



**FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ČVUT V PRAZE**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Název: Robotická ruka
Student: Ilia Popov
Vedoucí: Ing. Miroslav Skrbek, Ph.D.
Studijní program: Informatika
Studijní obor: Počítačové inženýrství
Katedra: Katedra číslicového návrhu
Platnost zadání: Do konce letního semestru 2019/20

Pokyny pro vypracování

Seznamte se modelem lidské ruky, který je schopný elektronicky ovládat všech pět prstů. Prozkoumejte jeho mechanické možnosti formou jednoduchých testů. Navrhněte a realizujte programové vybavení, které bude schopné v robotické ruce uchopit předmět a držet jej. Určete, jaké typy předmětů půjde uchopit. Dále propojte ruku se svalovým senzorem, případně odporovými ohybovými senzory a demonstруйте ovládní robotické ruky pohybem lidské paže. Vytvořte demo aplikaci. Vyvinuté programové vybavení řádně zdokumentujte. Rozsah práce upřesněte po dohodě s vedoucím práce.

Seznam odborné literatury

Dodá vedoucí práce.

doc. Ing. Hana Kubátová, CSc.
vedoucí katedry

doc. RNDr. Ing. Marcel Jiřina, Ph.D.
děkan

V Praze dne 14. února 2019



**FAKULTA
INFORMAČNÍCH
TECHNOLGIÍ
ČVUT V PRAZE**

Bakalářská práce

Robotická ruka

Katedra číslicového návrhu

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Skrbek, Ph.D.

15. května 2019

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Miroslavu Skrbkovi, Ph.D. za vedení, trpělivost a praktickou pomoc v rámci této bakalářské práce.

Dále bych také rád poděkoval své rodině za podporu a pomoc při studiu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s ust. § 46 odst. 6 tohoto zákona tímto uděluji nevýhradní oprávnění (licenci) k užití této mé práce, a to včetně všech počítačových programů, jež jsou její součástí či přílohou a veškeré jejich dokumentace (dále souhrnně jen „Dílo“), a to všem osobám, které si přejí Dílo užít. Tyto osoby jsou oprávněny Dílo užít jakýmkoli způsobem, který nesnižuje hodnotu Díla a za jakýmkoli účelem (včetně užití k výdělečným účelům). Toto oprávnění je časově, teritoriálně i množstevně neomezené.

V Praze dne 15. května 2019

.....

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií

© 2019 Iliia Popov. Všechna práva vyhrazena.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Českém vysokém učení technickém v Praze, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna právními předpisy a mezinárodními úmluvami o právu autorském a právech souvisejících s právem autorským. K jejímu užití, s výjimkou bezúplatných zákonných licencí a nad rámec oprávnění uvedených v Prohlášení na předchozí straně, je nezbytný souhlas autora.

Odkaz na tuto práci

Popov, Iliia. *Robotická ruka*. Bakalářská práce. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta informačních technologií, 2019.

Abstrakt

YouBionic Hand je příklad projektu robotické ruky. V této práci se zabývá problematikou návrhu softwarového vybavení tohoto projektu. Zpracovává rešerši hardwerové a softwerové části projektu YouBionic Hand a několika podobných projektů. V práci je postupně proveden návrh změn v původním projektu a návrh programového vybavení pro ovladání této robotické ruky. Závěrem je potom demo aplikaci pro softwarové ovládání ruky a ovládání pohybem lidské paže pomocí různých senzorů.

Klíčová slova Robotická ruka, YouBionic Hand, Arduino, servomotor, MyoWare svalový senzor, Ohybový senzor

Abstract

YouBionic Hand is a project of bionic robotic hand. This thesis deals with the design of software application for this project. It processes searches of hardware and software parts of the YouBionic Hand project and several similar projects. Finally, there is a demo application for hand control software and human arm movement control by various sensors.

Keywords Robotic hand, YouBionic Hand, Arduino, servo, humanoid, MyoWare Muscle Sensor, Flex sensor

Obsah

Úvod	1
1 Cíl práce	3
2 Rešerše	5
2.1 YouBionic Hand	5
2.2 Svalový senzor	10
2.3 Programové řešení	10
2.4 Projekty se stejnou problematikou	13
2.5 Způsoby řízení	14
2.6 Lidská ruka	16
3 Analýza a návrh	17
3.1 Zpětná vazba	17
3.2 Externí deska	17
3.3 Ovládání bez uživatele	18
3.4 Ovládání pomocí senzoru	19
4 Realizace	21
4.1 Komunikace mezi desky	21
4.2 Automatické ovládání	26
4.3 Ovládání pomocí senzoru	27
Závěr	29
Literatura	31
A Seznam použitých zkratk	33
B Obsah přiloženého CD	35

Seznam obrázků

2.1	Youbionic Hand[1]	5
2.2	Schéma zapojení[1]	6
2.3	Arduino IDE	8
2.4	Servopohon PQ12[2]	9
2.5	Dvoumotorový ovladač DRV8835[3]	9
2.6	MyoWare Muscle Sensor[4]	10
2.7	Shadow Dexterous Hand[5]	14
2.8	IH2 Azzurra[6]	14
2.9	Systém s otevřenou smyčkou	15
2.10	Systém s uzavřenou smyčkou	15
2.11	Základní způsoby uchopení[7]	16
3.1	Diy More Pro Mini Strong[8]	18
3.2	Schéma řízení bez regulace uživatelem	19
3.3	Schéma řízení pomocí senzorů	20
4.1	Standard Serial komunikace[9]	22
4.2	I2C serial komunikace[9]	23
4.3	Komunikace přes SPI	24
4.4	Schemata komunikace přes SPI	24
4.5	Realizovaná komunikace přes SPI	26
4.6	Schéma zapojení senzoru ohybu	27

Seznam tabulek

2.1	Technické informace	7
2.2	Popis proměnných	11

Úvod

V posledních letech došlo k obrovskému pokroku ve vývoji robotických ruk. Za robotickou ruku můžeme označit v podstatě jakékoliv zařízení sloužící k pohybování předměty. S tímto produktem se můžeme setkat v průmyslu, kde jsou robotické ruce využívány pro svařování, lakování a jiné práce, které vyžadují přesnost. Další oblast, kde se to používá je medicína. Robotické ruce se používá v chirurgii a jako protézy lidských končetin. Vývoj těchto projektů předtím byl velmi drahý, to si mohli dovolit jen velké podniky a prestižní univerzity. Díky rozvoji 3D tisku podobné projekty stávají dostupnější. Mechanický model je jen jedna část těchto projektů, další část je softwarové vybavení. Musíme model naprogramovat, tak abychom měli možnost to ovládat podle požadavků, navíc pohyby modelů by měli odpovídat pohybem lidské ruky.

Hlavní cíl této práce je prozkoumat model lidské ruky od firmy YouBionic, navrhnout a realizovat programové vybavení, pro ovládání tohoto zařízení. Téma jsem si zvolil, protože softwarová část projektu YouBionic Hand je malá a vyžaduje zlepšení, pro mě je to příležitost rozšířit své znalosti o robotice a programování. V práci se zabývám analýzou projektů modelu lidské ruky, úpravou hardwarové části tohoto projektu, přidávání dalších senzorů a implementací demo aplikace, která dokáže celý ten model ovládat.

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a realizovat funkční programové vybavení, které bude schopné v robotické ruce uchopit předmět a držet jej. Další funkce tohoto vybavení bude ovládání ruce pomocí svalového sensorů a odporovými ohybovými senzory.

Práce se zaměřuje na analýzu modelu lidské ruky od firmy YouBionic, který je schopný elektronicky ovládat všech pět prstů. Cílem je se seznámit s modelem a popsat jednotlivé jeho části. Dalším cílem teoretické části je provést rešerše existujících řešení pro ovládání robotické ruky.

