



Středoškolská technika 2018

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

ROBOTICKÁ RUKA

Daniel Řehák

Střední průmyslová škola sdělovací techniky

Praha 1, Panská 3

ANOTACE:

Práce se zabývá konstrukcí robotické ruky, která by se měla co nejvíce podobat té lidské. Jednotlivé díly jsou navrhnuty užitím 3d modelovacího počítačového programu a posléze jsou vytištěny pomocí 3d tiskárny. Samostatný pohyb ruky je zajištěn pomocí lankového systému, který je napojen táhly na elektromotory. Ovládání ruky je řešeno pomocí mikropočítačové jednotky, ke které je připojen řídicí systém. Napájení je řešeno bateriově.

Klíčová slova:

3d tisk, nepájivé pole, moment síly, PLA, potenciometr, servomotor, stupeň volnosti

Obsah

1	Úvod.....	3
1.1	Historie vývoje umělých lidských rukou	3
1.2	Funkce robotických rukou	3
2	Mechanický design	5
2.1	Možnosti zhotovení	5
2.1.1	Volba materiálu.....	5
2.1.2	Volba kloubů ruky	6
2.1.3	Volba rozpohybování ruky	7
2.2	První nákresy a modely	7
2.3	Modelování jednotlivých dílů.....	8
2.3.1	Modelování prostředníku	8
2.3.2	Modelování dlaně.....	10
2.3.3	Modelování palce.....	10
2.3.4	Vymodelování pouzdra pro servomotory a jeho spojení s dlaní.....	11
2.3.5	Táhla servomotorů	11
2.3.6	Bateriové pouzdro	11
3	Návrh elektronické části	13
3.1	Výběr vhodného elektromotoru	13
3.2	Řídící mikropočítač	13
3.3	Ovládání ruky	14
3.4	Výběr napájecího zdroje	14
3.4.1	Návrh obvodu.....	14
4	Návrh programu pro ovládání ruky.....	15
5	Složení a spuštění ruky	16
5.1	Složení	16
5.2	Testování ruky	16
6	Základní výpočty.....	17
6.1	Výpočet délky vlasce k ohnutí/napnutí prstu.....	17
6.2	Výpočet rychlosti ohnutí/narovnání prstu	17
7	Závěr.....	18
	Seznam použitých značek a symbolů.....	19
	Seznam použité literatury a zdrojů informací.....	20
	Seznam použitého softwaru.....	21
	Seznam příloh	22

1 Úvod

Lidská ruka je jednou z mechanicky nejsložitějších částí lidského těla. Obsahuje 27 stupňů volnosti, což dělá její nahrazení velmi složité. Lidé se však tohoto úkolu snaží dosáhnout již po celá staletí. V tomto projektu se pokusíme vytvořit robotickou ruku, která bude mít pět stupňů volnosti - pro každý prst jeden. Každý prst bude možné ovládat přes řídicí jednotku.

1.1 Historie vývoje umělých lidských rukou

Člověk se o zkonstruování umělé lidské ruky zajímal už od pradávna. Důvodem je, že pokud člověk o svou ruku přišel nebo se bez ní narodil, pokoušel se ji nahradit, aby měl alespoň o trochu menší handicap. V historii se ukázalo jako nejefektivnější nahradit lidskou ruku hákem, což dávalo alespoň jakousi schopnost něco za ruku zavěsit. Bohužel však tento hák nevypadal vůbec lidsky, a proto dávalo mnoho lidí přednost estetickým protézám, které sice vypadaly jako lidská ruka, ale funkčně měly velmi malé využití. Během posledních několika desetiletí však společně s vývojem elektroniky postoupil i vývoj robotických rukou ohromným krokem dopředu a možná v blízké budoucnosti člověk dokáže vyvinout robotickou ruku, která funkčně překoná tu lidskou.

1.2 Funkce robotických rukou

Když se soustředíme pouze na *humanoidní* (podobající se člověku) robotické ruce, pak se jejich funkce rozdělily do dvou základních odvětví. Tou první je obor *protetiky*, který zkoumá vývoj protéz pro lidi, kteří mají amputovanou ruku. Tyto protézy však většinou bývají velmi drahé a nejsou hrazeny zdravotní pojišťovnou, takže si je postižení musejí hradit sami.

Druhou větev představuje robotika, kde se robotické ruce používají v humanoidních robotech. Mezi těmito dvěma typy je veliký rozdíl ohledně ovládání ruky. U robotů stačí ruku ovládat pouze pomocí elektrického signálu vyslaného řídicím mikropočítačem, kdežto u protéz musíme přidat prostředí mezi člověkem a počítačovou jednotkou, která ovládá motoriku ruky. Toto ovládání bývá nejčastěji uděláno pomocí *elektromyografie*, což je věda studující nervové impulzy přicházející z mozku do svalů, kde způsobuje jejich stah. Na amputovaný pahýl se přilepí tzv. *EMG elektrody*, které dokáží zachytit tyto vzruchy přes pokožku a přeložit je do jazyka mikropočítačové řídicí jednotky, která podle toho ovládá motor. Nevýhodou této metody je to, že na povrchu dokážeme spolehlivě změřit pouze pár takovýchto vzruchů, obvykle dva až tři. Proto lidé mohou obvykle robotické ruce ovládat pouze přes dva příkazy, většinou se jedná o otevření a zavření ruky. Kvůli takhle omezenému ovládání se velmi plýtvá potenciálem robotické ruky. Nejmodernější umělé ruce na bázi EMG elektrod nabízí třetí elektrodu, pomocí které lze měnit vzorce úchopů. To je však velmi nepraktické, protože bude-li člověk pracovat na počítači a chtít si zhasnout lampičku u stolu a posléze otevřít okno, bude k tomu potřebovat tři různé úchopy a jejich přepínáním stráví nesmyslně mnoho času.

