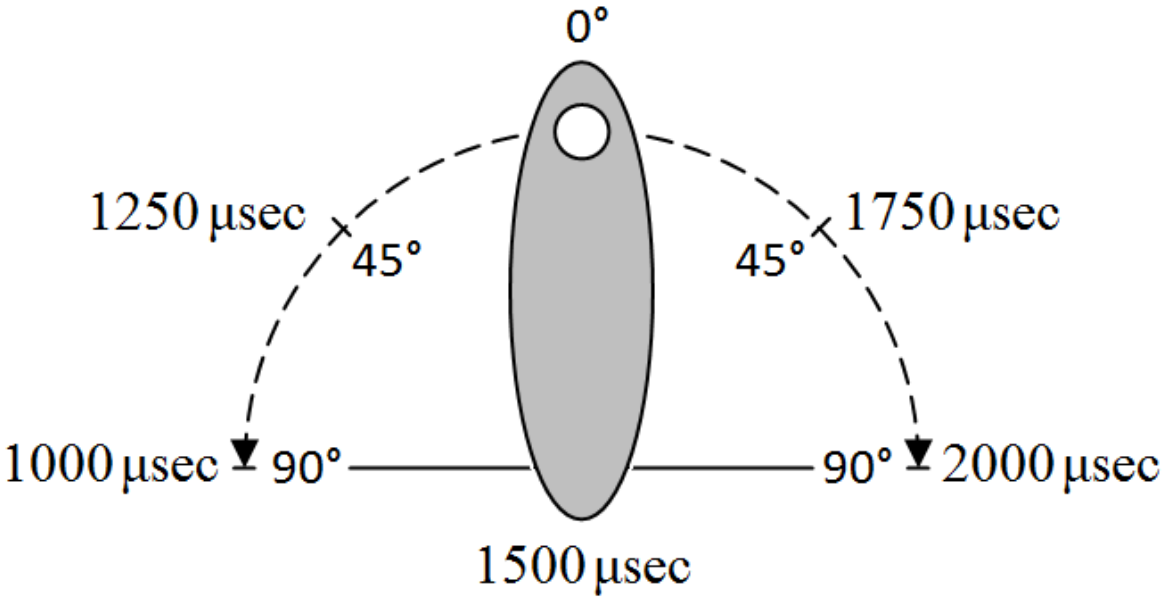
Obr. č. 2.7.: Servomotor s kovovými převody a výstupní hřídelí

Výstupní páka

Nasazuje se na výstupní hřídel a slouží k přenosu síly serva na zařízení, kterým má servo pohybovat. V každé páce jsou otvory pro upevnění požadovaného předmětu, dále má vroubkování, které přesně zapadá do výstupní hřídele servomotoru. Existují různé tvary pák mezi nejběžnější patří dvouramenná, čtyřramenná a kolečko. Některé typy výstupních pák jsou k vidění na obr. č. 2.8.

Obr. č. 2.8.: Výstupní páky modelářských serv zleva: jednoramenná, kolečko a čtyřramenná

Rozsah otáčení je většinou 180° což je zobrazeno na obr. č. 2.9.



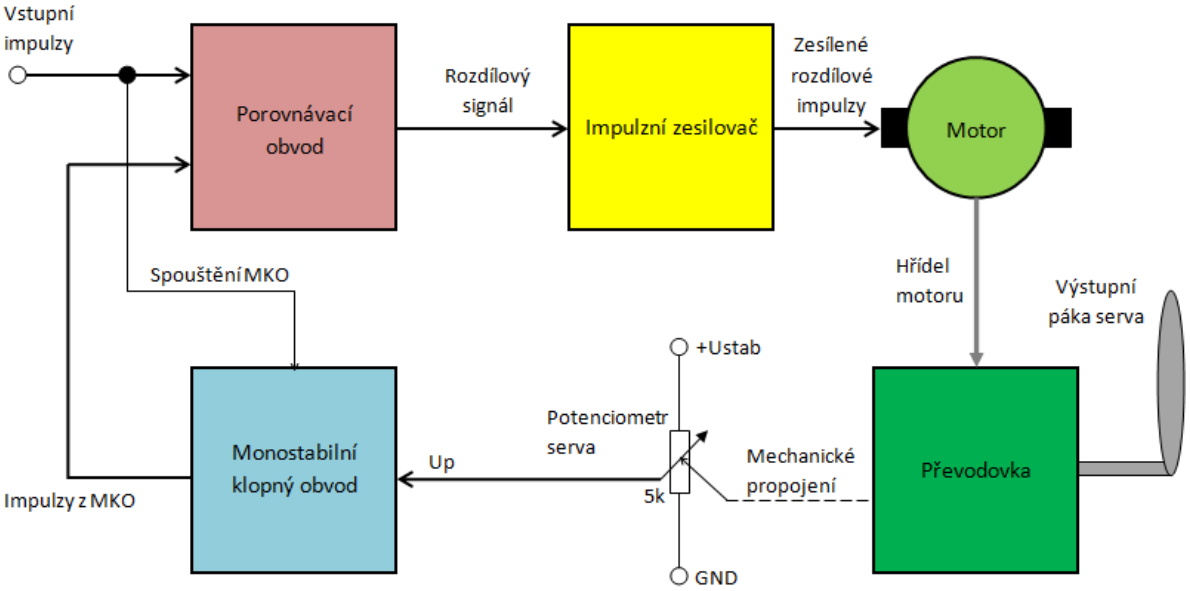
Obr. č. 2.9.: Rozsah otočení výstupní páky servomotoru

Řídící elektronika

Řídící elektronika má na starost přijmutí a zpracování vstupního signálu ze třívodičového vstupního kabelu, který byl popsán výše, a samotné ovládání serva. Dle použitých součástek na desce s řídící elektronikou se serva dělí na dvě základní skupiny:

a) Analogová serva

Obsahují speciální obvod, který podle šířky signálu a polohy potenciometru roztáčí stejnosměrný elektromotor serva tzn. elektromotor se zapíná pouze pokud se má hřídel pootočit a pokud se má pootočit jen o malý úhel pak servo nemá k dispozici maximální výkon. Pracuje na frekvenci 50 Hz, tedy pulzy jsou posílány každé 0,02 sekundy. Blokové schéma řídící elektroniky u analogového serva je zobrazeno na obr. č. 2.10.

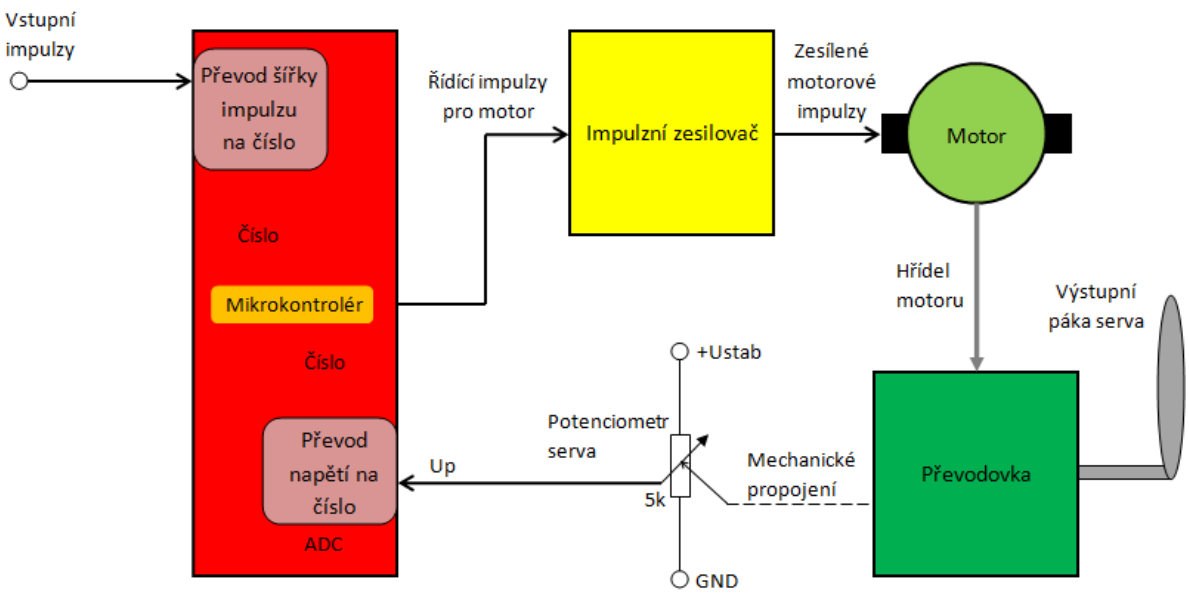


Obr. č. 2.10.: Schéma řídící elektroniky analogového serva

b) Digitální serva

Obsahují mikrokontrolér, který umožňuje ovlivnit některé parametry serva, čímž bude lépe přizpůsobeno svému účelu. Umožňuje pracovat na vyšší frekvenci typicky to je 300 Hz tedy jeden pulz příjde za 0,0033 sekundy díky čemuž bude elektromotor pracovat rychleji s konstantním točivým momentem.

Mezi výhody patří možnost naprogramování čímž možné například změnit neutrální polohu nebo rychlost pohybu. Nevýhodou je větší spotřeba elektrické energie než analogové servo. Schéma řídící elektroniky digitálního serva je na obr. č. 2.11.



Obr. č. 2.11.: Schéma řídící elektroniky digitálního serva

Potenciometr

Elektrotechnická součástka, která slouží jako napěťový dělič. U servomotoru slouží ke snímání polohy výstupní hřídele a zpětnou vazbou zabezpečuje správnou činnost serva. Je připojený k řídící elektronice serva. Používá se jeho otočná varianta.