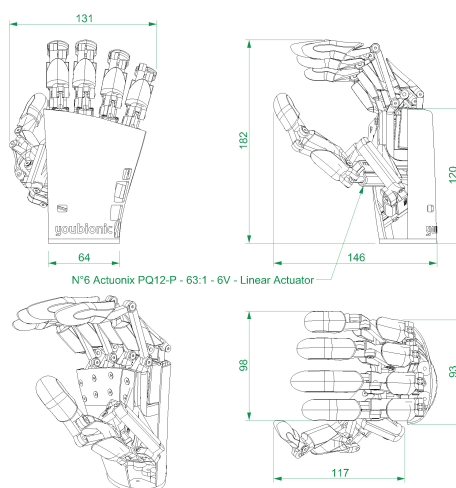
Cílem praktické části práce je prozkoumat mechanické možnosti robotické ruky formou jednoduchých testů. Na základě provedených testů tohoto modelu a výsledku rešeršní části určit, jaké typy předmětů půjde uchopit a navrhnout programové řešení pro ovládání modelu. Dále navrhnout schéma pro přidávání dalších sensorů a připojit jej. Navrhnout aplikace pro této senzory a demonstrovat ovládání robotické ruky pohybem lidské paže.

Rešerše

V následující části jsou popsány model lidské ruky od firmy YouBionic a jeho součásti, pracovní principy svalových senzorů a senzorů ohybu. Popsaný již existující řešení problému ovládní robotické ruky.

2.1 YouBionic Hand

Youbionic hand – vytištěná na 3D tiskárně bionická ruka ovládaná Arduinem. Na rozdíl od modelů, které vyžaduje kabely a dráty k pohybu, tato ruka reaguje na pohyby svalů uživatele. Zatímco podobné bionické ruce typicky stojí tisíce dolarů, zakladatel Youbionic Federico Ciccarese plánoval nabídnout svůj produkt jen za zlomek nákladů[10].

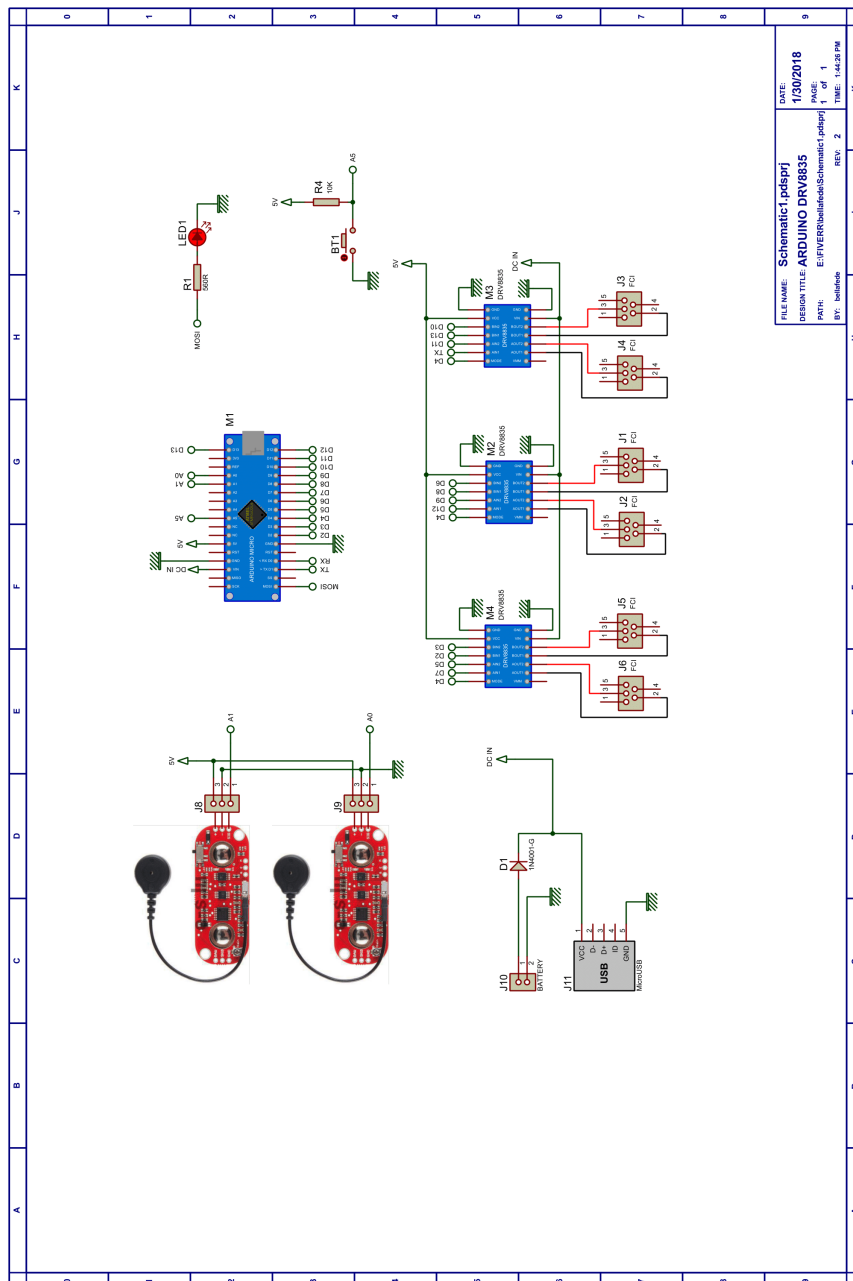


Obrázek 2.1: Youbionic Hand[1]

2. REŠERŠE

2.1.1 Komponenty

V této kapitole jsou popsány komponenty projektu YouBionic Hand. Původní schéma zapojení komponentů uvedená na Obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Schéma zapojení[1]

2.1.1.1 Arduino Micro

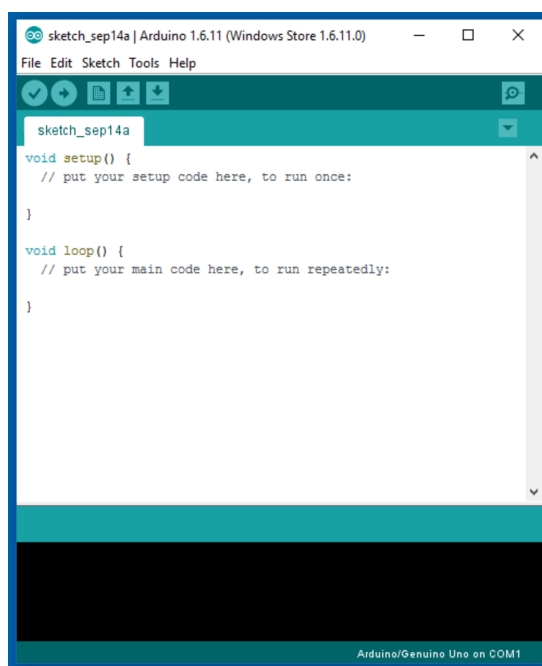
Hlavním ovladačem pro celý project YouBionic Hand je Arduino Micro. Arduino je otevřená elektronická platforma, kterou jde jednoduché přizpůsobit pro různé projekty, díky softwarové a hardwarové flexibilitě platformy. Na tyto desky je možné připojit různé vstupní signály (např. tlakový senzor, tlačítko, snímač osvětlení, atd.). Deska této vstupy pak je schopna zpracovávat a ovládat různé výstupy (rozsvícení LED, spuštění motoru, zobrazení textu na obrazovku, atd.).

Arduino MICRO je založeno na ATmega32U4, deska byla vyvinuta ve spolupráci s Adafruit. Má 20 digitálních I/O pinů (z nichž 7 je možné použít jako PWM (Pulzně Šířková Modulace) výstup a 12 jako analogový vstup), 16MHz krystalový oscilátor, micro USB konektor, ICSP (In-Circuit Serial Programming) čtečku a resetovací tlačítko[11]. V Tabulce 2.1 jsou uvedeny technické charakteristiky desky Arduino Micro.