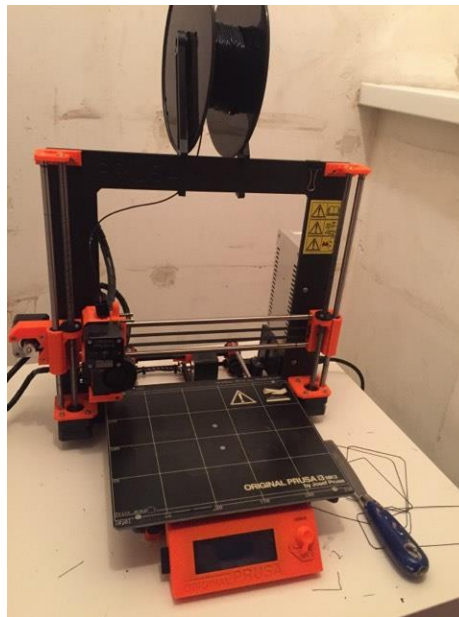
Nejpokročilejším stupněm ovládnání robotické ruky člověkem představuje její ovládnání přímo z mozku. Bohužel, abychom tohoto dosáhli, musí tělesně postižený podstoupit operaci, při které mu je rozříznuta lebka a na jeho mozek je přiložena elektrodová mřížka, která snímá vzruchy z mozku určené svalům ruky a dále je odesílá do mikro počítače. Tato metoda je však velmi nevýhodná, protože ne každý pacient je schopný takovou operaci podstoupit. V poslední době se objevila další možnost a tou je operace samotného pahýlu, při které jsou nervová zakončení uložena hluboko v pahýlu prodloužena a vyvedena až těsně pod pokožku, kde je možné tyto vzruchy zachytit EMG elektrodami. Tím se rozšíří lidské možnosti ovládnání ruky a může se využít plný potenciál všech stupňů volnosti, které jednotlivé robotické ruce nabízí.

2 Mechanický design

Při tvorbě robotické ruky je mechanický návrh tou nejdůležitější součástí. Je potřeba ruku navrhnout tak, aby se byla schopná pohybovat dle našich požadavků a vybrat vhodný *aktuátor*, který bude pohyby uskutečňovat. Také je třeba vymyslet vhodné spojení dílů v jednotlivých kloubech ruky. Snažíme se, aby ruka měla co nejnižší hmotnost, ale zároveň se nerozpadla po prvním ohybu kloubu. Také je třeba zvolit návrh tak, aby bylo reálné model vyrobit. Dále je nutné myslet na tepelnou odolnost a v neposlední řadě je potřeba vzít v potaz cenu. Velmi důležitý faktor je také nosnost ruky, která je určena její hmotností a tažnou silou zvoleného aktuátoru.

2.1 Možnosti zhotovení

Nakonec byla zvolena výroba pomocí *3d tisku* metodou *FDM*, což je metoda, při které vzniká objekt nanášením jednotlivých vrstviček roztaveného plastového materiálu. Tiskárna, na které byly všechny modely vytištěny, byla *Prusa i3 MK2S* (viz obr. 1). Vzhledem k povaze jednotlivých dílů bylo nastavení tisku pokaždé jiné. Výška jednotlivých vrstev byla 0.15 nebo 0.22 mm. Výplň materiálu byla vždy přibližně 30 %. Toto nastavení tisku snížilo množství spotřebovaného materiálu, dobu trvání tisku a celkovou hmotnost součástí. Na druhou stranu byla snížena pevnost ruky, což je přijatelné, protože lidská ruka také není velmi pevná a v porovnání s plastem je měkkí.



Obr. 1: Prusa i3 MK2S

2.1.1 Volba materiálu

Ve 3d tisku se používají desítky materiálů, mezi dva nejznámější patří *ABS* a *PLA*. Právě mezi těmito materiály jsem se rozhodoval, z kterého ruku zhotovím.

PLA

Jedná se o *kyselinu polymléčnou*, která je získávána nejčastěji ze škrobu. Právě díky tomu je PLA naprosto rozložitelný *polymer*, a proto jeho hojné užívání nezamožuje planetu. 3d

tisk z PLA není nijak náročný a neuvolňuje do vzduchu žádné škodlivé látky. Samostatné výtisky z PLA jsou velmi dobře opracovatelné a lze je lepit pomocí *acetonu* nebo vteřinového lepidla. Hlavní nevýhodou materiálu PLA je to, že je velmi málo tepelně odolný – již při 60 °C se začíná projevovat jeho tepelná roztažnost – materiál ztrácí pevnou podobu a měkne. Proto je poměrně nevhodný pro strojní součásti a používá se spíše ke zhotovování prototypů nebo okrasných předmětů.

ABS

Jedná se o látku s chemickým názvem *akrylonitrilbutadienstyren*. Jeho hlavní výhody jsou vysoká pevnost, možnost materiál vyhladit párami acetonu a v porovnání s PLA velmi vysoká tepelná odolnost – okolo 100 °C. Hlavní nevýhodou tohoto materiálu je jeho velmi náročný tisk. ABS se tiskne při teplotě okolo 250 °C a u vyšších objektů vyžaduje izolované prostředí tiskárny, ve kterém se udržuje stálá teplota. Právě z tohoto důvodu má mnoho tiskáren tiskovou plochu zakrytou. 3d tiskárna, na které jsem tiskl já, bohužel takový kryt neobsahovala jak je vidět na obrázku č. 1, a proto se ukázal tisk z ABS po prvních pár pokusech nemožný. Při ochlazování již nanesených vrstev materiálu o okolní vzduch docházelo ke smršťování materiálu. Na tento smrštěný materiál se posléze nanášely další vrstvy, u kterých se opakoval stejný problém. Tím vznikaly nepřesnosti tak velké, že díly nebyly použitelné, jak je vidět na obr. 2. Právě z tohoto důvodu byl nakonec vybrán materiál PLA.