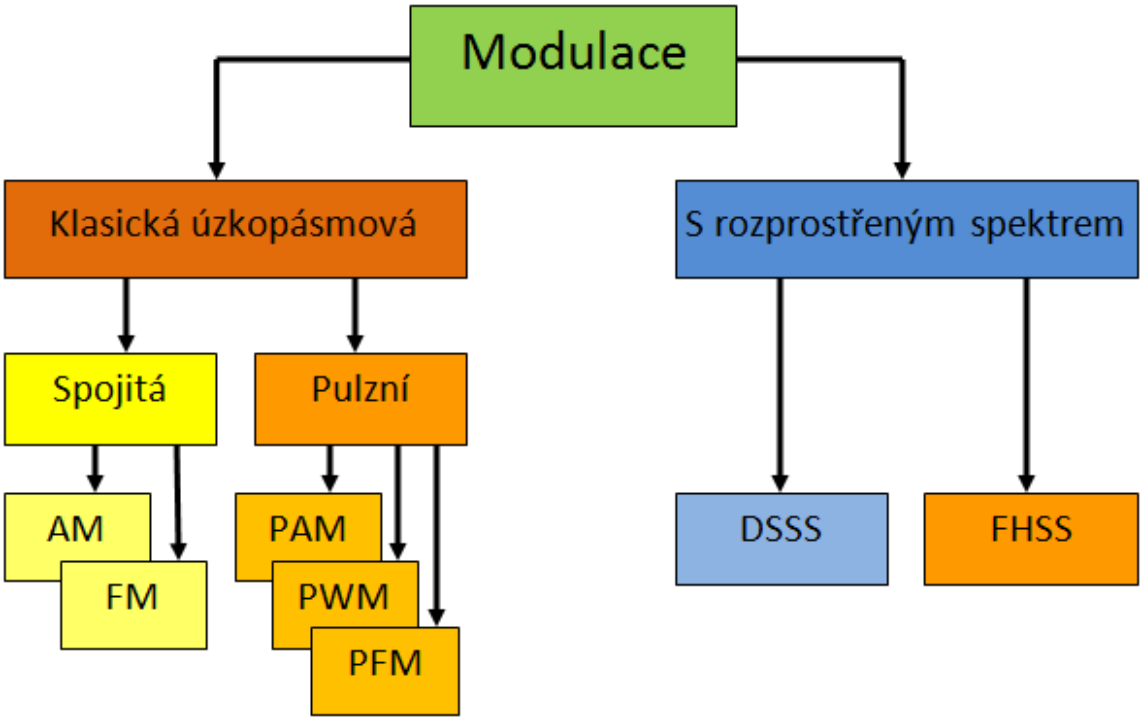
Výstupní hřídel

Slouží k přenosu otáčení mezi elektromotorem a výstupní pákou. U menších, levnějších nebo lehčích je uložena v plastovém pouzdře, u serv dražších, větších nebo výkonnějších je plastové pouzdro nahrazeno pouzdrem kovovým. Toto pouzdro má na svém povrchu drážky, čímž připomíná ozubené kolo, do kterých se zasune výstupní páka která má stejné drážkování, proto není ve většině případů možné kombinovat výstupní páku jednoho výrobce a servo od výrobce druhého. Ukázka plastového pouzdra výstupní hřídele je na obr. č. 2.12.

Obr. č. 2.12.: Plastové pouzdro výstupní hřídele

2.2 Modulace

Modulace je proces, který upravuje původní signál u kterého neměníme přenášenou informaci, ale pouze jeho vlastnosti tedy amplitudu, frekvenci a fázi signálu. Základní rozdělení modulací je k vidění na obr. č. 2.13.



Obr. č. 2.13.: Základní rozdělení modulací

Modulace se rozdělují podle vysílaného výkonu a šířky frekvenčního pásma. Je potřeba dosáhnout dostatečné kapacity kanálu, která je vyjádřena Shannonovým-Hartleyho vztahem[3], který má tuto podobu:

$$C = B \cdot \log_2\left(1 + \frac{S}{B}\right) \quad [\mathrm{bit} \cdot \mathrm{s}^{-1}, \mathrm{Hz}, \mathrm{W}, \mathrm{W}]$$

C - kapacita kanálu, teoreticky nejvyšší možná rychlost přenosu, ale ne všechny druhy modulace ji dosáhnou

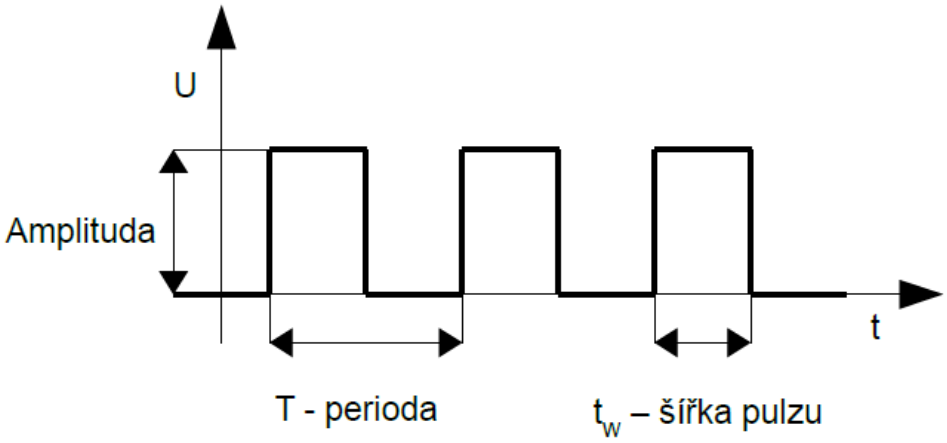
B - šířka pásma

S - výkonová úroveň užitečného signálu

N - výkonová úroveň nežádoucího šumu

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Shannon-Hartley_theorem

Dle výše uvedeného vztahu je tedy možné dosáhnout potřebné kapacity kanálu dvěma odlišnými cestami, konkrétně vysílat v úzkém pásmu (malé B) a použít velký výkon vysílače (velké S/N) čehož se využívá u klasické úzkopásmové modulace nebo vysílat v širokém pásmu B a použít nepatrný výkon (malé S/N) což se používá u modulace s rozprostřeným spektrem.
Pro řízení servomotorů se využívá Pulzně šířková modulace, proto je nutné pro lepší pochopení problematiky také vysvětlit pojem Pulzní modulace. Pulzní modulace znamená změnu některého z parametrů pulzního signálu modulačním signálem, tedy signálem představujícím přenášenou informaci. Jak vypadá pravoúhlý pulzní signál je znázorněno na obr. č. 2.14.



Obr. č. 2.14: Pulzní pravoúhlý signál

Tyto modulační metody jsou založeny na vzorkování časového průběhu spojitého vstupního signálu. Při zpracovávání signálu spojitý signál převedeme na impulsy se vzorkovací periodou T_V. Vzorkování musí splňovat Shannonův-Kotělnikův-Nyquistův teorém[4], který má tuto podobu:

$$f_v > 2 \cdot f_{\max} \quad [s^{-1}]$$

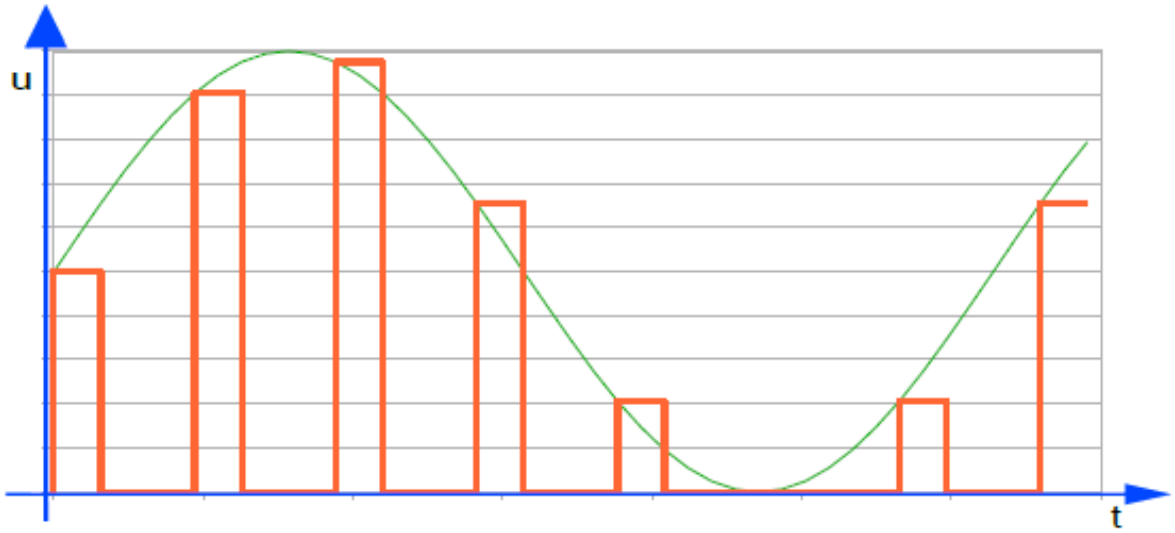
Kde f_v je frekvence vzorkování a $f_{\max}$ je maximální frekvence signálu. Je tedy nutné, aby vzorkovací frekvence byla minimálně větší než jaké hodnoty nabývá dvojnásobek maximální frekvence vzorkovaného signálu, pokud by vzorkovací frekvence nesplňovala podmínku teorému, pak by mohlo dojít k aliasingu[5]. Podle toho, který parametr měníme, dostáváme 3 druhy pulzní modulace.

Pulzní amplitudová modulace - PAM (Pulse-Amplitude Modulation)

U tohoto druhu pulzní modulace amplituda impulsů odpovídá modulačnímu signálu. Frekvence stejně jako šířka impulsů je konstantní. Jedná se o obdobu klasická amplitudové modulace. Průběh modulovaného signálu je na obr. č. 2.15. Modulační signál je zelená sinusovka, která je

[4] https://cs.wikipedia.org/wiki/Shannonův_teorém
[5] https://cs.wikipedia.org/wiki/Aliasing

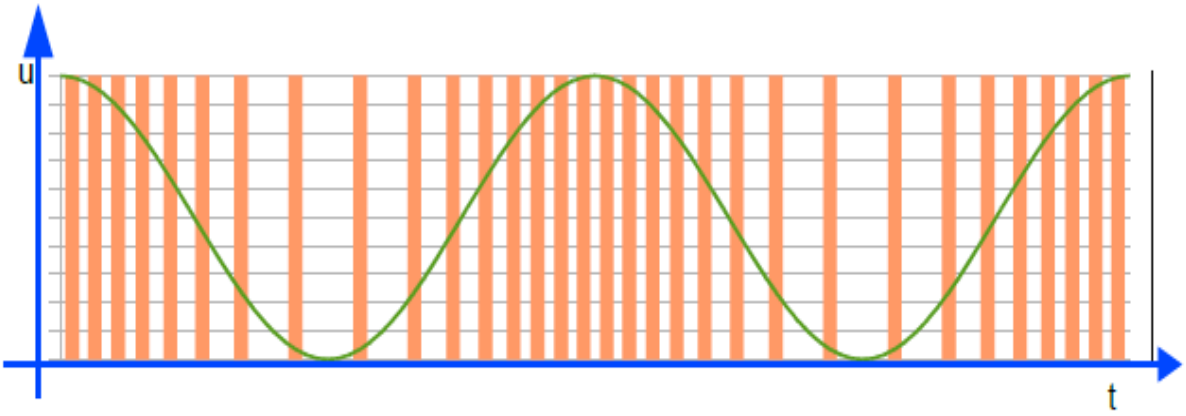
namodulována na mnohem rychlejší oranžové pulzní nosné metodou PAM. Pro obnovení původní informace stačí signál filtrovat přes dolní propust čímž získáme jeho střední hodnotu. Zlomová frekvence propusti musí odpovídat nejrychlejší přenášené frekvenci. Využívá se například pro modulaci slabých stejnosměrných signálů pro jejich následné zesílení střídavým zesilovačem nebo pro vzorkování signálu před jeho digitalizací.