Tabulka 2.1: Technické informace

Mikroprocesor	ATmega32U4
Provozní napětí (logická úroveň)	5 V
Vstupní napětí (doporučeno)	7-12 V
Vstupní napětí (maximální limit)	6-20 V
Počet digitálních I/O pinů	20 pinů, z toho 7 s PWM
Počet analogových vstupů	12 pinů
Proudové zatížení na 1 pin	20 mA
Flash paměť	32 KB
SRAM	2,5 KB
EEPROM	1 KB
Rychlost hodin	16 MHz

Abychom mohli správně ovládat celý model robotické ruky, potřebujeme naprogramovat tuto ovládací desku. K programování desek Arduino se používá software Arduino IDE (Vývojové prostředí) (Obrazek 2.3). Software je k dispozici na stránce *arduino.cc*. Nahrávání programů do desky se provádí pomocí USB kabelu, přes který se připojuje deska k PC.



Obrázek 2.3: Arduino IDE

2.1.1.2 Servomotor

Pro mechanické pohyby všech pěti prstů robotické ruky se používá servomotory. Servomotor je motor pro pohony, u kterých lze na rozdíl od běžného motoru nastavit přesnou polohu natočení osy. „*Servo motory slouží pro nastavení určité polohy ovládaného mechanismu a následné držení v této poloze. Stejnoseměrné servo motory se využívají například pro ovládání robotické paže nebo pro nastavení kormidla u leteckých modelů. Jejich hlavní výhodou je malý rozměr a malá hmotnost s relativně velkou silou*“[12].

Projekt Youbionic Hand obsahuje šest servopohonu typu PQ12-63-6-P (Obrázek 2.4) od společnosti Actuonix Motion Devices Inc. Jeden servopohon pro každý prst a jeden pro rotace.

Servopohony PQ12 jsou kompletní, samonosné lineární pohybové přístroje s polohovou zpětnou vazbou pro sofistikované možnosti řízení polohy nebo koncové spínače konce zdvihu pro jednoduchou dvoupolohovou automatizaci. Jízda s nimi nemohla být snazší, stačí použít stejnosměrné napětí pro prodloužení akčního členu a obrátit polaritu tak, aby se zasunula. K dispozici je několik převodových poměrů a napěťových možností, které poskytnou různé konfigurace otáček/sil[2].



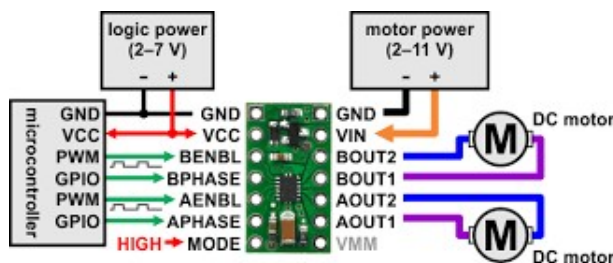
Obrázek 2.4: Servopohon PQ12[2]

2.1.1.3 Dvoumotorový ovladač

Každý servopohon vyžaduje externí ovladač. V modelu robotické ruky YouBionic Hand, servopohony jsou připojeny do hlavní desky přes ovladače DRV8835 od Texas Instruments. Schéma ovladače je na Obrázku 2.5.

Dvoumotorový ovladač TI DRV8835 může plynule dodávat 1,2A na kanál dvojici stejnosměrných motorů a podporuje dvě možná řídicí rozhraní pro větší flexibilitu použití: IN/IN a PHASE/ENABLE. S rozsahem provozního napětí od 0V do 11V a vestavěnou ochranou proti zpětnému napětí. Tento ovladač je skvělým řešením pro napájení až dvou malých, nízkonapětových motorů[3].

V rámci projektů používané řídicí rozhraní ovladače je PHASE/ENABLE. Jeden pin pro směr, druhý pro rychlost otáčení.

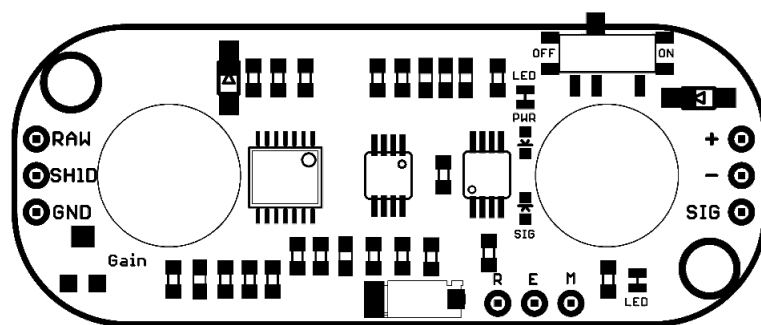


Obrázek 2.5: Dvoumotorový ovladač DRV8835[3]

2.2 Svalový senzor

Pro ovládání základních funkce modelu, jako otevírání a zavírání robotické ruky v původním projektu byl použit svalový senzor MyoWare Muscle Sensor (Obrázek 2.6). Ten senzor provádí měření aktivace svalů elektrickým potenciálem.

Svalové senzory jsou určeny pro přímé použití s mikrokontrolérem. Proto primárním výstupem senzorů není signál EMG (Elektromyografie), ale spíše zesílený, usměrněný a integrovaný signál, který bude dobře fungovat s analogově-digitálním převodníkem mikrokontroléru (ADC)[4].



Obrázek 2.6: MyoWare Muscle Sensor[4]

2.3 Programové řešení

Softwerová část projektů je program napsaný pro Arduino Micro, který řídí robotickou ruku. V této podkapitole provedeme analýzu programového řešení projektu.

Na začátku programu jsou deklarované proměny pro piny na které jsou připojeny servomotory. Pro ovládání každého servomotor jsou použity dva výstupní signály. První uvádí směr otáčení servopohonu. Druhý signál nastavuje rychlost otáčení. Popis proměnných uveden v Tabulce 2.2.

Tabulka 2.2: Popis proměnných

Proměnná	PIN	Ovládaný prst
pinDirA	2	Ukazovák
pinPwmA	3	
pinDirB	7	Prostředník
pinPwmB	5	
pinDirC	8	Prsteník
pinPwmC	6	
pinDirD	12	Malíček
pinPwmD	9	
pinDirE	13	Palec
pinPwmE	10	
pinDirF	1	Palcové otáčení
pinPwmF	11	

Platforma Ardiuno povoluje použití stejných pinů pro vstupní a výstupní signály proto je potřeba definovat, že se jedná se o výstupní signály. Deklarace se uvedena v Ukázce 2.1. Dal voláním funkce z Ukázky 2.2, se nastaví ovladače servopohonu do módu PHASE/ENABLE.

Ukázka kódu 2.1: Nastavení výstupních signálů

```
pinMode ( pinDirA, OUTPUT );
pinMode ( pinPwmA, OUTPUT );
pinMode ( pinDirB, OUTPUT );
pinMode ( pinPwmB, OUTPUT );
pinMode ( pinDirC, OUTPUT );
pinMode ( pinPwmC, OUTPUT );
pinMode ( pinDirD, OUTPUT );
pinMode ( pinPwmD, OUTPUT );
pinMode ( pinDirE, OUTPUT );
pinMode ( pinPwmE, OUTPUT );
pinMode ( pinDirF, OUTPUT );
pinMode ( pinPwmF, OUTPUT );
```

Ukázka kódu 2.2: Nastavení ovladačů servopohonů

```
int pinModeHigh = 4;
pinMode ( pinModeHigh, OUTPUT );
digitalWrite( pinModeHigh,HIGH );
```

Pro řízení motorů v kódu aplikace jsou použity funkce z Ukázky 2.3, kde *direction* je směr motoru (LOW - otevírání, HIGH - zavírání), *speed* je rychlost otáčení.