Obr. 2: Špatně vytištěný článek prstu z ABS

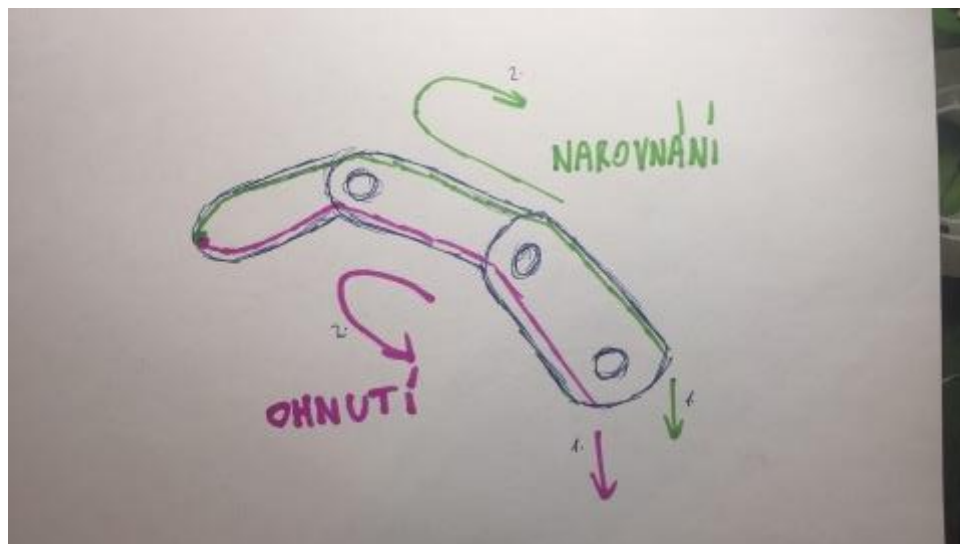
2.1.2 Volba kloubů ruky

Nejlepší variantou by byla lineární *kuličková ložiska*, protože by se omezilo tření na minimum a pohyb ruky by byl více plynulý. Ta jsou ale drahá, a tak se omezíme na spojení pomocí párátek a jejich uchycení v jednotlivých kloubech pomocí běžné kancelářské lepicí gummy.

2.1.3 Volba rozpohybování ruky

Zbývalo se rozhodnout, jakým způsobem ruku rozpohybujeme. Jako zdroj pohybu byl zvolen elektrický motor, kvůli jeho malé velikosti, vysokému momentu síly a jednoduchému ovládní. Zprvu jsem chtěl kromě elektrického motoru použít i hydraulický pohon, ale nikde jsem nenašel jeho správnou velikost a tvar. Z tohoto důvodu jsem se vzdal tohoto záměru a zvolil pouze elektrické motory.

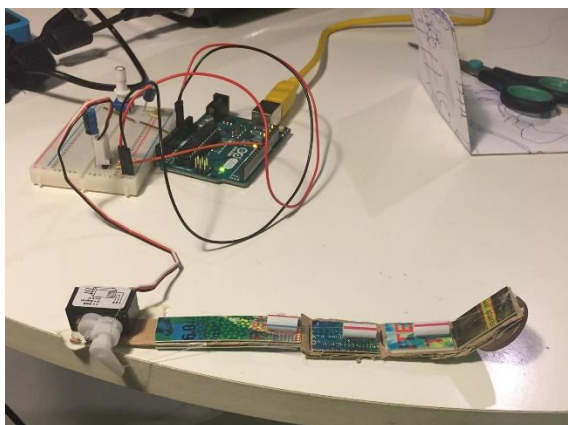
Samotné napojení prstů ruky na elektromotory je zajištěno pomocí vlasců, které se při otočení elektromotoru stáhnou jako lidský sval a ohnou/narovnají prst, jak je vidět na obrázku číslo 3. Velmi důležité je poznamenat, že vlasec musí být ke špičce prstu pevně uchycen, jinak by pouze proklouzával skrz prst a nerozpohyboval by ho. Vlasec musí mít dostatečnou nosnost a jeho délka by se při natahování vlasce měla měnit co nejméně, nejlépe vůbec. Vlasec, který je použit v této práci je vyroben ze splétaných vláken, což zvyšuje jeho tuhost. Nosnost tohoto vlasce je 17.1 kg, což by pro naše účely mělo bohatě stačit.



Obr. 3: Umělý šlachový mechanismus

2.2 První nákresy a modely

Nejprve bylo potřeba zkonstruovat co nejlevnější prototyp, abychom dokázali, že systém vlasců bude doopravdy fungovat. Byl zkonstruován první primitivní model z kartonu, který byl posléze rozpohybován užitím mini servomotoru a mikropočítače *Arduino UNO*, jak je vidět na obr. 4. Příložené DVD obsahuje video s názvem *prvni_model*, kde je zobrazen prototyp v pohybu.



Obr. 4: První prototyp

2.3 Modelování jednotlivých dílů

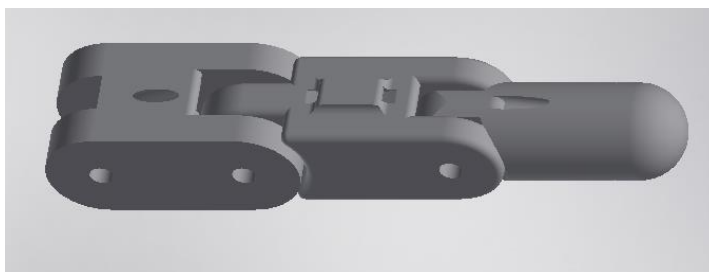
Když byla metoda užití vlasců úspěšně ověřena, začal jsem modelovat jednotlivé díly ruky v 3d modelovacím počítačovém programu *Autodesk Inventor Professional 2018*. Začínal jsem od konečku prostředníku a postupoval jsem směrem k dlani, dokud jsem nevytvořil celý prst. Z designu tohoto prstu byly posléze odvozeny modely ukazováčku, prsteníku a malíčku.

2.3.1 Modelování prostředníku

Během modelování by se všechny modely prstu daly rozdělit do tří fází, z nichž se každý model velmi odlišoval od předchozího.