Obr. č. 2.15: Pulzní amplitudová modulace

Pulzní frekvenční modulace - PFM (Pulse-Frequency Modulation)

Frekvence impulzů odpovídá velikosti modulačního napětí. Amplituda a šířka impulzů je konstantní. Takto modulovaný signál je na obr. č. 2.16. Frekvence oranžových impulzů je úměrná velikosti zeleného modulačního napětí. Demodulace signálu je stejná jako u PAM. Využívá se například při měření neelektrických veličin, kde slouží jako na výstupu průmyslových čidel, které tyto neelektrické veličiny měří. Jedná se o obdobu klasické frekvenční modulace.



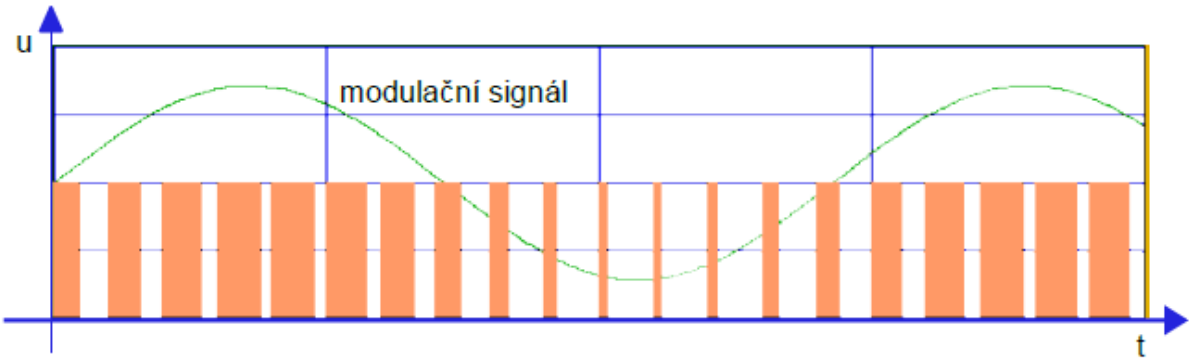
Obr. č. 2.16.: Pulzní frekvenční modulace

Pulzní šířková modulace - PWM (Pulse-Width Modulation)

Šířka impulzů t_w odpovídá velikosti modulačního napětí. Frekvence i amplituda pulzů je konstantní. Na rozdíl od předchozích druhů pulzních modulací nemá tato modulace obdobu u klasických analogových modulací. Důležitým parametrem je střída [6], která udává dobu trvání úrovně logické jedničky vůči celkové periodě signálu. Vztah pro výpočet střídy signálu:

$$S = \left(\frac{t_1}{T}\right) \cdot 100 \quad [\%, s, s]$$

kde t_1 je délka pulzu při úrovni logické jedničky, T je délka jedné periody a násobení 100 slouží pro získání hodnoty střídy v procentech. Ukázka takto modulovaného signálu je zobrazena na obr. č. 2.17. Demodulace signálu probíhá opět dolní propustí jako u PAM, ale protože je amplituda konstantní, může být modulovaný signál přenášen polovodičovými prvky ve spínacím režimu, díky čemuž je možné signálem PWM řídit zátěže o mohutném výkonu. Tato modulace je odolnější vůči rušení než PAM. Využívá se například ve výkonových zesilovačích, k řízení pohonu lokomotiv se střídavým pohonem a také řízení modelářských servomotorů a elektromotorů.



Obr. č. 2.17.: Pulzní šířková modulace

2.3 Řízení modelářských servomotorů

Standardně se pro ovládání serv používá RC vysílač a přijímač, proto se také modelářské servomotory někdy označují jako modelářské RC servomotory, kde RC je zkratka Radio Controlled tedy řízené rádiovými vlnami. Tyto vlny nemusejí řídit pouze modelářské modely, ale používají například také dálkovému řízení času na hodinkách. Vzhledem k tomu, že se má Bakalářská práce zabývá řízením servomotorů pomocí počítače, proto možnost řízení pomocí rádiových vln popíši jen zlehka. Informace jsem získal ze zdrojů [7][8][10][11][12].

2.3.1 Řízení pomocí RC vysílače a přijímače

Vysílač je zařízení, které přeměňuje úroveň stlačení či pootočení ovladačů na vysokofrekvenční signál, který je poté pomocí antény vyslán do okolí. Tento signál se dá modulovat třemi typy modulace: Amplitudovou modulací (AM), Frekvenční modulací (FM) a Pulzní kódovou modulací (PCM). Nejlepší je použít PCM modulaci z důvodu přenosu signálu v samoopravném kódu, který umožňuje přijímači kontrolovat jeho správnost. Ukázka přijímače je zobrazena na obr. č. 2.18.

Obr. č. 2.18.: RC vysílače na levé straně pákový, na pravé straně volantový

Přijímač přijímá prostřednictvím své antény signál vysílaný vysílačem a přeměňuje jej na digitální impulzy, které ovládají jednotlivé servomotory případně jiné prvky daného modelu. Skládá se ze tří částí: vysokofrekvenční jež obsahuje krystal párovaný s krystalem vysílače, dále mezifrekvenční část, která slouží k filtraci užitečného signálu a nakonec nízkofrekvenční část, která vytváří řídící signál pro jednotlivé prvky modelu. Ukázka takové přijímače je na obr. č. 2.19.

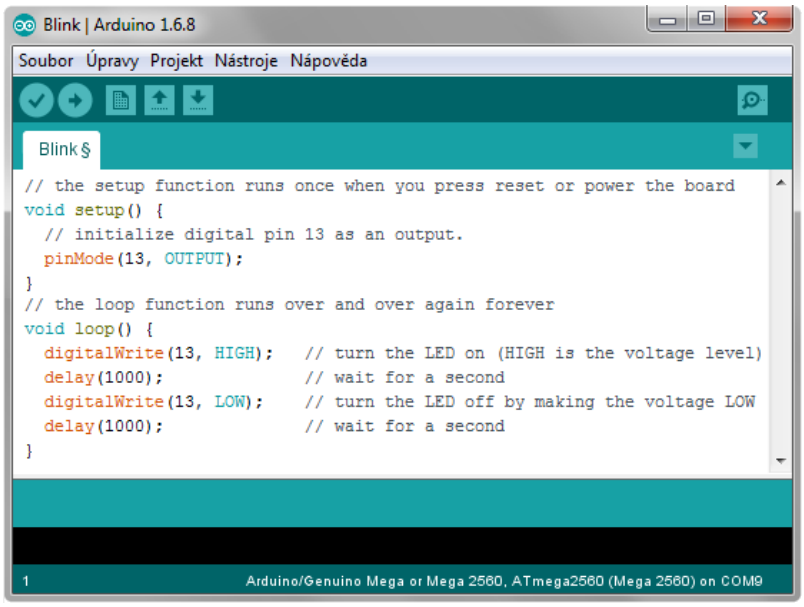
Obr. č. 2.19.: RC přijímač

2.3.2 Řízení pomocí počítače

Pokud chceme ovládat je potřeba RC vysílač a přijímač nahradit nějakým mikrokontrolérem nebo mikropočítačem, který bude přijímat signály z počítače, zpracuje je a následně pošle signály jednotlivým servomotorům, které se natočí podle přijatého signálu. Mezi mikropočítače jež umožňují tuto funkčnost patří Arduino a Raspberry Pi. Dále je možné nahrazení specializovaným hardwarem, který je přímo určený pro ovládání modelářských serv, takovým zástupcem jsou desky Mini Maestro od firmy Pololu.

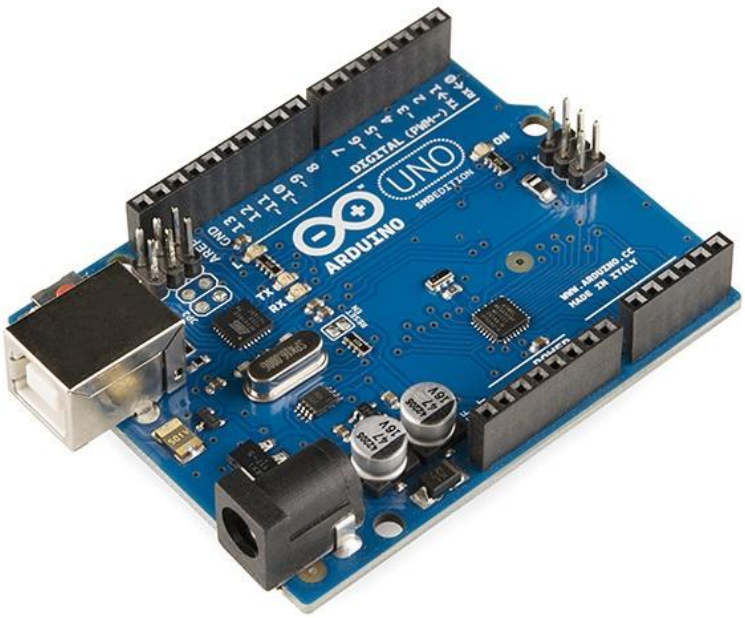
Arduino

Arduino je levný vývojový kit založený na mikroprocesoru ATMega od firmy Atmel. Programuje se ve vlastním vývojovém prostředí, ukázka prostředí je zobrazena na obr. č. 2.20.



Obr. č. 2.20.: Arduino IDE

Programuje se speciálním Arduino jazykem, založeném na jazyku Wiring, který je podobný jazyku C. Desku je možné zakoupit nebo si ji vyrobit, protože je k dispozici pod otevřenou licencí. Je k němu vytvořena knihovna pro ovládání servomotorů [7]. Existuje mnoho verzí vývojové desky lišící se dle velikosti a počtem vstupně/výstupní pinů. Obrázek desky Arduino UNO je na obr. č. 2.21. Jeho velká výhoda je velká rozšiřitelnost jeho možností, protože se k němu dá připojit velké množství doplňků z jejich velkého množství uvedu například bluetooth modul, LCD displej, ultrazvukový senzor, membránová klávesnice a modelářský servomotor.