2. REŠERŠE

Ukázka kódu 2.3: Funkce pro ovládání motoru

```
digitalWrite( pinDir,direction );
analogWrite( pinPwm,speed );
```

Příklad kódu pro otevírání ruky uveden v Ukázce 2.4:

Ukázka kódu 2.4: Otevírání ruky

```
digitalWrite( pinDirE,LOW );
analogWrite( pinPwmE,255 );
delay(200);
digitalWrite( pinDirA,LOW );
analogWrite( pinPwmA,255 );
digitalWrite( pinDirB,LOW );
analogWrite( pinPwmB,255 );
digitalWrite( pinDirC,LOW );
analogWrite( pinPwmC,255 );
digitalWrite( pinDirD,LOW );
analogWrite( pinPwmD,255 );
digitalWrite( pinDirF,LOW );
analogWrite( pinPwmF,255 );
```

Procesy otevírání a zavírání celé ruky jsou řízeny pomocí vstupního signálu ze svalového senzoru. Svalový senzor připojen na pin A1 a čtení signálů z tohoto pinu realizované pomocí funkce: `analogRead(pin)`. Pro správné zpracování signálů se provádí fáze kalibrace senzoru (Ukázka 2.5), fáze kalibrace vyžaduje od uživatele používat svaly, na které je senzor přiřazen. Fáze kalibrace trvá 10 vteřin, výsledkem této fáze jsou minimální a maximální hodnoty naměřené snímačem. Hlavní funkce programu je smyčka ve které aplikace sleduje aktivitu svalů uživatele a na základě výstupu snímače provádí akce otevírání a zavírání robotické ruky.

Ukázka kódu 2.5: Kalibrace senzoru

```
instantreading = analogRead( pinMusSen );
savedreading = instantreading ;
delay(25);
for (int i=0; i <= 400; i++)
{
  instantreading = analogRead( pinMusSen );
  if (instantreading > savedreading && instantreading >
      maxcontractionset )
  {
    maxcontractionset = instantreading ;
  }
}
```

```
if (instantreading < savedreading && instantreading <
    mincontractionset)
{
mincontractionset= instantreading ;
}
savedreading = instantreading;
delay(25);
}
```

V rámci projektu YouBionic Hand neexistuje knihovna nebo dokumentace s popisem funkce pro ovládání modelu. Analyzovány v této podkapitole program je částečně popsán pomocí komentářů. Ten program je jediné softwarové řešení, které společnost YouBionic poskytuje pro svůj výrobek. Toto řešení je použitelné pro testování možností modelu a části kódu mohou být použity pro návrh softwarového vybavení v rámci práce.

2.4 Projekty se stejnou problematikou

YouBionic Hand je jeden z množství projektu robotických končetin, pro návrh funkční řešení pro splnění cílů této práce je nutný provést analýzu jiných modelů robotické ruky. V následující části jsou popsány příklady projektů se stejnou problematikou.

2.4.1 Shadow Dexterous Hand

Shadow Dexterous Hand (Obrázek 2.7) je humaniformní (humanoidní) robotový systém od společnosti The Shadow Robot Company. Ruka je srovnatelná s lidskou rukou ve velikosti a tvaru a reprodukuje všechny stupně volnosti.

S celkem 129 senzory, Shadow Dexterous Hand poskytuje detailní telemetrii, která může být využita pro generování inovativních systémů řízení manipulace nebo pro detailní pochopení vnějšího prostředí. Stejně jako absolutní snímání polohy pro každý spoj obsahuje ruka snímání síly pro každý aktuator, hmatové snímání na koncích prstů, teplotu a proud motoru a snímání napětí[5].



Obrázek 2.7: Shadow Dexterous Hand[5]

2.4.2 IH2 Azzurra

Řada IH2 Azzurra (Obrázek 2.8) je programovatelná antropomorfní ruka lidské velikosti schopná uchopit nejrůznější objekty a snímat je prostřednictvím více senzorů síly a polohy. Je také schopen spočítat a stisknout tlačítka[6].



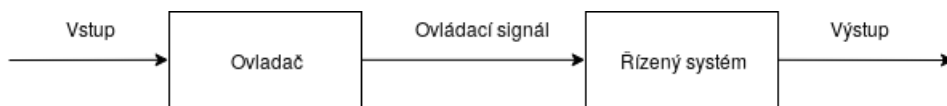
Obrázek 2.8: IH2 Azzurra[6]

2.5 Způsoby řízení

Správné řízení modelu robotické je jedním z cílů této práce. Proto je potřeba zvolit řídicí systém, který bude použit pro ovládání modelu. Řídicí systémy jsou rozděleny do dvou obecných kategorií: systémy s otevřenou smyčkou a

uzavřenou smyčkou. Rozlišení je určeno regulační akcí, která odpovídá za aktivaci systému pro regulace výstupu. Principy těchto systémů jsou popsány v knize „Feedback and control systems“ [13].

Řídicí systém s otevřenou smyčkou (Obrázek 2.9) je takový, ve kterém je řídicí akce nezávislá na výstupu. Systém s otevřenou smyčkou nepoužívá zpětnou vazbu, aby určil, zda byl dosažen požadovaný výstup, systém „předpokládá“, že požadovaný cíl vstupu byl úspěšný, protože nemůže regulovat systém v případě že nastala chyba a nebo reagovat na vnější přerušení systému. Výhodou řízení systémů s otevřenou smyčkou je, že je potenciálně levná a jednoduchá implementace, což je ideální pro použití v přesně definovaných systémech, kdy vztah mezi vstupem a výstupem je přímý a není ovlivněn žádnými vnějšími poruchami. Bohužel tento typ systému s otevřenou smyčkou je nedostatečný pro kompletní nezávislé ovládání modelu robotické ruky, protože změny nebo poruchy v systému ovlivňují rychlost servomotorů. Při použití tohoto typu řízení je nutná další forma kontroly.



Obrázek 2.9: Systém s otevřenou smyčkou

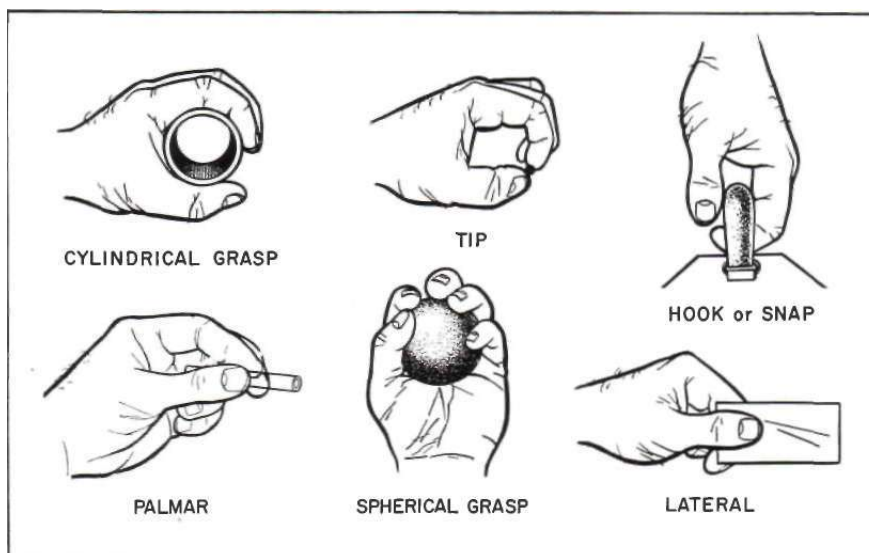
Řídicí systém s uzavřenou smyčkou (Obrázek 2.10) je takový, ve kterém je řídicí akce nějak závislá na výstupu. Systémy s uzavřenou smyčkou mají oproti systémům s otevřenou smyčkou mnoho výhod. Primární výhodou systémů řízení zpětné vazby s uzavřenou smyčkou je jeho schopnost snížit citlivost systému na vnější rušení, například zavření robotické ruky s objektem uvnitř, což systému poskytuje robustnější řízení, protože jakékoli změny v zpětnovazebním signálu budou mít za následek regulátorem.