První fáze

Prst byl hranatý, pouze na hranách zaoblený. Model prstu je zobrazen na obr. 5. Prst byl navržen tak, aby se každý kloub dokázal pohybovat v rozpětí 180° na rozdíl od běžných 90° . Bohužel po vytisknutí se ukázalo, že některé rozměry prstu jsou pro tiskárnu moc malé a vytiskly se nepřesně. Kvůli tomu musel být prst dlouho opracováván, aby se skrz něj podařilo protáhnout jednotlivé vlasce. Vlasec však při stahování prst nedotahoval a vyčníval z prstu jak je vidět na obrázku č. 6. Také nadlidský ohyb se ukázal jako spíše děsivý než zajímavý, a proto se od něj u příštích modelů zcela upustilo.



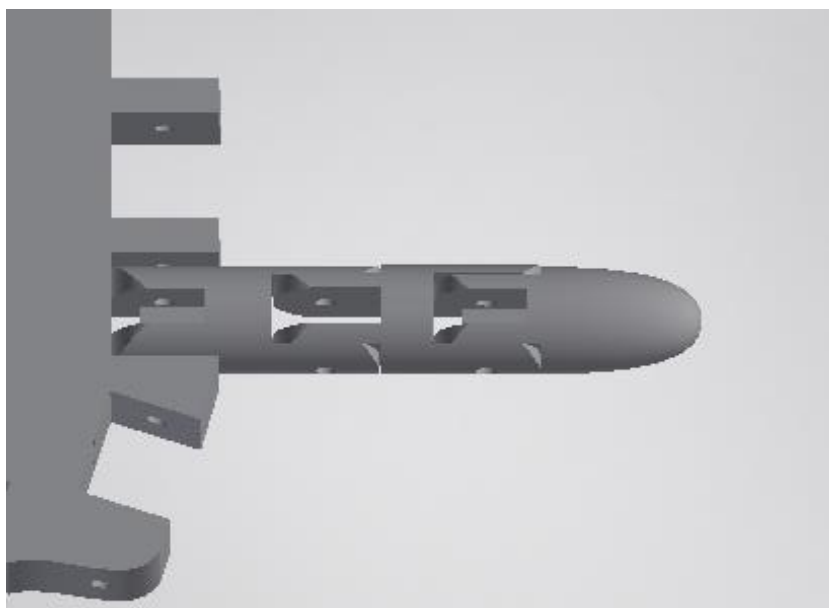
Obr. 5: První generace prstů



Obr. 6: Problém s vyčnívajícími lanky u první generace

Druhá fáze

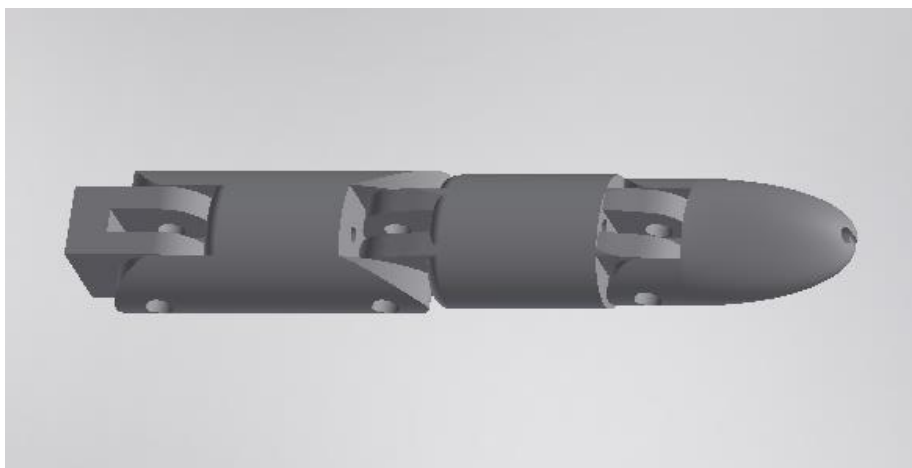
Základem prstu je nyní válec, oproti předchozí verzi je však prst navrhnout pouze pro rotaci o 90° . Kanálky pro vlasec jsou nyní plně uvnitř prstu a nikde z něj nevystupují. Kvůli způsobu přichycení prstu k dlani ztrácíme mnoho prostoru, a proto je prst poměrně úzký. Prst je zobrazen na obrázku č. 7.



Obr. 7: Druhá generace prstů

Třetí fáze

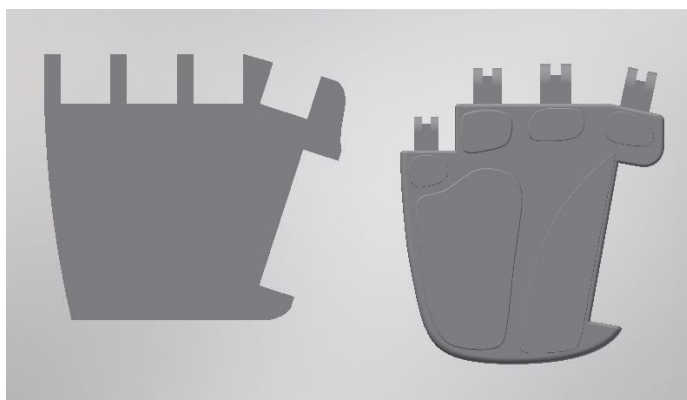
Konečně se podařilo vymodelovat prst zakulacený. Základ už netvoří kvádr, ale těleso s podstavou elipsy. Prst je vidět na obrázku číslo 8. Další rozdíl byl v šířce prstu, což souvisí se změnou uchycení prstu k dlani. Více toto téma rozebírám v následující kapitole.