Obr. č. 2.21.: Deska Arduino UNO

Raspberry Pi

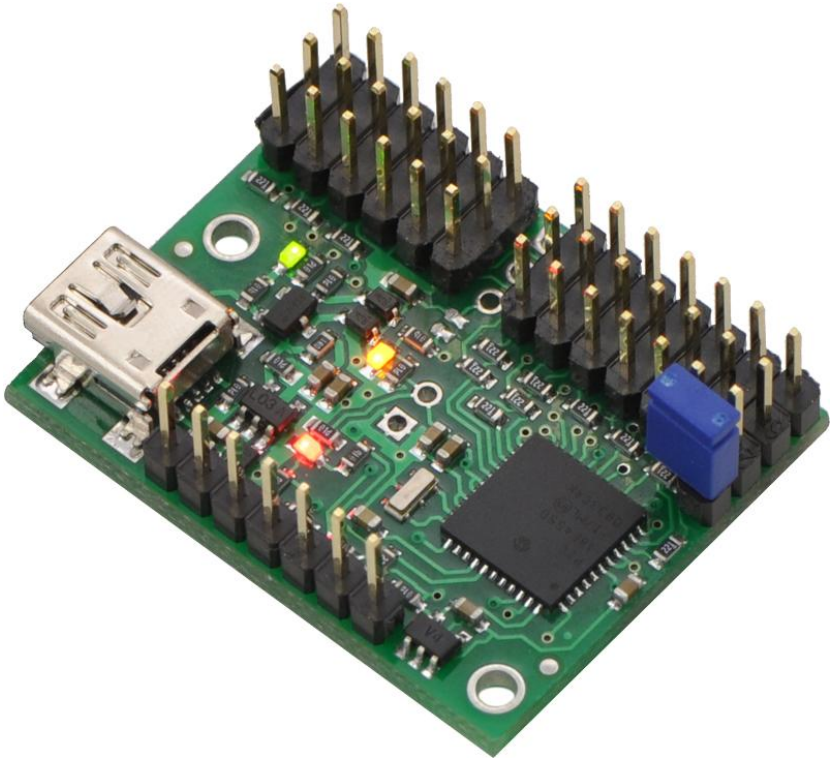
Raspberry Pi je jednočipový počítač založený na mikroprocesoru z rodiny ARM. Je na něm možné provozovat různé linuxové distribuce, které jsou speciálně upraveny. Jak vypadá mikropočítač Raspberry Pi je možné si prohlédnout na obr. č. 2.22.

Obr. č. 2.22: Raspberry Pi B+

Na rozdíl od Arduina umožňuje nejen spouštění, ale také vývoj aplikací. Programování je možné ve velkém množstvím jazyků, ale nejčastěji se používá Python. Díky přítomnosti ořezané linuxové distribuce je možné vyvíjet aplikace v klasických linuxových editorech typu vim nebo emacs, případně je možné nainstalovat i své oblíbené vývojové prostředí pokud to jeho výrobce umožnil. Nemusí být využíván pouze pro řízení modelů, ale také například jako multimediální centrum k televizi nebo jako NAS. Ovládání servomotorů probíhá pomocí GPIO pinů, což jsou piny, které lze programovat pomocí softwaru a je možné na ně vysílat signál nebo z nich naopak nějaký signál číst. Stejně jako u Arduina se k němu dá připojit mnoho příslušenství například uvedu senzor teploty a vlhkosti, gps modul nebo sedmi palcový dotykový displej, ale příslušenství je méně než u Arduina. V současné době vyšla nová verze č.3, která nabízí mimo jiné i integrovaný wi-fi modul.

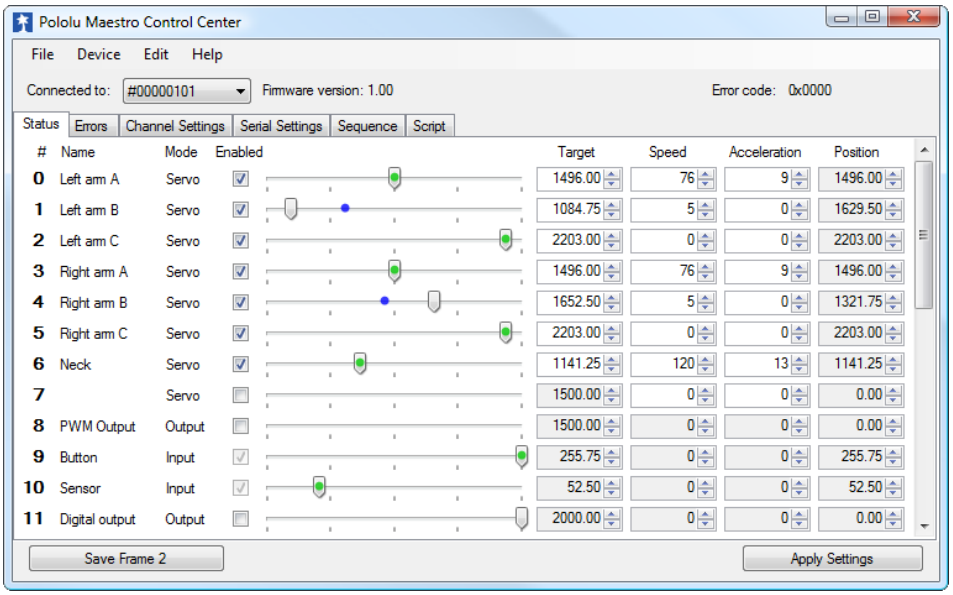
Mini Maestro

Mini Maestro jsou vysoce univerzální desky pro ovládání servomotorů a pro všeobecné vstupy a výstupy. Umožňuje ovládání pomocí portu USB nebo sériovým TTL pro vestavěné systémy. Ukázka desky Mini Maestro je na obr. č. 2.23.



Obr. č. 2.23.: Deska Mini Maestro 12

Programování probíhá pomocí grafického rozhraní v programu Maestro Control Center, volně dostupného pro Windows i pro Linux. Ukázka tohoto prostředí je na obr. č. 2.24. Obsahuje 8 KB paměti pro uložení programu.



Obr. č. 2.24.: Maestro Control Center

3 Analýza a návrh řešení

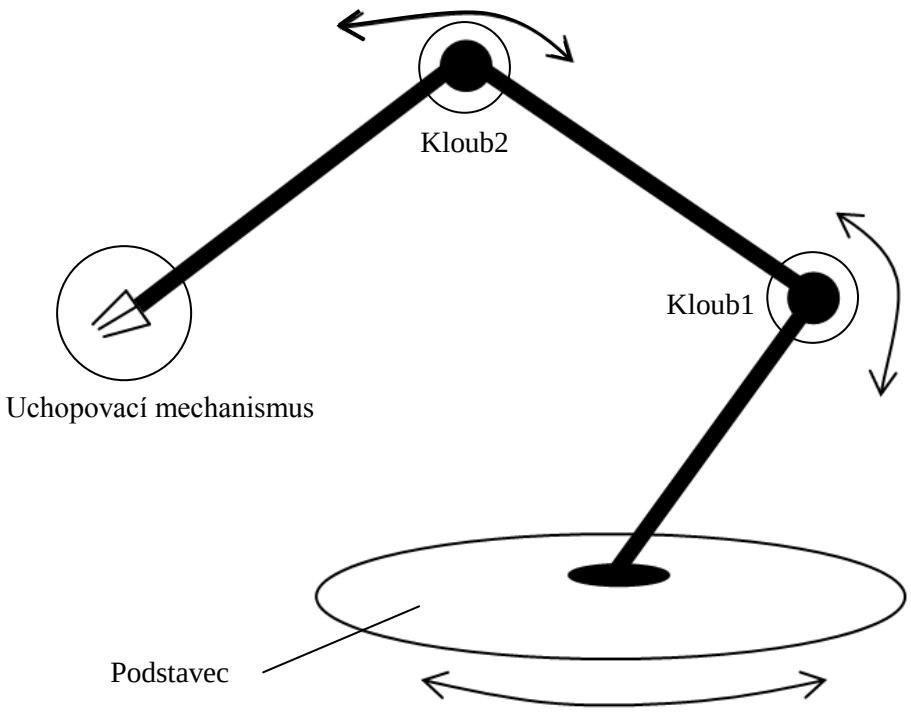
V této kapitole nastiňuji požadavky řešení mnou vybraného strojku tedy robotické ruky. Dále se zde nachází krátké srovnání s komerčně dostupnými produkty.

Požadavky na vlastní zařízení

Řešením práce bude zařízení, které by mělo splňovat většinu z následujících technických požadavků:

- Kompaktní rozměry - do velikosti 40 x 40 cm
- Stabilní a bytelná konstrukce
- Nosnost 50 g
- Nízký počet externích napájecích baterií
- Možnost uchopení malých i větších předmětů
- Dobrý rozsah pohyblivosti ramen a podstavce
- Použití modelářských servomotorů
- Přiměřená cena výsledného zařízení

Výsledný strojek by měl mít konstrukci, která je podobná té zobrazené na obr. č. 3.1.



Obr. č. 3.1: Schéma robotické ruky

Výsledné zařízení se bude skládat z několika důležitých součástí, zde je jejich stručný popis:

- **Podstavec**

Součást která bude oporou celému zařízení. Jak je uvedeno výše je nutné aby byla stabilní a bytelná. Také v ní bude zabudováno servo, které bude otáčet celou konstrukcí robotické ruky. V ideálním případě bude otáčet celou konstrukcí o 360°, ale vzhledem k velmi malé nabídce serv, která by se otáčela o celých 360° je možné že bude zařízením možné otáčet pouze o 180°. Nabízí se také další řešení, které zahrnuje dvě serva na sobě. V tomto případě ale mohou přijít problémy se stabilitou. Jako třetí variantu je možné uvažovat použití silného elektromotorku, který by pomocí ozubeného kola otáčel celou konstrukcí robotické ruky. Pokud bude použito servo, pak očekávám použití serva z kategorie standard, přičemž jeho tah by se odvíjel od váhy určené k otáčení a navíc se musí brát v úvahu i hmotnost uchopeného předmětu.

- **Klouby**

Budou umožňovat nastavení výšky ve které se bude nacházet uchopovací mechanismus. Momentálně je počítáno s tím, že každý kloub bude mít jeden servomotor, ale je možné že bude nutné přidat na druhou stranu klubu druhý, protože to jedno servo nezvládne. Očekávaný rozsah kloubu je 60° pro Kloub1 a 90° pro Kloub2. Předpokládám využití serva z kategorie standard. Rychlost otáčení není podstatná, ale kroutící moment by měl být co největší ideálně alespoň 3 kg/cm, aby bylo možné přemisťovat i těžší předměty. Nejvyšší důraz bude opět kladen na jeho tah při nejvyšším povoleném napájecím napětí.

- **Uchopovací mechanismus**

Bude se skládat ze tří servomotorů, jenž budou umístěny tak, aby se jejich výstupní páky jen těsně nedotýkaly. Pomocí výstupních pák bude držen uchopovaný předmět. Volba serv je zde důležitá protože nesmí být těžké což by způsobovalo problémy kloubům. Proto bude při výběru serva kladen největší důraz na jeho váhu a cenu zatímco ostatní parametry budou spíše druhořadé.