Obrázek 2.10: Systém s uzavřenou smyčkou

2.6 Lidská ruka

Ruka je poměrně složitá končetina lidského těla. Má širokou schopnost při manipulaci a uchopení objektů. Člověk používá ruce v různých úkolech, jako je držení, třes, uchopení, dotek, atd. Z tohoto důvodu je velmi obtížné navrhnout robotickou ruku, která je schopná provádět všechny tyto úkoly lidským způsobem. Umělá, tz. Robotická ruka by mohla být součástí průmyslového, servisního nebo zdravotnického robota. Také může být součástí lidského těla jako pokročilý protetický prostředek. To znamená, že design umělé ruky závisí na její účelu[14]. Účelem této ruky je nahrazovat lidskou, proto musí se chovat jako biologická ruka. V 1919 Schlesinger[7] definoval šest základních způsobů uchopení, který jsou prezentovaný na Obrázku 2.11. Navrhnout a realizovat této uchopení je záměrem praktické části práce.



Obrázek 2.11: Základní způsoby uchopení[7]

Analýza a návrh

Tato kapitola zaměřená na analýzu a návrh řešení. Na začátku kapitoly jsou popsány technologií zvolený pro splnění cílů této práce. Dál jsou navržena řešení pro ovládání modelu bez přístupu uživatele a ovládání pomocí senzoru.

3.1 Zpětná vazba

Pro správné automatické ovládání ruky, potřebujeme vědět pozice každého prstu v kódu naše aplikace. Pozice prstu bude odpovídat pozice servomotoru, který ten konkrétní prst ovládá. Pozice servomotorů můžeme zjistit na základě zpětné vazby servopohonů. Z dokumentace servopohonu[2] je vidět, že servomoty typu PQ12-P mají špetnou vazbu, pomocí potenciometru. Měřicí přístroj zvaný potenciometr je v podstatě děličem napětí používaným pro měření elektrického potenciálu (napětí). Výstup potenciometru podle dokumentace[2] je připojen na PIN1. Výstupní napětí potenciometrů je proporcionální poloze servopohonu na který připojen. Poloha servopohonu v modelu robotické ruky odpovídá pozice prstu, který ten servopohon řídí.

3.2 Externí deska

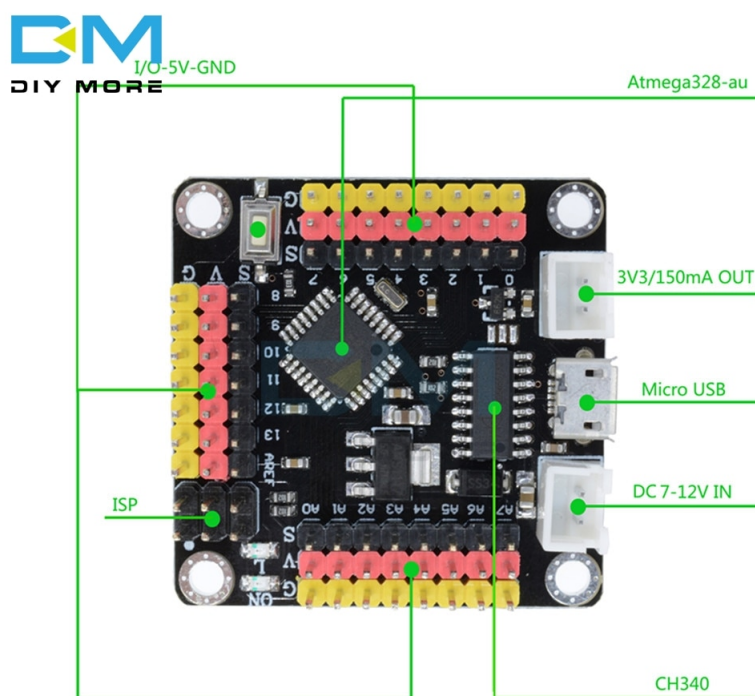
Prozkoumav původní schéma připojení součástí projektu YouBionic Hand (Obrázek 2.2) můžeme konstatovat, že výstupu potenciometru servomotorů nejsou připojeny do ovládací desky. Potřebujeme výstup z každého servomotorů což je dohromady 6 výstupů a napájení na každý ten potenciometr. Zvoleným řešením je přidání další ovládací desky a nastavení komunikace mezi původní deskou a deskou periferní. Toto řešení bylo zvoleno z několika důvodů:

- toto řešení vyžaduje minimální změny v konstrukce původního modelu
- nedostatek volných pinů na původní desce

3. ANALÝZA A NÁVRH

- možnost přidání dalších senzorů a jiných vstupů a výstupů do celého projektu

Pro této účely byla zvolena deska „DM Pro Mini Strong“ (Obrázek 3.1), která je plně kompatibilní s Arduino Atmega328. Díky kompatibilitě a malé konstrukce tato deska je optimálním řešením pro integrace do modelu a splnění cílů práce.



Obrázek 3.1: Diy More Pro Mini Strong[8]

3.3 Ovladani bez uzivatele

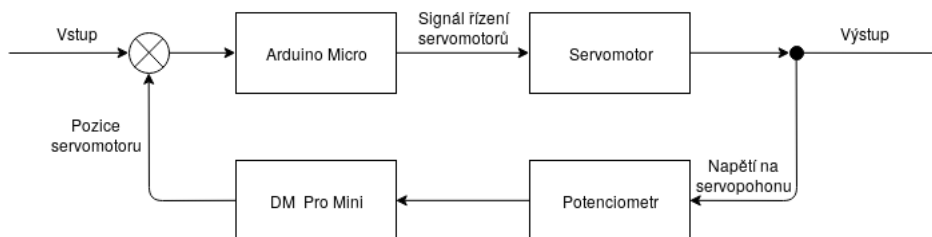
Jedním z cílů práce naučit robotickou ruku uchopit a držet předmět. Pro splnění tohoto cílů nestačí jen vědět v jakém stavu je celý model. Musíme kontrolovat celý proces zavírání ruky a v čas zastavit každý z prstu, tak aby v procesu zavírání nedošlo k poškození předmětu, který chceme uchopit, nebo poškození našeho modelu. Zároveň tuto ruku musíme zastavit tak aby ten předmět byla schopna udržet.

Původním řešením od firmy YouBionic pro tento problém je ručně ovládání procesů pomocí svalového senzorů (Kapitola 2.2). Pro splnění cílů práce

potřebujeme ale ovládat ruku i bez intervence uživatele, taková možnost v původním projektu není navržena vůbec. Možným řešením je přidání tlakových čidel na každý prst robotické ruky, příklad tohoto řešení je robotická ruka Shadow Dexterous Hand (Kapitola 2.4.1). Výhodou této metody je vysoká přesnost modelu a jednoduchost ovládání v kódu aplikace. Nevýhodou jsou potřeba v přidání dalších čidel a přepracování konstrukce ruky.

Dalším možným řešením je časové sledování stavu všech servomotorů v ruce. Myšlenkou této metody je sledování pozice každého servomotorů v procesu zavírání nebo otevírání ruky, pak na základě změřených výsledků, aplikace rozhoduje jestli má zastavit servomotory. Počátečně víme s jakou rychlostí se mění pozice všech prstů při volném (bez předmětů) otevírání a zavírání ruky. Pokud do ruky dáme nějaký předmět a spustíme zavírání, tak ve chvíli kdy ruka naráží na předmět v programu se objeví rozdíl mezi volným zavíráním a běžícím zavíráním, čili stav servomotorů se přestane měnit. Softwarové vybavení má ten rozdíl zpracovat a zastavit proces zavírání ruky. Výhodou tohoto řešení je jednoduchá hardwarová realizace v rámci tohoto projektu, absence potřeby přidávání dalších čidel do projektu a minimální změny v původním modelu. Nevýhodou je nízká přesnost ovládání, nemůžeme udržet moc jemný předmět, mnohem větší složitost ovládání v kódu aplikace oproti předchozímu řešení.