Obr. 8: Třetí generace prstů

2.3.2 Modelování dlaně

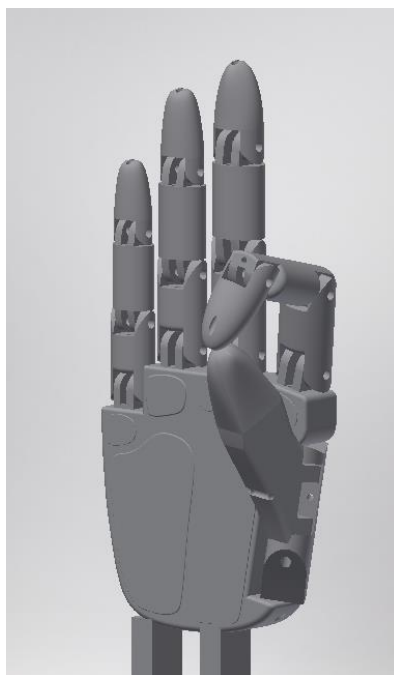
Dlaň byla vymodelovaná ve dvou základních verzích. Pozdější verze obsahovala jiný způsob uchycení prstů a její vznik byl spojen s vývojem třetí fáze prstů. Díky tomuto novému uchycení jsme mohli zvětšit tloušťku prstu a v zájmu zachování číselné excentricity i výšku. Srovnání dvou dlaní je na obrázku číslo 9. Dlaň také obsahuje ve spodní části 10 otvorů pro provlečení vlasců a dva větší otvory pro uchycení k pouzdru se servomotory.



Obr. 9: Rozdíly v uchycení prstů ke dlani (vpravo nový typ)

2.3.3 Modelování palce

Palec měl být původně složen ze tří článků, jako je tomu tak u ostatních prstů. Nakonec jsem se však rozhodl pro dva díly a dva klouby. Palec má v ruce tím pádem nejmenší počet stupňů volnosti – dva, což je v rozporu s lidskou rukou, kde má palec naopak nejvíce stupňů volnosti. Důvodem je to, že takhle by měla být ruka schopná tzv. *pinch* úchopu (anglicky *pinch grip*). Simulace tohoto úchopu se nachází na obrázku č. 10.



Obr. 10: Pinch grip

2.3.4 Vymodelování pouzdra pro servomotory a jeho spojení s dlani

Pouzdro bylo vymodelováno pro 5 servomotorů tak, aby v něm držely co nejpevněji. Pouzdro je navrženo tak, že se do něj servomotory mohou i zašroubovat. Nakonec jsem toto neshledal za nutné, protože servomotory drželi pevně i bez šroubování. Pouzdro je ke dlani připojeno hranatou tyčí. Upevnění tyče k dlani a pouzdru je provedeno roztavením plastu pájkou v místech, kde se dvě součásti vzájemně dotýkají. Roztavením dojde ke spojení obou součástí, které je po vychladnutí velmi pevné. Výkres je přiložený v příloze.

2.3.5 Táhla servomotorů

V projektu jsou použité dva typy táhel, dvě táhla dvoupatrová a tři táhla jednopatrová. Oba dva typy táhel jsou převzatá a nejsem jejich autorem. Důvod je ten, že mi připadalo zbytečné vytvářet něco, co už je vytvořené někým jiným a je dostupné pod volnou licenci. Jednopatrové táhlo je převzaté z projektu *inMoov*, což je *open source* projekt humanoidního robota. Autor tohoto typu táhla je *Gael Langevin*¹⁾. Druhý typ táhla (dvě dvoupatrová táhla) byl navrhnut uživatelem *Tdp3780*²⁾ z webu *Thingiverse* a také spadá pod volnou licenci. Odkazy na oba dva autory a jejich táhla se nachází v jednotlivých poznámkách pod čarou.

2.3.6 Bateriové pouzdro

Pouzdro na baterie je složeno ze dvou hlavních dílů, které se do sebe vzájemně zasunují. Na horní části bateriového pouzdra je umístěn odnímatelný rám nepájivého pole a pod ním se nachází 4 otvory, do kterých jsou vlepny kousky párátka. Na ta čtyři párátka se nasune

¹⁾ <http://inmoov.fr/>

²⁾ <https://www.thingiverse.com/thing:1273922>

řídící mikropočítač Arduino UNO. Bateriové pouzdro není nijak pevně připojeno k ostatním dílům, protože to v rámci funkčnosti ruky není nutné. Kdyby však náhodou někdy bylo nutno pouzdro přidělat, obsahuje ve spodní hraně čtyři otvory pro tento účel. Výkres sestavy pouzdra se opět nachází v příloze. Pouzdro se mírně liší od výkresu, protože ho bylo nutné opracovat a vyřezat do něj žlábků. Důvod je ten, že při zasouvání pouzdra vyčnívaly ven dráty baterií a pouzdro se nedalo zavřít.

3 Návrh elektronické části

V této části bylo nutné vybrat vhodný elektromotor, řídicí mikropočítač a vymyslet ovládání ruky. Dále bylo důležité zvolit vhodný napájecí zdroj a navrhnout celkový obvod. Tato část se místy prolíná s částí *softwarovou*, kde se navrhuje program pro mikropočítač, který bude ovládat ruku na podměty uživatele.

3.1 Výběr vhodného elektromotoru

Rozmýšlel jsem se mezi servomotorem a krokovým motorem. Výhoda krokového motoru je ta, že se může otáčet stále dokola, kdežto servomotor se kvůli své konstrukci může otáčet pouze o určitý úhel – obvykle se jedná o 180° . Bohužel krokový motor je velmi hlasitý a je těžší na ovládání, proto jsem se nakonec rozhodl pro servomotor. V našem projektu nám totiž otáčení rotoru o 180° bude stačit. Nakonec jsem použil servomotor *Tower Pro MG996r*, který je zobrazen na obrázku číslo 11. Tento servomotor obsahuje kovové převody a operuje na napětí mezi 4.8 V a 7.2 V. Podle tohoto napájení se mění jeho točivý moment, který je při napětí 6 V přibližně $11 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-1}$. Tento moment nestačí na přetrhnutí námi zvoleného vlasce. Při napětí 6 V je rychlost otáčení 60° za 0.17 sekundy. Servomotor má tři dráty, dva jsou napájecí a poslední slouží k samotnému ovládání servomotoru.



Obr. 11: Servomotor Tower Pro MG996r

3.2 Řídicí mikropočítač

Už od počátku projektu bylo zvoleno Arduino UNO. Důvodem je jeho malá velikost, jednoduché programování a dostatečné množství analogových vstupů a výstupů. Arduino UNO je zobrazeno na obrázku číslo 12.