Porovnání s komerčním produktem č. 1

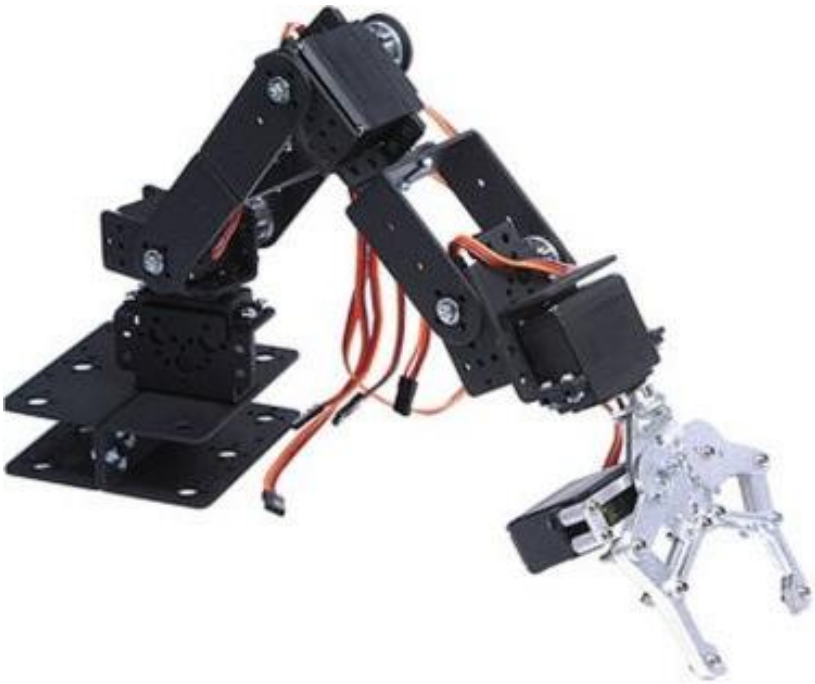
K porovnání jsem vybral produkt s názvem: Stavebnice Robotické rameno 5 motorů 5 kloubů[6], jak vypadá je možno vidět na obr. č. 3.2. Mezi jeho výhody v porovnání s mým robotickým ramenem patří určitě designová stránka, protože jako produkt, který se vyrábí a prodává ve velkém množství má na míru vyrobené plastové díly plus výrazné a líbivé barvy. Jsem si naprosto jist, že tyto atributy mé robotické rameno mít nebude, protože by si to vyžádalo nemalou finanční investici a navíc design není požadavkem v zadaní. Uváděná maximální zvedací kapacita komerčního robotického ramena je 100 gramů. Po stránce výkonu se domnívám, že můj strojek bude lepší. Po stránce přizpůsobivosti má navrch komerční produkt, protože má 5 kloubů, které mu umožňují větší flexibilitu než 3 plánované klouby na mém modelu. Posledním parametrem u kterého je možné porovnání je cena, která u prodávaného modelu činí 1990 Kč. Náklady na můj model odhaduji na částku okolo 2000 Kč, která bude záviset na počtu použitých servomotorů a na typu použité řídící desky.

Obr. č. 3.2.: Stavebnice Robotické rameno 5 motorů 5 kloubů

[6] Dostupný na adrese: http://www.elektro-hofman.cz/cz-detail-876097-roboticke-rameno-ksr10-stavebnice-usb-k-pc-nutno-dokoupit.html

Porovnání s komerčním produktem č. 2

Druhým produktem, který srovnávám se svou robotickou rukou je produkt, jenž má název Arduino robotická ruka[7]. Tento výrobek na rozdíl od předchozího používá servomotory, proto bude porovnání objektivnější. Obrázek produktu je na obr. č. 3.3.



Obr. č. 3.3.: Arduino robotická ruka

Design na rozdíl od prvního komerčního výrobku není tak hezký.Tato robotická ruka obsahuje šest servo motorů což jistě umožňuje naklánění ve velkých úhlech, ovšem otázku vyvolává základna, která se nezdá masivní a z výše zobrazeného obrázku to vypadá na to, že základna se má přimontovat na nějaký stabilní předmět. Produkt používá zajímavou konstrukci uchopovacího mechanismu, kde k sevření stačí pouze jedno servo na jehož výstupní páce je namontováno ozubené kolo, které spolu s dalším ozubeným kolem svírá mechanismus. Dalším zajímavým nápadem je servo, které umožňuje natočení uchopovacího mechanismu. Bohužel dodavatel neudává nosnost tohoto produktu.

Velmi zajímavé je to, že za cenu 4 695 Kč není součástí dodávky ani samotné Arduino, a je tedy nutné si jej dokoupit.

[7] Dostupný na adrese: http://arduino-shop.cz/arduino/978-arduino-roboticka-ruka-1424623023.html

4 Řešení a implementace

Tato část práce je věnována podrobnému popisu návrhu a výroby robotické ruky. Dále bude popsán vývoj programu pro její ovládání pomocí osobního počítače. Poslední část kapitoly se zabývá testováním funkčnosti a zjišťováním vlastností sestaveného strojku.

4.1 Hardwarová část řešení

Tato podkapitola se zabývá praktickou realizací robotické ruky, výběrem servomotorů a také zdůvodňuje použití vybraného mikropočítače pro její řízení.

Řízení strojku a výběr servomotorů

Pro řízení strojku byla vybrána platforma Arduino, konkrétně klon desky Arduino Mega 2560. Tato deska byla vybrána z důvodu možnosti řízení velkého množství servomotorů, dokáže jich ovládat až 48, dále má dobré napájecí obvody, díky čemuž je možné napájet většinu serv přímo z desky, a není tak nutné příliš utrácet za baterie. Díky své velikosti umožňuje také přehlednější zapojení kabelů. V neposlední řadě je nutno zmínit dobrou podporu a existenci knihovny, která je přímo určena pro práci se servomotory, její stručný popis se nachází v kapitole 4.2.

Výběr servomotorů byl velice podstatný, protože při výběru servomotoru se špatnými parametry by bylo nutné pozměnit konstrukci strojku. V zařízení jsou použity dva různé typy serv, konkrétně pro vytvoření uchopovacího mechanismu a k pohybu jednotlivých částí strojku. Jako servomotory pro pohyb mechanických částí byla vybrána serva výrobce Hitec model HS-322HD, pro uchopovací mechanismus byly zvoleny serva GO-03. Parametry obou serv jsou uvedeny v tabulce č.2. Celkem bylo při stavbě strojku použito šest servomotorů, od každého modelu tři kusy.

	Hitec HS-322HD	GO-03
Velikost	standard	mikro
Rozměry d x š x v [mm]	40 x 20 x 36,5	19,8 x 8,4 x 21,3
Váha [g]	43	3,7
Napájecí napětí [V]	4,8 - 6	2,6 - 4,8
Tah při 4,8V [kg/cm]	3	0,8
Tah při 6V [kg/cm]	3,7	-
Rychlost při 4,8V [s/60°]	0,19	0,12

Tabulka č.2.: Parametry použitých servomotorů

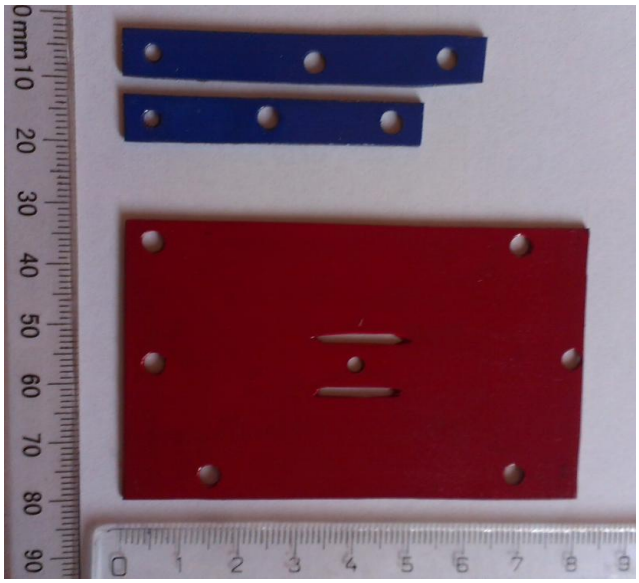
Stavba strojku

Při stavbě strojku bylo vycházeno z nákresu na obr. č. 3.1, součásti jenž jsou dále v textu označované jako Kloub1 a Kloub2 pochází právě z tohoto nákresu.

Jako materiál pro stavbu byl vybrán 1mm ocelový plech, který má částečnou perforaci díky čemu má menší hmotnost. Pro rameno spojující výstupní páku serva, které slouží k otáčení celého strojku, a Kloub1 byly použity části ze stavebnice Merkur, protože snadno umožňují měnit úhel, který svírá právě podstavec a rameno. Jako hlavní spojovací materiál byly použity šrouby s průměrem tři milimetry, které jsou taktéž součástí Merkuru. Pro vyrobení podstavce byla použita ocelová deska o rozměrech 15 x 25 cm a průměru 2 mm. Podstavec je připevněn na nohách, které mají tvar pravidelného dutého čtyřbokého hranolu se stranou délky 3,2 cm a průměru 2mm. Do podstavce je vytvořen otvor ke kterému je přišroubováno servo Hitec, které slouží k otáčení robotické ruky na strany, tedy pouze o 90° na každou stranu. Na výstupní páku tohoto serva se připevní rameno, které slouží k připevnění dalšího serva Hitec pro Kloub1. Na výstupní páku serva Kloub1 je připevněno další rameno, které má na svém konci ponechánu větší plochu pro umístění posledního serva Hitec označeného jako Kloub2. Na výstupní páce je přišroubováno poslední rameno, které má na svém konci upevněný uchopovací mechanismus. Serva pohybující rameny jsou na své pozice připevněny pomocí stahovacích pásků.

Výstupní páky servomotorů Hitec

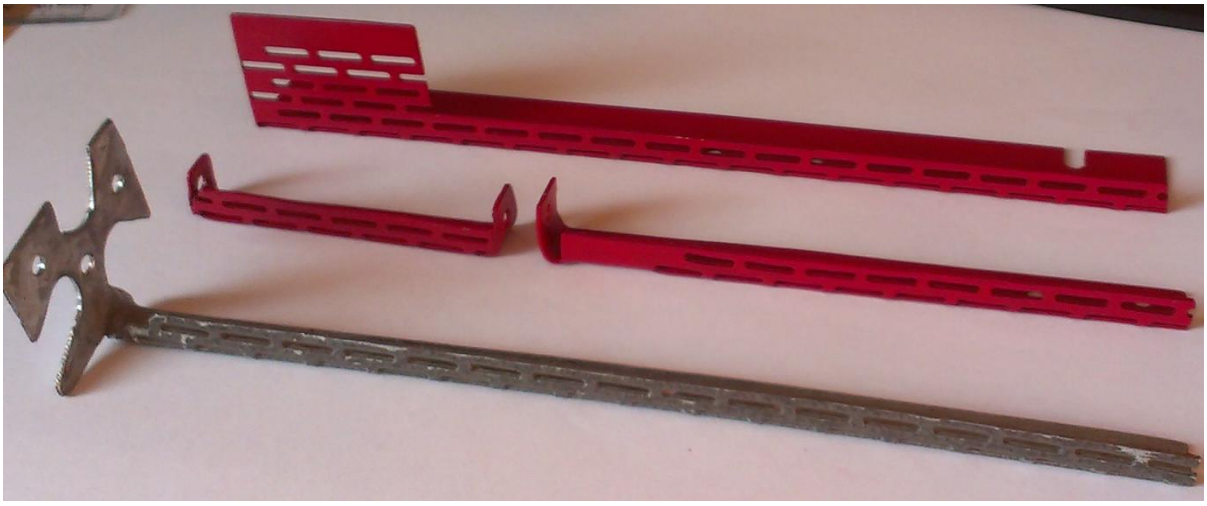
K servomotorům se standardně dodává sada výstupních pák, které slouží u uchycení předmětů a přenosu síly, což bylo popsáno v kapitole 2.1.3. Bohužel u serv použitých při stavbě tohoto modelu se dodávají pouze plastové výstupní páky a proto bylo potřeba vyrobit své vlastní páky, které budou delší a pevnější, čímž vlastně dokážou přenést větší procento síly ze servomotoru. Nově vytvořené výstupní páky jsou zobrazeny na obr. č. 4.1.