Prozkoumaj této metody, jejich výhody a rizika byla zvolena metoda časového sledování stavu všech servomotorů v ruce. Hlavním kritériem při výběru metody byla realizovatelnost metody s nejmenšími změnami v původním modelu robotické ruky. Ten model řízení odpovídá řídicí systému s uzavřenou smyčkou, který byl popsán v Kapitole 2.5. Na Obrázku 3.2 navržena schéma řídicího systému, která pro bude využita pro implementace řešení.



Obrázek 3.2: Schéma řízení bez regulace uživatelem

3.4 Ovládání pomocí senzoru

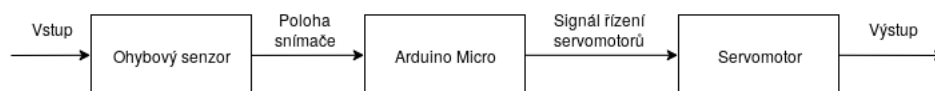
Dalším cílem je navrhnout řešení pro ovládání ruky pomocí senzorů. V původním řešení byl použit svalový snímač od firmy MyoWare popsáný v Kapitole 2.2. Na základě výstupní hodnoty senzorů, které měří aktivitu svalů uživatele, aplikace řídí procesy otevírání a zavírání ruky. Záměrem této práce navrhnout

3. ANALÝZA A NÁVRH

nout řešení, které povolí ovládání celé ruky pohybem lidské paže. Model musí kopírovat pohyby uživatele, což nejde dosáhnout již existujícím řešením. Alternativou existující řešení je použití senzoru ohybu.

Senzor ohybu nebo ohybový senzor je senzor, který měří velikost průhybu nebo ohybu. Obvykle je senzor přilepen k povrchu a odpor snímacího prvku se mění ohýbáním povrchu. Jako povrch pro ten snímač bude použit prst uživatele, tím pádem výstupní hodnota senzorů bude reprezentovat polohu prstů uživatele. Na základě této hodnoty aplikace bude řídit servomotory, aby robotická ruka dosáhla stejné pozice jako ruka uživatele.

Při tomto typu ovládání modelu robotické ruky regulaci provádí uživatel, pomocí pohybu svoji paže. Vztah mezi vstupem a výstupem je přímý, proto nepotřebujeme automatické regulování systému a můžeme zvolit řídicí systém s otevřenou smyčkou. Vstupem systému budou hodnoty ohybových senzorů připojených do hlavní desky. Na základě vstupů, řídicí jednotka vygeneruje řídicí signál pro ovládání servopohonu. Schéma celého systému navržena na Obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Schéma řízení pomocí senzorů

Realizace

Tato kapitola obsahuje popis implementace řešení navržené v předchozí kapitole.

4.1 Komunikace mezi desky

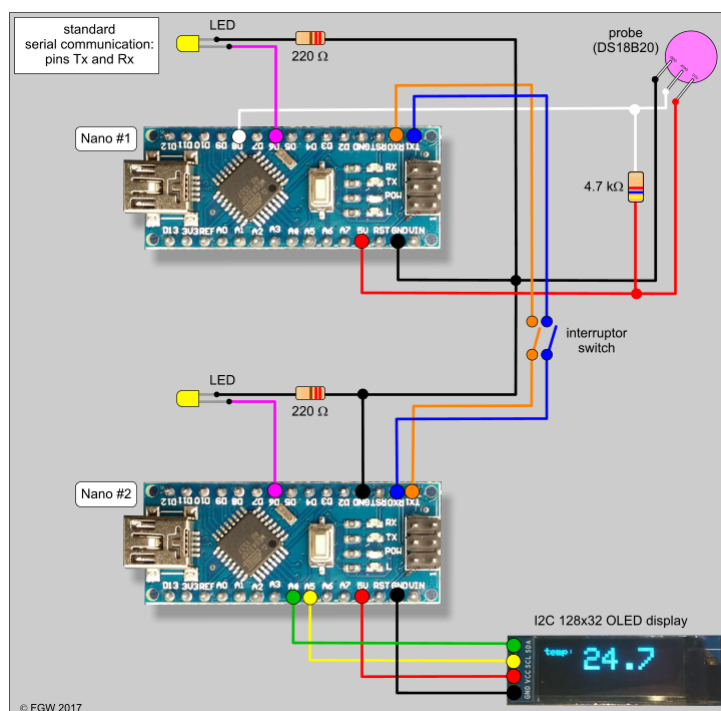
Pro ovládání všech servomotorů a zároveň zpracování různých vstupů z potenciometrů a senzorů, což je v tomto projektu je důležitý, potřebujeme větší množství vstupních pinů na původní ovládací desce. V rámci tohoto projektu nemáme možnost změny původní desky na jinou, která by obsahovala větší množství vstupů, kvůli tomu že to povede k velkým změnám v konstrukce původního projektu a zničí mobilitu robotické ruky, což nevyhovuje splnění cílů projektu. Proto zvoleným řešením je použití externí desky. Na kterou připojíme většinu vstupů. Abychom měli přístup k těmto vstupem (např. výstupy potenciometru, signály čidel), musíme spojit zvolenou desku (DM Pro Mini Strong) s hlavní ovládací deskou našeho projektu (Arduino micro). Hlavní požadavky jsou realizovatelnost a schopnost externí desky vysílat data v závislosti na informace z centrální desky. Dál budou uvedeny některé z možností komunikace mezi Arduino desky.

4.1.1 Standard Serial communication

Na Obrázku 4.1 uvedeno zapojení desek. TX pin Náno 1 je spojen s pinem RX Náno 2 a pin RX Náno 1 je připojen k TX pinu Náno 2. GND obou Nano jsou spojeny mezi sebou. Přerušovač spínačů je nezbytný v komunikační lince k odpojení sériové komunikace mezi Arduino při nahrávání programů přes USB port k jednomu z Nano. Alternativou je odpojit Nano během nahrávání[9].

Tato metoda umožňuje komunikace mezi desky a splňuje našim požadavkům pro tuto komunikace. Problém této metody ale v tom, že pin TX pro sériovou komunikace je použit v původním modelu pro ovládání servomotoru, což je vidět ze schématu připojení (Obrázek 2.2).