Obr. 12: mikropočítač Arduino Uno

3.3 Ovládání ruky

Rozhodl jsem se ovládat jednotlivé servomotory pomocí *potenciometrů*. Potenciometr je elektrotechnická součástka, kterou lze mechanicky otáčet (otočný potenciometr) nebo posouvat (lineární potenciometr). Na základě toho mění potenciometr svůj odpor. V závislosti na míře posunutí ho může měnit buď lineárně, anebo logaritmicky. Potenciometry užitá v projektu jsou lineární otočné, jejichž maximální odpor je 10 k Ω .

3.4 Výběr napájecího zdroje

V projektu budeme zvlášť napájet arduino společně s potenciometry a zvlášť servomotory. Arduino se napájí napětím 5 V, ale uvnitř je vestavěný regulátor napětí, takže ho můžeme bez problému napájet klasickou 9 V baterií. Servomotory budou paralelně připojené na zdroj napětí o 6 V, který je tvořen čtyřmi sériově zapojenými AA bateriemi o napětí 1.5 V.

3.4.1 Návrh obvodu

Obvod je centrován kolem arduina, které nám velmi zjednoduší ovládání servomotorů a zjišťování odporů v potenciometru. Samotné zapojení obvodů se nachází v příloze 1.

4 Návrh programu pro ovládání ruky

Arduino má svůj vlastní programovací jazyk, který se velmi podobá jazyku C++. Tento jazyk obsahuje mnoho knihoven, z nichž jedna slouží právě k ovládání servomotorů. Každý program v tomto jazyce musí obsahovat dvě hlavní funkce `setup()` a `loop()`. V první funkci musíme určit, jaký pin bude vstup pro hodnoty z potenciometrů a na jaké piny budou napojené ovládací dráty ze servomotorů. Ve funkci `loop()` je pak hlavní program, který se neustále opakuje. V našem případě tam mikropočítači říkáme, ať neustále čte hodnoty odporů na jednotlivých potenciometrech a ty pak dále přepočítává na hodnoty úhlů pro servomotory, na které jsou pak jednotlivé servomotory nastaveny. Celý program i s komentáři u jednotlivých příkazů se nachází v příloze 2.

5 Složení a spuštění ruky

5.1 Složení

Všechny díly z 3d tiskárny musely být po svém vytištění opracovány. Nejprve bylo potřeba vyjmout podpůrný materiál, který se používá, pokud má model převisy větší než 45° . Poté byly jednotlivé díly obroušeny brusným papírem a umyty ve studené vodě. Poté následovalo provlékání jednotlivých vlasců skrz prsty a dlaň. Nyní už jsme mohli propojit jednotlivé díly ruky pomocí párátek. Následovalo spojení dlaně s pouzdem osazeným servomotory pomocí k tomu navržené spojovací tyče. Dále bylo potřeba jednotlivé vlasce napnout a uvázat je na příslušné servomotory. Následně jsme podle schématu sestavili obvod a uvedli ruku do provozu.

5.2 Testování ruky

Během testování se stala nepříjemná věc a to ta, že ruka nefungovala. Po přezkoumání s osciloskopem jsem zjistil, že zdroj napětí pro 5 servomotorů nestačí – baterie nemají dostatečně velkou kapacitu. Při zapojení všech pěti servomotorů kleslo napětí na jednotlivých motorech pod 2.5 V, což je hluboko pod nejnižším možným pracovním napětím našeho servomotoru (to je 4.2 V). Ukázalo se, že jsem se moc soustředil na mechanický design a opomenul kvalitně zpracovat elektrický. Problém byl vyřešen tak, že jsem do obvodu zapojil pouze 2 servomotory, který jsou ovládány každý jedním potenciometrem. Náš zdroj má dostatečně velkou kapacitu na to, aby dokázal pohánět dva servomotory, třetí už nešel. Program přímo v Arduinu není třeba upravovat, ale přesto jsem vymazal řádky pro 3 neexistující servomotory, program se mírně zrychlí, protože se zbavíme tří funkcí `delay()`. Tento rozdíl však nepoznáme. Nový obvod se nachází v příloze číslo 3, nový program v příloze číslo 4. Poté co jsme zprovoznili dva servomotory, uvázali jsme na první servomotor vlasce dvou prstů – prsteníček a ukazovák. Na prostřední servomotor jsme uvázali vlasce dvou dalších prstů – prostředníku a prsteníku. Na třetí přední servomotor jsem uvázal palec. Ruka nyní funguje tak, že si zvolíte kombinaci prstů, které chcete používat a připojíte si příslušné servomotory do obvodu. Dvěma servomotory můžete ovládat až čtyři prsty. Záznamy testování se nachází na přiloženém DVD ve složce testování. Fotka celé této sestavy se nachází v příloze 5.

6 Základní výpočty

6.1 Výpočet délky vlasce k ohnutí/napnutí prstu

Bylo vyzpozorováno, že k úplnému zavření prstu z otevřeného stavu je zapotřebí, aby se servomotor otočil o 45° . Když budeme chtít prst zpátky napnout, musí se servomotor vrátit do počáteční pozice a posléze pokračovat dalších 45° . Takže lze poznamenat, že k zavření prstu je potřeba servomotor otočit o 45° a k úplnému napnutí o 90° , přičemž půlku z tohoto úhlu se vracíme zpět do počáteční polohy a zbytek opět taháme za opačný napínací vlasec. Čím větším úhlem otočíme, tím více lanka vytáhneme. Můžeme tedy vypočítat délku vytažení lanka potřebnou k ohnutí a narovnání prstu. Tato délka je vzhledem k nepřesnostem měření pouze přibližná a u jednotlivých prstů nebude stejná, tyto malé odchylky však zanedbáme. Použijeme vzorec (1) pro výpočet délky kruhového oblouku l . Úhel α je 45° a naměřený poloměr táhla servomotoru r je 13 mm.

$$l = \frac{\pi r}{360^\circ} \cdot \alpha \quad (1)$$

Dosadíme do vzorce:

$$l = \frac{13\pi}{360^\circ} \cdot 45^\circ \doteq 5.11 \text{ mm} \quad (2)$$

Přibližná délka lanka, které je třeba vytáhnout, abychom ohnuli prst, je přibližně 5 mm.