Obr. č. 4.1.: Výstupní páky servomotorů vlastní výroby

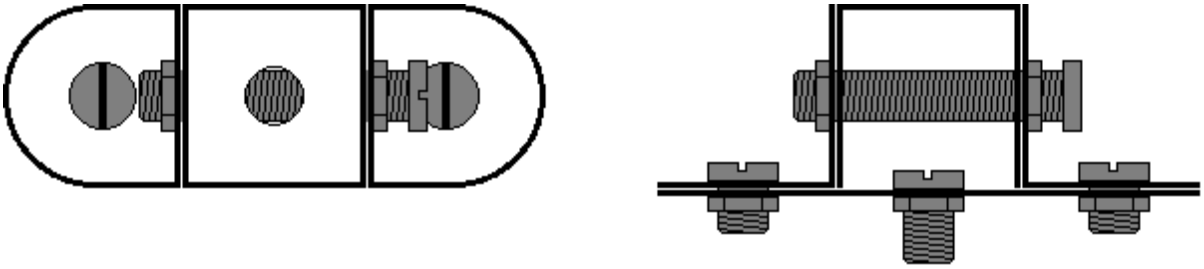
Konstrukce ramen

Ramena robotické ruky jsou vytvořena z již dříve zmíněného ocelového plechu. Rameno mezi klouby má efektivní délku 15 cm a 5 centimetrový přesah u Kloubu1 pro umístění závaží, které může svou protiváhou napomáhat při zvedání těžších předmětů. Část ramene je ohnutá do pravého úhlu což napomáhá jeho pevnosti a možnosti vedení kabelů. Na jeho konci je ohnutá větší plocha, jenž slouží u uchycení dalšího servomotoru, který otáčí druhým ramenem. Fotografie jednotlivých ramen je na obr. č. 4.2., kde šedé rameno je původní návrh ramena Kloub2-uchopovací mechanismus, dva červené díly jsou vylepšený a použitý návrh ramena Kloub2-uchopovací mechanismus, celé rameno v červené barvě je rameno Kloub1-Kloub2.



Obr. č. 4.2.: Ramena robotické ruky

Druhé rameno, které je mezi Kloubem2 a uchopovacím mechanismem bylo v původním návrhu dlouhé 20 cm. Ovšem po připevnění uchopovacího mechanismu a následném zkoušení uchopení předmětů se ukázalo, že díky své rovné konstrukci je možné uchopovat předměty pouze v úzkém prostoru robotického ramena. Proto bylo potřeba vymyslet novou konstrukci, která umožní chycení objektů ve větším prostoru. Nový mechanismus se skládá ze dvou menších ramen a kloubu mezi nimy, který udržuje uchopovací mechanismus kolmo k zemi. Nová ramena mají délku 13 cm a 10 cm. Kloub samotný je složen ze tří částí, které jsou původem z Merkuru. Nákres je k vidění na obr. č. 4.3.

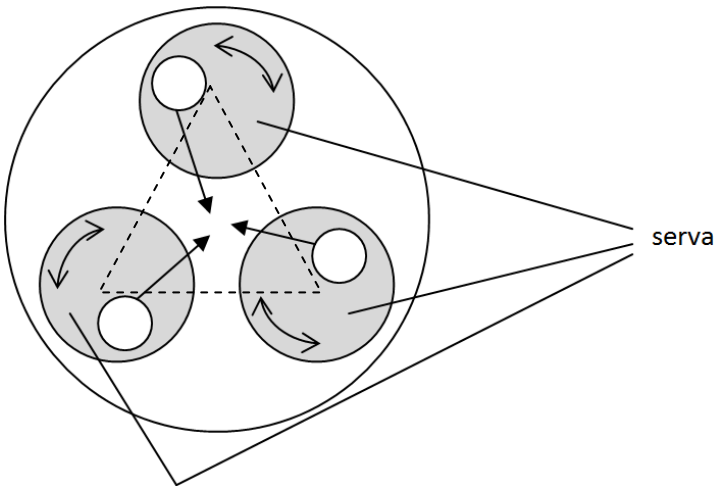


Obr. č. 4.3.: Nákres kloubu

Uchopovací mechanismus

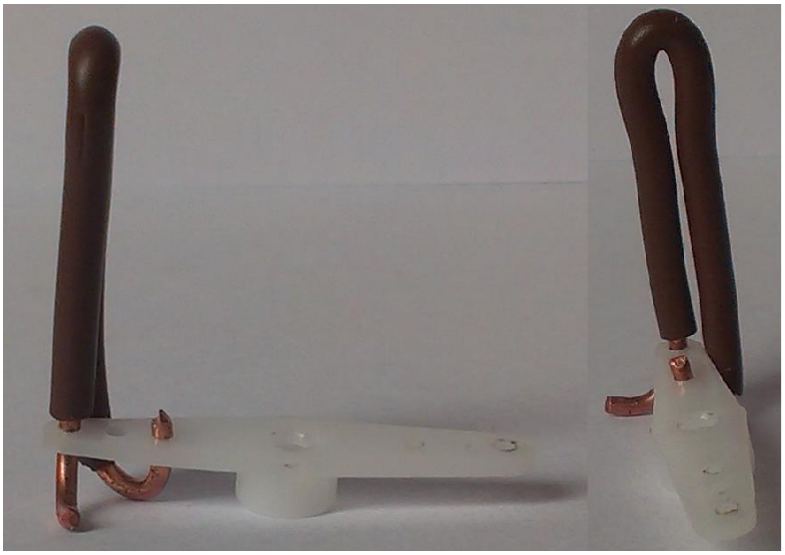
Konstrukce je vytvořena z tenkého kovového plechu a plexiskla. Oba materiály jsou opracovány do tvaru rovnostranného trojúhelníku se zaoblenými hranami ve kterém jsou vyřezány díry pro serva. Jejich upevnění je velmi jednoduché, protože se pouze vloží do připravených děr plechového dílu a následně se na ně položí díl z plexiskla. Tyto díly se poté spojí pomocí šroubů čímž se zajistí dostatečný tlak na připevňovací plochu jednotlivých servomotorů. Tento způsob upevnění má na rozdíl od přilepení serva ke konstrukci velkou výhodu ve snadné výměně servomotoru.

Funkce mechanismu vyplívá již z názvu tedy slouží pro uchopení různých předmětů. Schéma mechanismu je zobrazeno na obr. č. 4.4. Této funkcionality je dosaženo pomocí tří servo motorů, které jsou uloženy v konstrukci do tvaru rovnostranného trojúhelníku (který je v obrázku vyznačen čárkovaně), kde výstupní hřídele tvoří jednotlivé vrcholy.



Obr. č. 4.4.: Schéma fungování uchopovacího mechanismu

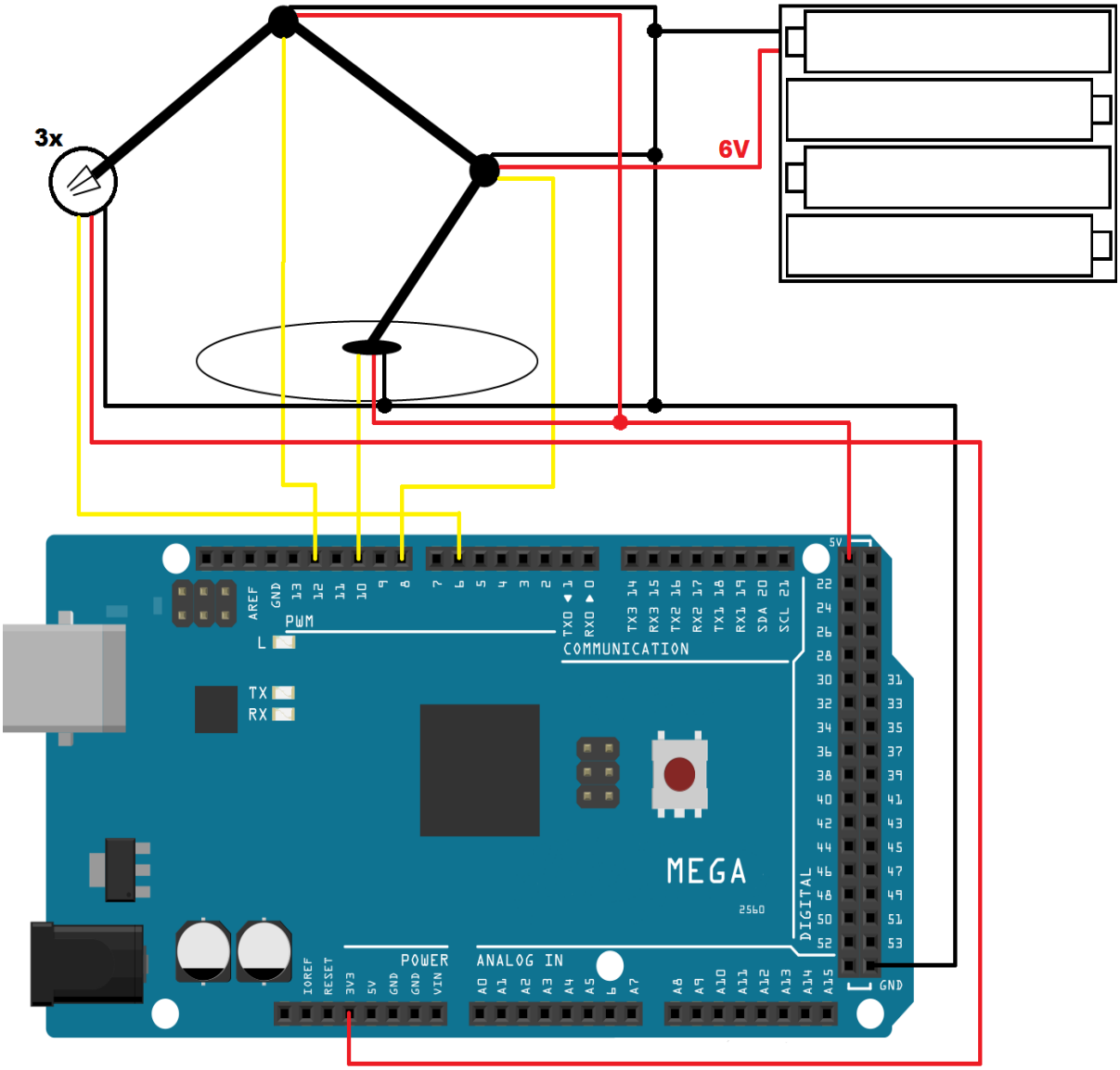
Do výstupních pák je vložen měděný drát o průřezu 0,75 milimetrů, který napomáhá se uchopováním předmětů. Detail drátu je k vidění na obr. č. 4.5.