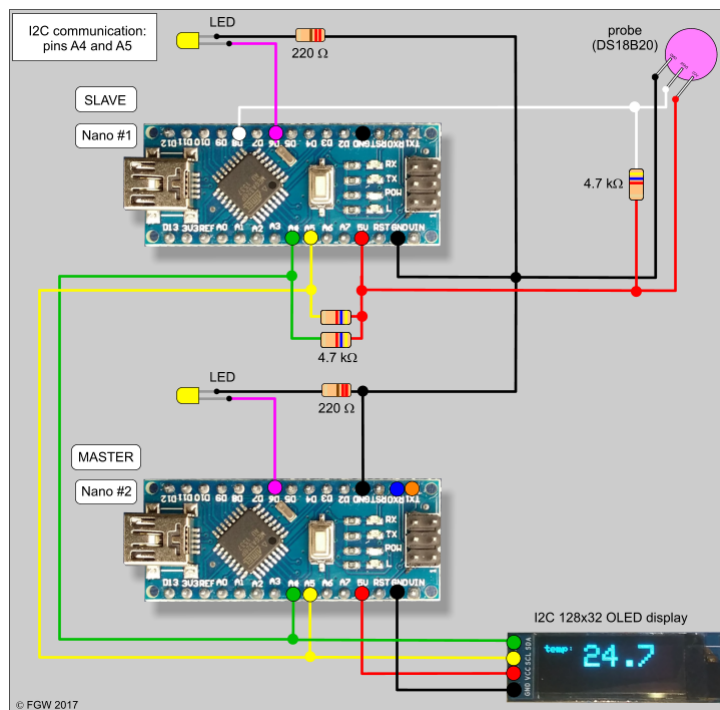
4. REALIZACE



Obrázek 4.1: Standard Serial komunikace[9]

4.1.2 I2C serial communication

Obrázek 4.2 ukazuje zapojení dvou Arduino Nano v konfiguraci I2C. Piny A4 a A5 Nano 1 jsou připojeny k pinům A4 a A5 Nano 2. Piny A4 a A5 Nano 2 jsou připojeny k pinům SDA a SCK na OLED displeji. Není nutný interaptový spínač v komunikačních vodičích. Odborníci v I2C komunikace zdůrazňují, že mají 4,7kO pullup rezistory na linkách A4 a A5, zejména pokud jsou master a slave daleko od sebe (metry). S krátkými spoji nejsou pullupy důležité. Datový pin sondy Dallas DS18B20 je připojen ke kolíku 8, stejně jako ve standardních sériových a soft sériových konfiguracích[9].



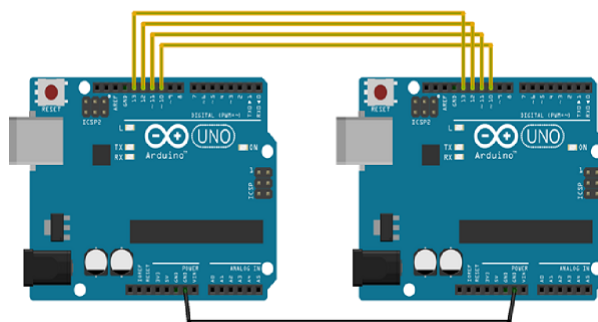
Obrázek 4.2: I2C serial komunikace[9]

Tato metoda vyhovuje našim cílům a je realizovatelná. Problémem této metody je to, že piny A4 a A5 pro komunikace na ovládací desce nejsou přístupovatelny, kvůli konstrukce projektu YouBionic Hand. Pro přístup k těmto pinů je potřeba provést významné změny v projektu.

4.1.3 Komunikace přes SPI

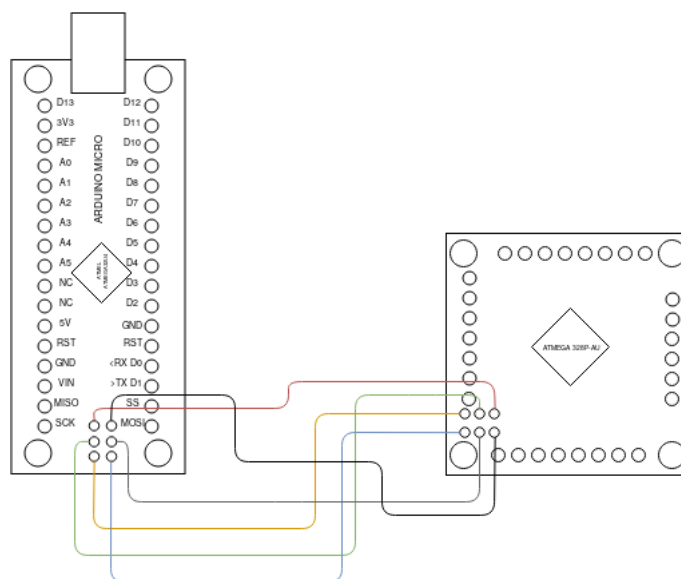
Serial Peripheral Interface (SPI) je synchronní sériový datový protokol používaný mikrokontroléry pro komunikaci s jedním nebo více periferními zařízeními rychle na krátké vzdálenosti. Lze jej také použít pro komunikaci mezi dvěma mikrokontroléry. S připojením SPI je vždy jedno hlavní zařízení (obvykle mikrokontrolér), které řídí periferní zařízení[15]. Obrázek 4.3 ukazuje zapojení.

4. REALIZACE



Obrázek 4.3: Komunikace přes SPI

V původní konstrukce projektů, výstupy pro komunikace přes SPI jsou přístupovatelný bez jakýchkoliv změn v modelu, takže tento způsob výměny dat splňuje uvedeným požadavkům. Z těchto důvodů tento způsob výměny dat byl zvolen pro řešení problémů. Navržená a realizovaná schéma připojení ukázána na Obrázku 4.4.



Obrázek 4.4: Schemata komunikace přes SPI

Softwarová implementace komunikace se skládá ze dvou částí. První část je kód pro periferní zařízení (DM Pro Mini Strong). Periferní zařízení na základě požadavků od hlavního zařízení přeposílá výstup jednoho z potenciometru připojených do desky. Příjem informací z hlavní desky se provádí pomocí přerušení. Funkce přerušení ukázána na 4.1. Před začátkem komunikace se provádí nastavení pinů a přepínání desky do Slave režimu (Ukázka 4.2).

Ukázka kódu 4.1: Obsluha přerušení

```
ISR (SPI_STC_vect)
{
  Slavereceived = SPDR;
  received = true;
}
```

Ukázka kódu 4.2: Nastavení pro periferní zařízení

```
pinMode(MISO,OUTPUT);
SPCR |= _BV(SPE);
received = false;
SPI.attachInterrupt();
```

V hlavní smyčce (Ukázka 4.3) programu zařízení čte výstupní hodnoty na potenciometrech a přeposílá poslední požadovaný výstup na sběrnice, odkud to pak přečte Master.

Ukázka kódu 4.3: Hlavní smyčka

```
void loop()
{
  while (true) {
    if(received)
    {
      switch(Slavereceived) {
        case 0:
          x = analogRead( A0 );
          Slavesend = map(x, 0, 1024, 0, 255);
          SPDR = Slavesend;
          break;

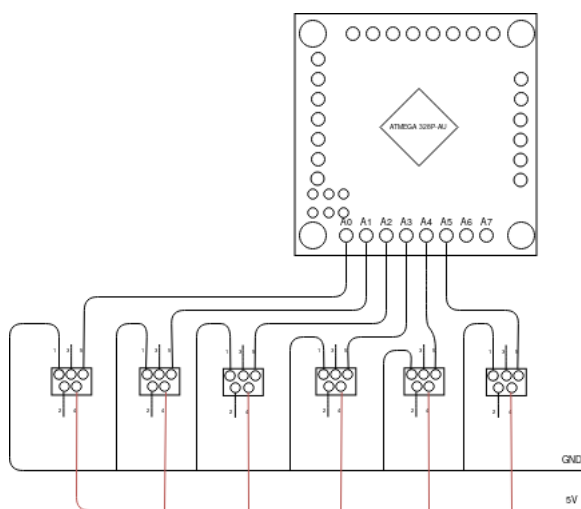
          ...

        case 5:
          x = analogRead( A5 );
          Slavesend = map(x, 0, 1024, 0, 255);
          SPDR = Slavesend;
        default:
          Slavesend = map(x, 0, 1024, 0, 255);
          SPDR = Slavesend;
          break;
      }
    }
  }
  ...
}
```

Druhá část je kód na straně hlavní desky (Arduino Micro). Zařízení inicializuje SPI komunikace se Slave zařízením a ve hlavní smyčce pomocí funkce: `SPI.transfer(Mastersend)` vysílá číslo pinu který chce přečíst. Návrátová hodnota je přeposlána hodnota požadovaného pinu z periferního zařízení.

4.2 Automatické ovládání

Pro implementaci řešení ovládání robotické ruky bez regulace uživatele byla realizována schéma 4.5 připojení potenciometrů ze servopohonu do periferní desky.