6.2 Výpočet rychlosti ohnutí/narovnání prstu

Víme, že pro ohnutí a narovnání prstu je potřeba, aby se servomotor otočil o úhel 45° a 90° , což nám dohromady dá 135° . Servomotor opíše za 170 ms úhel o velikosti 60° . Pomocí vzorce (3) spočítáme čas potřebný pro servomotor, aby opsalo úhel 135° .

$$t = \frac{170 \text{ ms}}{60^\circ} \cdot 135^\circ = 382.5 \text{ ms} \quad (3)$$

Tento čas však bude ve skutečnosti delší, jelikož servomotor během otáčení zastavuje a mění směr, takže zrychluje a zpomaluje

7 Závěr

Práce byla splněna v rámci celého zadání, pouze se mi nepovedlo ovládat každý prst zvlášť, kvůli špatné volbě baterie. S prací jsem celkově velmi spokojen. Určitě jsou ale i části práce, které jsem mohl vymyslet lépe – například navrhnout ruku tak, aby bylo otevírání prstů stejně plynulé jako jejich zavírání. Práce u mě prohloubila zájem o robotické ruce a myslím si, že tato ruka je teprve první z mnoha.

Dalším krokem vývoje robotické ruky by bylo zlepšit sílu úchopu, navrhnout esteticky hezčí dlaň a posléze vyvinout pouzdro na servomotory v předloktí a spojit ho s rukou bez použití spojovací tyče. Při této příležitosti by se mohl přidat další stupeň volnosti otočným kloubem v zápěstí. Poté by už ruka mohla vykonávat primitivní úkoly jako například při vaření těstovin míchat vařečkou, aby se těstoviny nelepily na dno hrnce.

V budoucnu by vylepšené verze robotické ruky mohli být namontovány na humanoidního robota nebo sloužit jako robotické protézy tělesně postiženým lidem.

Seznam použitých značek a symbolů

F – síla, [N] = newton

R – elektrický odpor, [Ω] = ohm

t – teplota, [$^{\circ}\text{C}$] = stupeň Celsia

U – napětí, [V] = volt

Seznam použité literatury a zdrojů informací

Seznam použité literatury

- [1] KATO, I. a SADAMOTO K. Mechanical hands illustrated: Revised edition. 2. vydání, Berlín, Springer-Verlag, 1987. ISBN 3-540-15429-9
- [2] KÁRNÍK, L. Robotizace v nestrojírenských oborech. 1. vydání, Ostrava, Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 2000, ISBN 80-7078-739-2

Seznam použitých internetových zdrojů

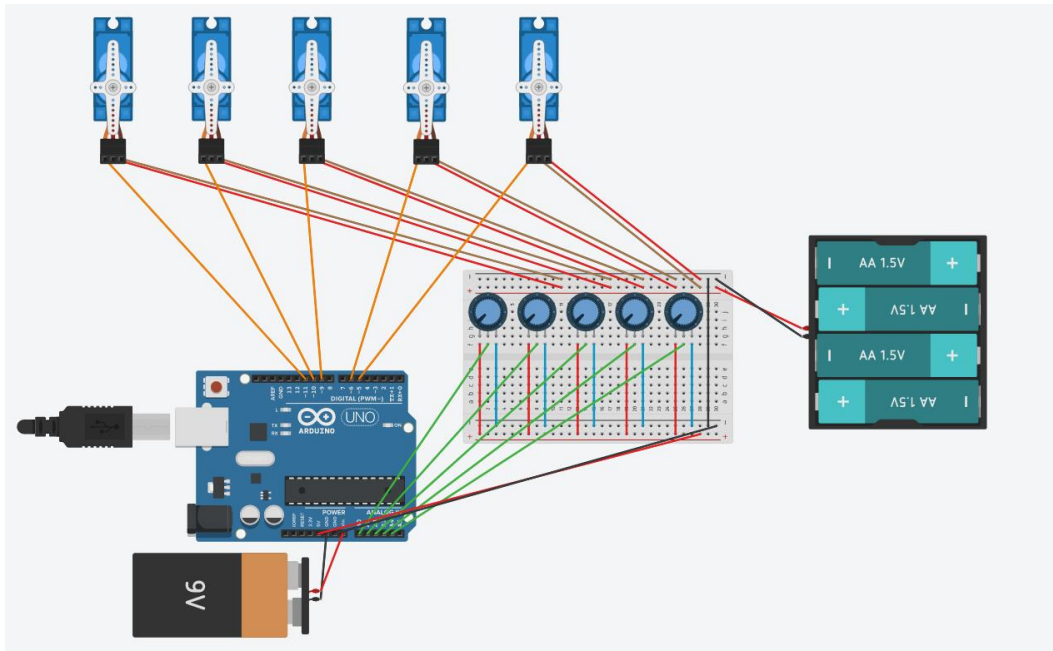
- [1] <https://www.prusa3d.cz/> [cit.2018-01-20]
- [2] http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf [cit.2018-01-20]
- [3] <http://inmoov.fr/> [cit.2018-01-20]
- [4] <https://www.openbionics.com/> [cit.2018-01-20]
- [5] <http://bebionic.com/> [cit.2018-01-20]
- [6] <http://asimo.honda.com/> [cit.2018-02-15]
- [7] <http://www.jhuapl.edu/prosthetics/> [cit.2018-02-15]
- [8] <https://www.arduino.cc/reference/en/> [cit.2018-02-15]

Seznam použitého softwaru

1. Microsoft Windows 8.1
2. Microsoft Office Word 2013
3. Autodesk Inventor Professional 2018
4. Prusa3D Slic3r MK2
5. Arduino
6. Autodesk Tinkercad