Obr. č. 4.5.: Detail drátu ve výstupní páce

Zapojení Arduina a servomotorů

Schéma zapojení je zobrazeno na obr .č. 4.6. Na obrázku je zobrazeno jedno z možných zapojení kabelů pro napájení tak, aby bylo dostatečně přehledné. Skutečné zapojení se liší umístěním desky Arduina a dosahu kabelů jednotlivých servomotorů.



Obr. č. 4.6.: Schéma zapojení servomotorů do Arduina

Při testování byla zjištěna nutnost použít napájení z externích baterií, které poskytují 6 V, pro servo Kloub1. protože při napájení z pinu desky, jenž poskytuje pouze 5 V, nedokázalo zvednout rameno. Pro synchronní ovládání servomotorů uchopovacího mechanismu jsou sdruženy řídící kabely do jednoho pinu Arduina.

4.2 Softwarová část řešení

Program pro ovládání robotické ruky je rozdělen na dvě části konkrétně na část s grafickým uživatelským rozhraním a část pro mikropočítač Arduino.

Program pro Arduino

Program ovládající Arduino je napsán v programovacím jazyce Wiring, který je podmnožinou jazyka C++. Pro jeho implementaci byla použita knihovna `Servo.h`, která umožňuje práci se servomotory, a standardní knihovna Arduina se jménem `Arduino.h`, která je implicitně přidána ke každému zdrojovému kódu pro Arduino, a obsahuje základní datové typy, cykly, podmínky a podobně. Z knihovny pro řízení servomotorů používám tři metody, které slouží k připojení serva a jeho řízení na určitém pinu, dále k odpojení řízení servomotoru a k otočení serva o specifikovaný úhel je ovšem třeba si dát pozor, aby tento úhel nebyl větší nebo roven maximálnímu rozsahu servomotoru, protože jinak se servo zasekne a odmítá pracovat, dokud nedojde k resetování Arduina.

```
servo.attach(pin); // připojení serva k určitému pinu
servo.detach(); // odpojení serva
servo.write(uhel); // natočení výstupní páky na hodnotu uhel
```

Základem každého programu pro desku Arduina jsou funkce `setup` a `loop`, kde `setup` se spustí ihned po připojení ke zdroji a umožňuje inicializaci použitých proměnných. V mém programu se používá pro inicializaci serv a nastavení počátečních úhlů robotického ramena. Poté se v nekonečné smyčce volá funkce `loop`. Program je velmi jednoduchý, protože pouze čeká na příchod dat na sériový port, Posléze pomocí přijatých dat rozhodne, kterému servomotoru pošle impuls, a jak dlouhý tento puls bude. Zdrojový kód se následně nahraje na desku, kde bude probíhat popsaný sled událostí.

Grafické uživatelské rozhraní

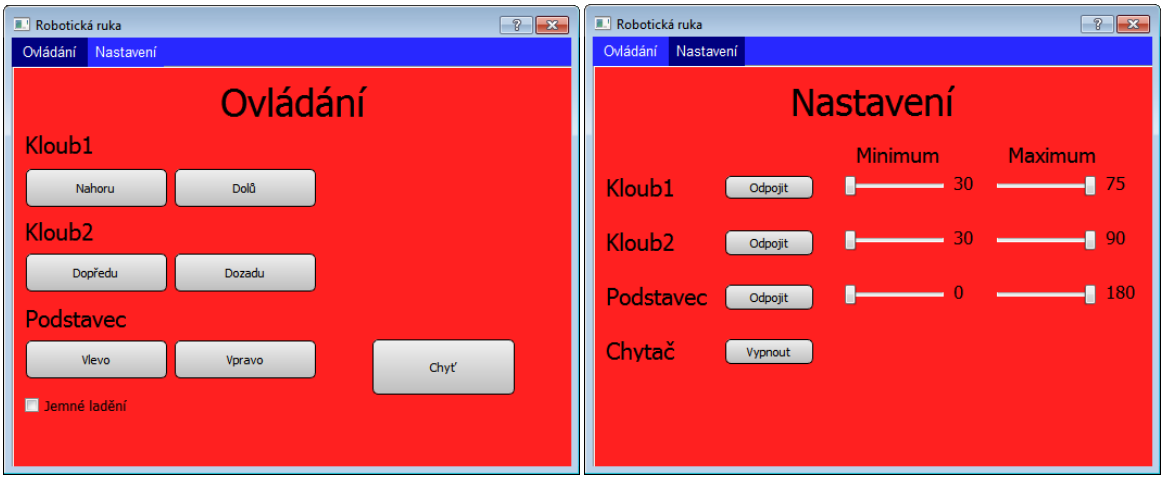
Program implementující grafické uživatelské rozhraní (dále jen GUI) byl vytvořen pomocí Qt frameworku a jeho vývojového prostředí Qt creatoru. Pro tvorbu tohoto GUI byla zvolena knihovna `dialog`. Pro implementaci funkcionality byly použity knihovny `QSerialPort` a `QSerialPortInfo`, jenž umožňují oboustrannou komunikaci pomocí sériového portu, a jejich proměnné a metody.

Nejprve se zjišťuje zda je k počítači připojeno správné Arduino podle čísla výrobce a sériového čísla desky, které lze zjisti pomocí metod `vendorIdentifier`, respektive `productIdentifier`, protože při zapojení jiného nelze očekávat, že má nahraný korektní program. Následně se zjišťuje

a ukládá do proměnné číslo COM portu, na kterém je připojena deska Arduino, a probíhá nastavení spojení se sériovým portem. Parametry přenosu jsou takové, že se bude jednat pouze o zápis při modulační rychlosti 9600 Baudů, což je jednotka modulační rychlosti, která udává počet změn stavu za jednu sekundu [11] , datových bitů bude osm, nebude žádný paritní bit, nebude žádné řízení toku a přenos bude mít jeden STOP bit, který slouží k oddělení přenášených slov [11]. Toto nastavení přenosu v Qt se provede příkazy v následujícím rámečku, kde `arduino` je objekt třídy `QSerialPort`.

```
arduino->setPortName(arduinoPortName);
arduino->open(QSerialPort::WriteOnly);
arduino->setBaudRate(QSerialPort::Baud9600);
arduino->setDataBits(QSerialPort::Data8);
arduino->setParity(QSerialPort::NoParity);
arduino->SetFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl);
arduino->setStopBits(QSerialPort::OneStop);
```

GUI je vytvořeno pomocí dvou záložek z nichž každá zobrazuje různou funkcionalitu. Karta s názvem Ovládání obsahuje několik tlačítek, která slouží k ovládání jednotlivých serv. Obrázky z GUI aplikace jsou k vidění na obr. č. 4.7.



Obr. č. 4.7.: Vzhled GUI, vlevo karta Ovládání, vpravo karta Nastavení

Tlačítka na kartě Ovládání jsou naprogramována tak, že při držení tlačítka se požadovaná akce stále vykonává čímž se dosáhne hladšího chodu samotného strojku. Tato funkcionalita se zapíná nastavením proměnné `autoRepeat` na hodnotu `true`, nastavením času mezi opakováním dané akce, tedy proměnné `AutoRepeatInterval`, a nastavení doby před prvním opakováním akce v proměnné `AutoRepeatDelay`, všechny hodnoty se zadávají v milisekundách. Mnou použité nastavení proměnných pro tlačítko nahoru je k vidění v rámečku níže. Tuto opakovací funkci lze vypnout a případně znovu zapnout zaškrtnutím pole Jemné doladění.

```
ui->nahoruButton->setAutoRepeat(true);
ui->nahoruButton->setAutoRepeatDelay(100);
ui->nahoruButton->setAutoRepeatInterval(25);
```

Karta Nastavení obsahuje možnost odpojit některý ze servo motorů což znamená, že jej nebude možné ovládat dokud nebude znovu připojen. Dále je na této kartě možné upravit rozsah servomotorů, ale samozřejmě pouze v fyzických možnostech daného serva.

Interakce GUI s Arduinem je vytvořena tak, že při kliknutí na tlačítko reprezentující požadovanou akci se pomocí sériového portu odešle znak, pro který Arduino vykoná požadavek v tomto případě tedy otočí některým ze servomotorů. Je implementována kontrola volnosti sériového portu, aby nedocházelo k situacím kdy strojek nereaguje na požadavky poslané z GUI, protože sériový port má zabráno například vývojové prostředí Arduina.

4.3 Testování a zhodnocení výsledku

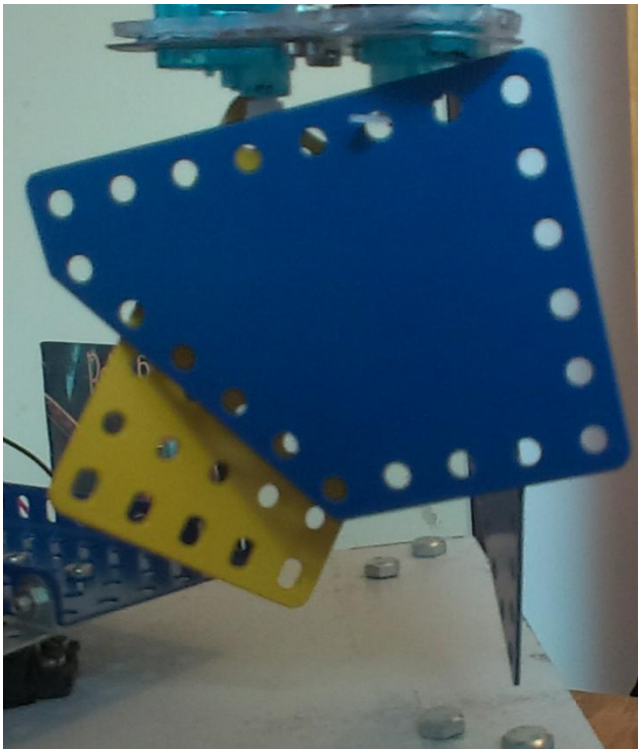
Tato kapitola se zabývá testováním parametrů postavené robotické ruky a následně jsou zde výsledky testování vyhodnoceny. Jsou zde také výsledné parametry zařízení a navržení možností pokračování práce.