Obrázek 4.5: Realizovaná komunikace přes SPI

Aplikace pro hlavní zařízení pracuje v několika režimů jeden pro každý typ uchopení a jeden pro proces otevírání ruky. Přepínání mezi režimy volí uživatel pomocí komunikace přes Sériový monitor. Na základě zvoleného režimu aplikace přivede model do počátečního stavu pro daný typ procesu. Pak program spustí otevírání/zavírání. Pro jednoduchost použití a přehlednost v kódu aplikace byla realizována struktura `TFinger 4.4`, která reprezentuje prst modelu robotické ruky v kódu aplikace. V každé instanci této třídy jsou uloženy výstupní piny pro řízení servomotorů, stav prstu (pohybující nebo stojící) a pro přesnost ovládání jsou uloženy tři poslední změřené pozice servomotorů. Během procesu zavírání ruky aplikace aktualizuje aktuální polohu všech prstů a na základě třech posledních naměřených pozic pro každý prst zvlášť kontroluje jestliže je potřeba zastavit servomotor, který ten prst řídí.

Ukázka kódu 4.4: Nastavení pro periferní zařízení

```

struct TFinger {
  int pinDir;
  int pinPwm;
  int fingerPos;
  int fingerPrevPos;
  int fingerTherdPos;
  bool moving;
};

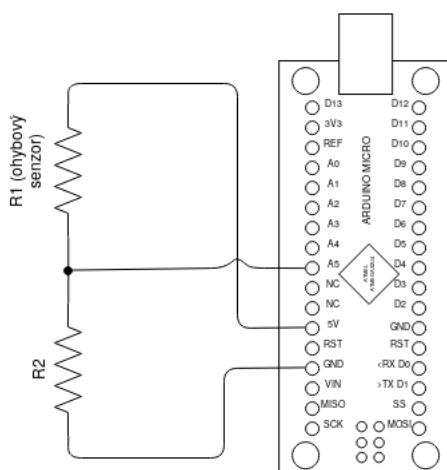
```

4.3 Ovládání pomocí senzoru

Na základě řešení navržené v Kapitole 3.4 do modelu byl připojen ohybový senzor. Schéma zapojení je znázorněna na Obrázku 4.6. Senzor propojen do ovládací desky přes odpor. Optimální hodnota odporu se rovná 47K Ω a byla spočítána z výrazu pro výstupní napětí této schématy: $V_{out} = \frac{V^+}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$

Pro sledování aktuálního stavu polohy prstů byla použita zpětná vazba ze servomotorů realizovaná v předchozích kapitolách. Softwarová část řešení čte výstupní signál ze senzorů pomocí funkce: `analogRead(pin)` a mění polohu robotického prstu. Regulace polohy prstů se provádí pomocí výstupního signálu potenciometru na regulovaném prstů.

Po počáteční kalibrace senzoru, prst modelu namapovaný na ohybový senzor bude přesně kopírovat polohu snímače. Senzor pak může být přilepen na prst uživatele. Přidání senzorů na každý prst uživatele a propojení těch senzorů do prstů robotické ruky povolí ovládání celého modelu, teda robotická ruka bude kopírovat pohyby lidské paže.



Obrázek 4.6: Schéma zapojení senzoru ohybu

Závěr

Cílem této práce bylo prozkoumat možnosti robotické ruky a navrhnout programové vybavení pro jej ovládání. Na základě provedené rešerše jiných projektů, rešerše a testování součástí modelu, byl proveden návrh změn v konstrukce původního modelu projektu YouBionic Hand. Pak byla navržena a realizována nová schéma připojení komponentů včetně externí periferní ovládací desky a realizována komunikace mezi této desky. Do původního projektu byly zapojeny potenciometry zpětné vazby servomotorů, což umožňuje přesnější ovládání modelu. Otestován a integrován do projektu ohybový senzor pro ovládání robotické ruky pohybem lidské paže. Vytvořena a otestována základní aplikace pro ovládání ruky pomocí senzorů ohybu a samotné ovládání na základě stavu servomotorů. Realizováno několik základních způsobů uchopení předmětů kopírujících chování lidská paže.

Zadané cíle byly splněny, dále by bylo možné navrhnout a realizovat ovládač pro lidskou ruku (např. rukavice), který bude řídit celý model na základě řešení této práce. Takže projekt lze rozšířit o další varianty uchopení a různé pohyby kopírující lidskou ruku.

Literatura

- [1] You Bionic: *Technical Drawing*. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <https://github.com/Youbionic-com/Youbionic>
- [2] Actuonix Motion Devices Inc.: *Miniature Linear Motion Series PQ12*. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://s3.amazonaws.com/actuonix/Actuonix+PQ12+Datasheet.pdf>
- [3] Texas Instruments: *RV8835 Dual Low-Voltage H-Bridge IC*. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/file/0J570/drv8835.pdf>
- [4] Advancer Technologies: *Electromyography Sensor for Microcontroller Applications*. [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://www.pololu.com/file/0J570/drv8835.pdf>
- [5] Shadow Robot Company: *Shadow Dexterous Hand*. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <http://www.shadowrobot.com/products/dexterous-hand/>
- [6] PRENSILIA SRL: *IH2 AZZURRA series*. [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: <https://www.prensilia.com/wp-content/uploads/support/doc/DS-IH2-v02.pdf>
- [7] Schlesinger, G.: *Der mechanische Aufbau der künstlichen Glieder*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1919, ISBN 978-3-662-33009-8, s. 321–661, doi:10.1007/978-3-662-33009-8_13. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-662-33009-8_13
- [8] Diy More: *Pro Mini*. [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.diy-more.cc/products/diy-more-pro-mini-3-3v-8mhz-board-atmega328-microcontroller-module-for-arduino-mini-atmega328p-with-i-o-pins>
- [9] Wouterlood, F.: *Three ways of interarduino serial communication*. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://www.zonnepanelen.wouterlood.com/>

- arduino-bare-basics/arduino-passing-temperature-readings-to-a-neighbor-arduino-three-ways-of-serial-communication/
- [10] Scott, C.: *The 3D Printed Youbionic Hand Features New Updates with More to Come Soon [online]*. [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://3dprint.com/213337/3d-printed-youbionic-hand-update/>
- [11] arduino.cc: *Arduino Micro [online]*. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-micro>
- [12] Martin, S.: *Servomotor*. [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/arduino-projekty/servo-motor.html>
- [13] Joseph J. Distefano, W. J. W., Allen R. Stubberud: *Feedback and control systems*. McGraw-Hill, druhé vydání, 1994, ISBN 978-0078427091.
- [14] Rodić, A.; Miloradovic, B.; Popić, S.; aj.: *Development of Modular Compliant Anthropomorphic Robot Hand*, ročník 16. 09 2014, ISBN 9783319015910, s. 205–219, doi:10.1007/978-3-319-01592-7_15.
- [15] arduino.cc: *SPI library*. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/reference/SPI>

Seznam použitých zkratk

PWM Pulzně šířková modulace

ICSP In-Circuit Serial Programming

IDE Vývojové prostředí

EMG Elektromyografie

ADC Analogově digitální převodník

SPI Serial Peripheral Interface

Obsah přiloženého CD

readme.txt	stručný popis obsahu CD
src	
impl	zdrojové kody implementace
graspImpl.ino	zdrojový kód aplikace pro uchopení
sensImpl.ino	zdrojový kód aplikace pro ovládání pomocí senzoru
schem.pdf	realizovaná schéma připojení komponentů
BP_Popov_Ilia_2019	zdrojová forma práce ve formátu L ^A T _E X
text	text práce
BP_Popov_Ilia_2019.pdf	text práce ve formátu PDF
documentation.pdf	dokumentace ke zdrojovým kódu aplikace