Seznam příloh

Příloha 1: Schéma zapojení původního obvodu



Příloha 2: Zdrojový kód původního programu

```
// nacteme do programu knihovnu pro ovladani servomotoru
#include <Servo.h>

// vytvorime 5 objektu servo, jedna se o funkci z importovane knihovny
Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo servo4;
Servo servo5;

/*
   vytvorime si promennez jednotlivych analogovych vstupu,
   kam budou pripojeny jednotlivé potenciometry (5)
*/

int potpin0 = 0;
int potpin1 = 1;
int potpin2 = 2;
int potpin3 = 3;
int potpin4 = 4;

/*
   vytvorime si promenne, do kterych si budeme ukladat hodnoty,
   které budeme číst z analogového vstupu potenciometru. Tyto
   hodnoty budou v rozsahu 0 - 1023, což je 2^10 kombinací, protože
   naše analogové vstupy jsou 10ti bitové
*/

int hodnota5;
```

```

int hodnota6;
int hodnota9;
int hodnota10;
int hodnota11;

void setup() {
  servo1.attach(5); // priradi jednotlivá serva k pinum 5, 6, 9, 10, 11
  servo2.attach(6);
  servo3.attach(9);
  servo4.attach(10);
  servo5.attach(11);
}

void loop() {

  // ulozi hodnotu prvního potenciometru do proměnné hodnota5

  hodnota5 = analogRead(potpin0);

  /*
   funkce map nám přepočítá číslo z rozsahu 0 - 1023
   na číslo v rozsahu 0 - 179, což jsou různé úhly servomotoru
  */

  hodnota5 = map(hodnota5, 0, 1023, 0, 180);

  // nastaví polohu servo1 na úhel hodnota5

  servo1.write(hodnota5);

  // počká 15 ms, aby se servomotor stihl přesunout

  delay (15);

  // tento postup opakujeme pro zbylá 4 serva:

  hodnota6 = analogRead(potpin1);
  hodnota6 = map(hodnota6, 0, 1023, 0, 180);
  servo1.write(hodnota6);
  delay (15);

  hodnota9 = analogRead(potpin2);
  hodnota9 = map(hodnota9, 0, 1023, 0, 180);
  servo1.write(hodnota9);
  delay (15);

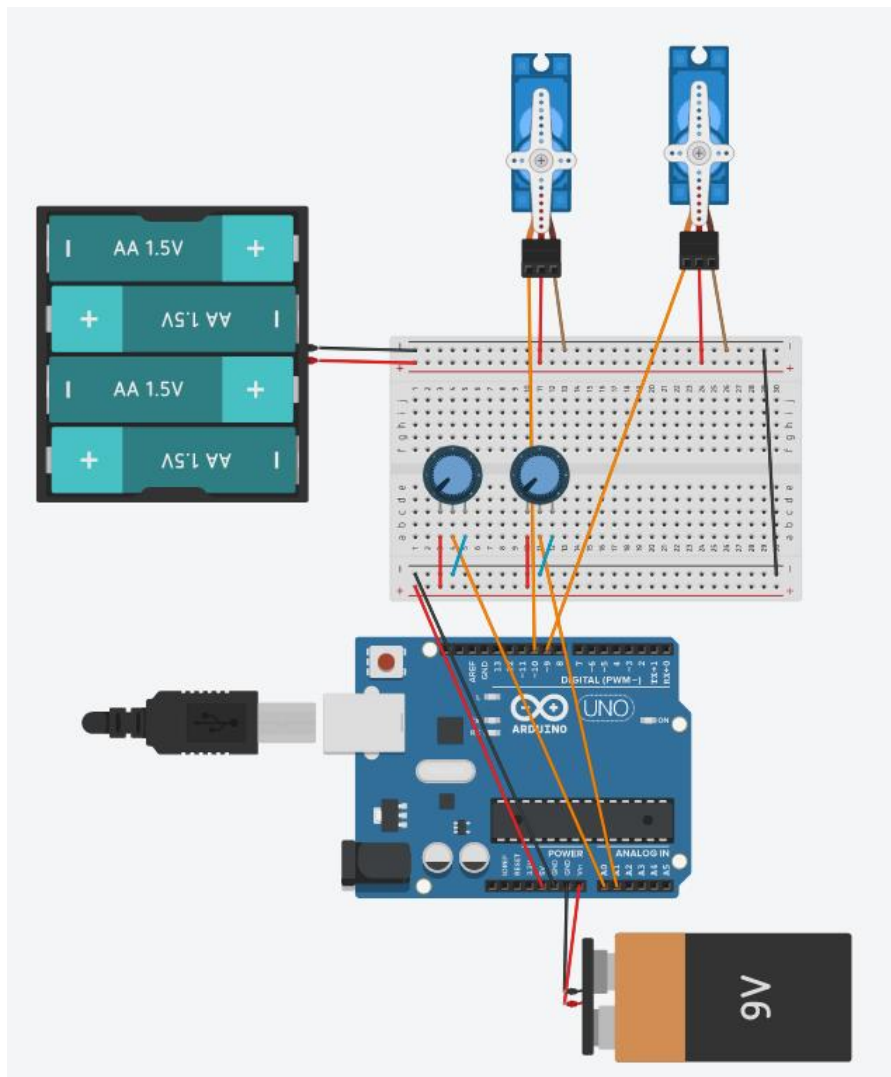
  hodnota10 = analogRead(potpin3);
  hodnota10 = map(hodnota10, 0, 1023, 0, 180);
  servo1.write(hodnota10);
  delay (15);

  hodnota11 = analogRead(potpin4);
  hodnota11 = map(hodnota11, 0, 1023, 0, 180);
  servo1.write(hodnota11);
  delay (15);

  // Nyní funkce loop() skončí a začne se celá opakovat
  }

```

Příloha 3: Schéma nového fungujícího zapojení obvodu



Příloha 4: Nový program

```
#include <Servo.h>

Servo servo1;
Servo servo2;

int potpin0 = 0;
int potpin1 = 1;

int potVal0;
int potVal1;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  servo1.attach(9);
  servo2.attach(10);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  potVal0 = analogRead(potpin0);
  potVal0 = map(potVal0, 0, 1023, 0, 180);
  servo1.write(potVal0);
  delay (15);

  potVal1 = analogRead(potpin1);
  potVal1 = map(potVal1, 0, 1023, 0, 180);
  servo2.write(potVal1);
  delay (15);
}
```

Příloha 5: Finální výrobek