Testování

Cílem testování bylo zjistit jak těžké předměty dokáže robotická ruka zvedat. Konkrétní metodika byla taková, že uchopovací mechanismus uchopí předmět a rameno se zvedne a zkouší svou pohyblivost, pokud se ještě dokáže pohybovat, pak je předmět prohlášen za zvednutý.

Testováno bylo 5 předmětů v hmotnostním rozmezí 6 - 53 gramů. Předměty byly testovány postupně od nejlehčích po nejtěžší. Problémy nastaly u předmětu vážícího 53 gramů, u kterého měl uchopovací mechanismus problém tento předmět vůbec uchopit, protože serva nedokázala vyvinout dostatečný tlak. Proto byl tento předmět prohlášen za nezvednutý a maximální nosnost pomocí uchopovacího mechanismu byla určena poslední zvedaným předmětem tedy hmotností 46 gramů. Zvedání 46 gramového předmětu je k vidění na obr. č. 4.8. Aby byla zjištěna maximální nosnost strojku, a proto byla upravena metodika měření tak, že serva uchopovacího mechanismu nebudou předmět svírat, ale bude na ně pouze zavěšen a opět se bude kontrolovat pohyblivost ramena. Tímto postupem bylo zjištěno, že nejtěžší závaží, které rameno dokáže zvednout jsou tři díly ze stavebnice Merkur o celkové hmotnosti 68 gramů. Což je zobrazeno na obr. č. 4.9.

Obr. č. 4.8.: Zvednutý 46 g předmět



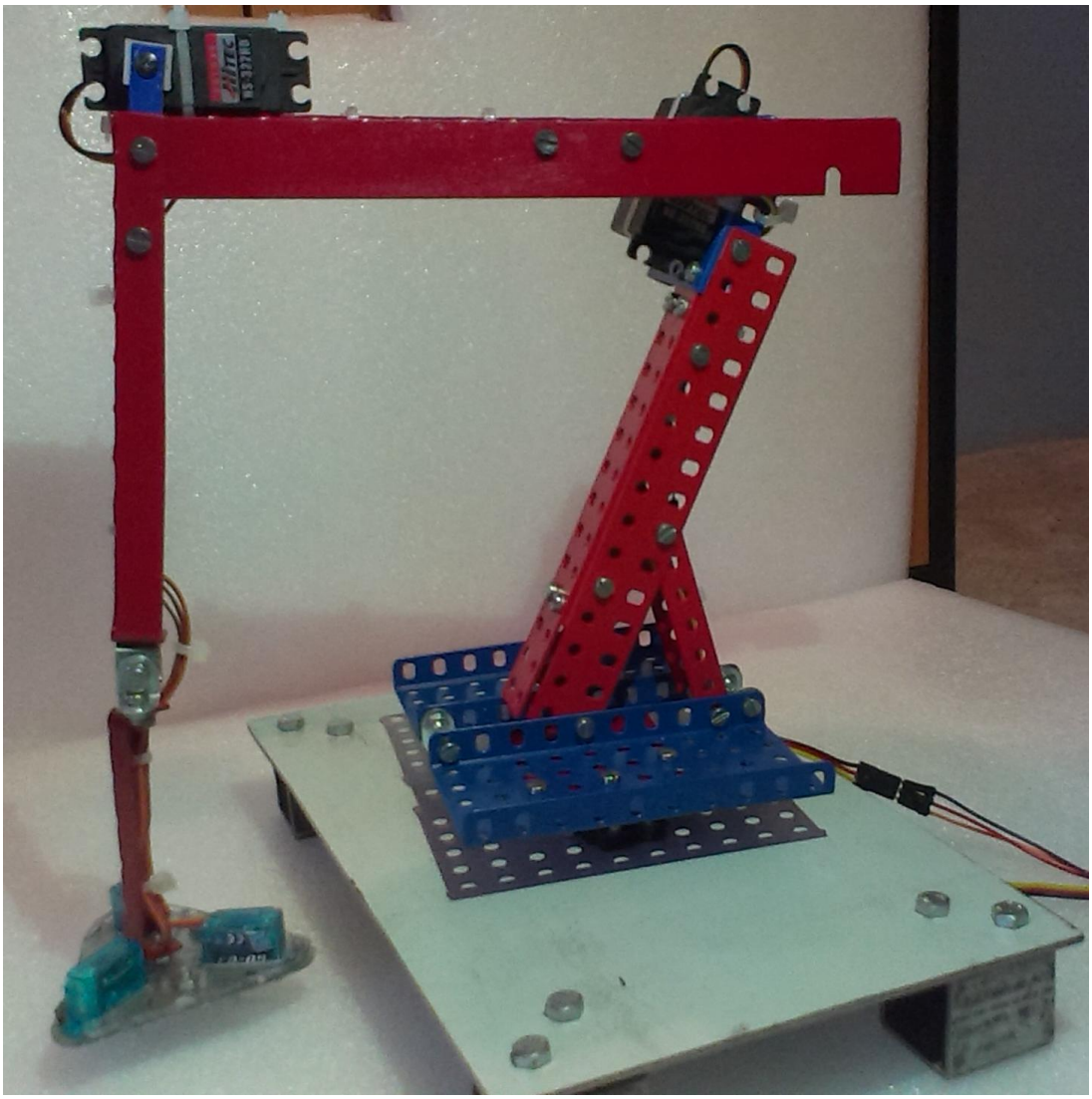
Obr. č. 4.9.: Zavěšené předměty o hmotnosti 68 g

Tímto testováním byla tedy zjištěna maximální nosnost zařízení v případě využití i nevyužití uchopovacího mechanismu.

Výsledné parametry zařízení

- Rozměry v klidovém stavu:
  Délka - 25 cm, Šířka - 15 cm, Výška - 30 cm
- Rozsah otočení zařízení - 180°
- Rozsah Kloubu1 - 60°
- Rozsah Kloubu2 - 60°
- Maximální dosah ramena - 20 centimetrů
- Hmotnost zařízení - 1 326 gramů
- Nosnost pomocí uchopovacího mechanismu - 46 gramů
- Nosnost bez uchopovacího mechanismu - 68 gramů

Konečná konstrukce zařízení je na obr. č. 4.10. Skládá se ze dvou pohyblivých ramen, která ovládají serva a jednoho pevného ramena. Dále se v konstrukci nachází uchopovací konstrukce složená ze tří mikro serv. Pro využití v praxi by bylo potřeba vyměnit servo Kloub1 za silnější a upravit si uchopovací mechanismus pro velikosti předmětů, které je možné uchopit.



Obr. č. 4.10.: Konečná podoba strojku

Možnosti pokračování práce

Mezi možnosti pokračování práce patří přidání dalších servomotorů pro větší možnosti pohyblivosti modelu robotické ruky. To ovšem požaduje použití silnějších servomotorů, protože při současných parametrech je servo, které realizuje Kloub1 na hranici svých možností, a funguje pouze díky napětí 6 Voltů, díky kterému má větší tah což mu umožňuje zvedat velkou část robotické ruky. Jedno z těchto serv by se mohlo nacházet mezi Kloub2 a uchopovacím mechanismem, kde by umožňovalo natáčení uchopovacího mechanismu blíže k předmětu, který se snaží zvednout. Další z možností pokračování je přepracování uchopovacího mechanismu a pokušení napodobit některé řešení z komerčně dostupných produktů. Zde by se také nabízela možnost opět přidat servomotor mezi Kloub2 a přepracovaný uchopovací mechanismus,tentokrát by ovšem sloužilo k otáčení čelistí mechanismu. Jiná možnost pokračování práce je použít k ovládání modelu chytrý mobilní telefon. Tato varianta by byla možná díky použití technologie Bluetooth nebo Wi-fi a konkrétnímu existujícímu modulu pro desku Arduino podle vybrané technologie pro bezdrátovou komunikaci.

5 Závěr

Cílem práce bylo prozkoumat fungování modelářských serv a možnosti jejich ovládání pomocí počítače. Tyto poznatky byly následně využity při stavbě zařízení, které ke své práci používá právě modelářské servomotory. Na základě toho, že sestrojená robotická ruka se pohybuje a dokáže zvedat předměty a lze ovládat pomocí počítače je možno prohlásit, že cíl práce byl splněn.

Práci bych rozdělil do dvou fází. První fázi tvoří zkoumání vlastností servomotorů, jejich řízení, a také navrhnutí konstrukce strojku. V této fázi bylo potřeba nastudovat literaturu ohledně modelářských serv a osvěžit si znalosti z předmětů zaměřených na mikrokontroléry, které zde byly nápomocné. Dále bylo nutné také nastudovat informace o modulacích a nakonec vlastně zjistit jakým způsobem je možné ovládat servomotory pomocí osobního počítače. Do druhé fáze potom patří samotná stavba strojku, tedy vytváření a úprava konstrukce, instalování servomotorů a programování její funkcionality.

Díky této práci jsem se naučil pracovat s dalším programem pro tvorbu GUI, pochopil fungování servomotorů, a také mi pomohla s osvěžením svých schopností zacházet s různými nástroji pro obrábění kovů.

V práci bych chtěl pokračovat tak, že si zakoupím silnější servomotory, které umožní zvětšit ramena modelu, a také přepracováním uchopovacího mechanismu.

Literatura

[1] NOVÁK, Petr. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-7300-141-1.

[2] SCHWARZ, Josef, Richard RŮŽIČKA a Josef STRNADEL. *Mikroprocesorové a vestavěné systémy: Studijní opora*. Brno, 2006.

[3] Servo. *RC-Tamiya* [online]. 2009 [cit. 2015-12-10]. Dostupné z: http://rc-tamiya.cekuj.net/servo.a21.html

[4] Modelářská serva - základní informace. *Pojezdy* [online]. 2011 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: http://www.pojezdy.eu/view.php?cisloclanku=2011070004

[5] UNDERSTANDING RC SERVOS DIGITAL, ANALOG CORELESS, BRUSHLESS. *RC Helicopter Fun* [online]. 2008 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: http://www.rchelicopterfun.com/rc-servos.html

[6] Střída (elektronika). *Wikipedia* [online]. [cit. 2015-12-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Střída_(elektronika)

[7] Arduino. *Wikipedia* [online]. 2016 [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino

[8] Co je to Arduino. *Czechduino* [online]. 2008 [cit. 2015-12-27]. Dostupné z: http://czechduino.cz/?co-je-to-arduino,29

[9] Servo library. *Arduino* [online]. [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: https://www.arduino.cc/en/reference/servo

[10] RC Soupravy. *Pelikandaniel* [online]. [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: http://www.pelikandaniel.com/?sec=page

[11] Raspberry Pi. *Wikipedia* [online]. 2016 [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi

[12] Mini Maestro 12-Channel USB Servo Controller (Assembled). *Pololu* [online]. [cit. 2016-01-15]. Dostupné z: https://www.pololu.com/product/1352