



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ROBOT SPORTOVEC

SPORT ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Slovák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Tomáš Slovák

ID: 155757

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Robot sportovec

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a vyrobte plně funkčního robota sportovce, který bude schopen kráčet, kopat, pohybovat pažemi, a bude schopen dělat další sportovní pohyby. Pro mechanické části využijte výrobu pomocí 3D tiskárny. Robot musí být napájen bateriově a musí být možné jej ovládat bezdrátově pomocí jednoduchého programu pro tablet.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení školitele.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 31.5.2018

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a vyrobit dvounohého kráčivého robota za pomoci 3D tisku, který je bateriově napájen a bezdrátově ovládán

KLÍČOVÁ SLOVA

Robot, váhový, senzor, senzory, autonomie, těžiště, kráčivý, pohyb, detekce, překážek, sériová, bezdrátová, komunikace, Raspberry Pi, Arduino

ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on design and manufacture of two legged walking robot, that has 3D printed parts and is battery powered with the option to be remotely controlled

KEYWORDS

Robot, load cell, sensors, autonomy, centre of mass, walking, movement, detection, obstacles, serial, wireless, communication, Raspberry Pi, Arduino

SLOVÁK, Tomáš. *Robot Sportovec*. Brno, 2018, 50 s. Semestrální projekt. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce: Doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma „Robot Sportovec“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor(ka) uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto semestrálního projektu jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu semestrální práce panu Doc. Ing. Jiřímu Háze, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	9
1 Teoretická část studentské práce	10
1.1 Senzory	10
1.1.1 Váhové senzory	10
1.1.2 Senzor vzdálenosti	12
1.1.3 Akcelerometry	13
1.2 Akční členy	13
1.2.1 Servo motor	14
1.3 Napájení	15
1.3.1 Baterie	15
1.3.2 Měniče napětí	16
1.4 Řídicí logika	17
1.4.1 Komunikace	18
1.5 Materiály	19
2 Návrh robota	21
2.1 Mechanický návrh	21
2.1.1 Fyzické propozice	22
2.1.2 Použité materiály	23
2.1.3 Pohyb	23
2.2 Návrh elektroniky	24
2.2.1 Raspberry Pi	25
2.2.2 Arduino	26
2.2.3 DC-DC měniče napětí	27
2.2.4 Li-ion baterie 18650	29
2.2.5 Váhové senzory a A/D převodník	30
2.2.6 Ultrazvukový senzor	31
2.2.7 Servo motory RDS3115	32
2.2.8 Servo motory MG90S	33
2.3 Návrh programové části	34
2.3.1 Podřízené jednotky ovládající motory	34
2.3.2 Řídicí jednotka	35
2.3.3 Řešení pohybu	36
2.3.4 Řízení senzorů	38
3 Závěr	40

Literatura	42
Seznam symbolů, veličin a zkratk	45

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Zpracování váhového senzoru [5]	11
1.2	Dosavadní řešení váhových senzorů na spodku nohy	12
1.3	Senzory pro určení vzdálenosti [6]	12
1.4	Příklady možných akčních členů	13
1.5	Složení hobby servo motoru [10]	14
1.6	Vlastnosti různých typů lithium-iontových baterií [12]	15
1.7	Ukázka možného řešení DC-DC měniče napětí	17
1.8	Ukázka propojení čtyř zařízení k pomocí SPI	19
2.1	Renderovaný obrázek prvotního návrhu robota v SolidWorks	21
2.2	Délka jednotlivých části robota	22
2.3	Rozdělení chůze na jednotlivé fáze [21]	23
2.4	Došlápnutí na nerovný povrch	24
2.5	Zjednodušené schéma zapojení jednotlivých komponent	25
2.6	Raspberry Pi 3 model B [14]	26
2.7	Použité mikrokontroléry Arduino-Pro mini [22]	27
2.8	Výkonový DC-DC měnič napětí [23]	28
2.9	DC-DC měnič napětí 3 A [24]	29
2.10	Baterie NCR18650B s ukázkou ochranné DPS [25]	29
2.11	Ukázka vlivu vybíjecího proudu na velikost napětí baterie [26]	30
2.12	Zapojení tenzometrů ve váhovém senzoru [27]	30
2.13	Servo motor RDS3115 s uchycenými rameny [29]	32
2.14	Servo motor MG90S [30]	33
2.15	Vývojový diagram mikrokontrolérů řídících servo motory	34
2.16	Pořadí bytů ve zprávě zasílané mikrokontrolérům	35
2.17	Blokové schéma propojení komponentů	36
2.18	Vývojový diagram pohybu při stání	37
2.19	Vývojový diagram pohybu při chůzi vpřed	38
2.20	Vývojový diagram zobrazující řízení senzorů	39
A.1	Robot s hrudním krytem zepředu	46
A.2	Robot bez hrudního krytu zepředu	47
A.3	Robot se zádovým krytem zezadu	48
A.4	Robot bez zádového krytu zezadu	49
A.5	Robot bez krytu z boku	50

ÚVOD

Tato práce se věnuje návrhu a vlastní realizaci dvounohého kráčivého robota. Dále pak pojednává o možnostech a volbě součástí, které lze i obecně v robotice použít.

Pod pojmem robot si lze představit stroj s určitou autonomií a pohybovým ústrojím, který díky řadě senzorů reaguje na vlivy okolního prostředí, dále obsahující výpočetní jednotku, která má za úkol správně rozhodnout, jaká funkce se v příštím momentu vykoná na základě již zmíněných vnějších podnětů.

Složitost návrhu a konstrukce robota velmi rychle narůstá s počtem a typem použitých senzorů a aktuátorů (akčních členů), přičemž ale také rychle roste počet a přesnost úkonů, které robot může vykonávat.

Robot bude vždycky jednat v mezích podle zadaných pravidel a nastavení, avšak s rostoucí složitostí návrhu a správným použitím senzorů lze dosáhnout funkcionality, kde většinu rozhodnutí dělá robot sám.

Robotika je oborem na rychlém vzestupu, a to nejen kvůli potřebné automatizaci výroby, kterou roboti provádí mnohokrát rychleji a přesněji než člověk, ale jde i o snahu o zavedení robotiky ve sféře služeb, např. autonomní auta nebo doručování zásilek pomocí dronů.

Již v dnešní době existují roboti s markantními rozdíly, kteří na první pohled mají hlavně rozdílný způsob pohybu, díky čemuž se liší i způsob použití.

Roboti na kolech mají velkou výhodu na rovném povrchu díky vysoké dosažitelné rychlosti, oproti tomu roboti na čtyřech a více nohách mají výhodu při pohybu v různorodém terénu, ale nebývají tak rychlí.

Dvounozí kráčející roboti nejsou ani rychlí, ani moc stabilní, avšak jejich hlavní a nezanedbatelnou výhodou je jejich podobnost člověku, díky čemuž se s postupně vyvíjejícími technologiemi stanou hlavními zástupci mezi roboty v poskytování služeb člověku.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Tato část rozebírá výběr a popis možných součástí pro konstrukci robota, podrobněji součásti vybrané pro finální realizaci. Dále jsou zde popsány problémy, které by mohly v daném řešení nastat.

1.1 Senzory

Senzory jsou jedny z hlavních částí robota. Bez nich by robot neměl žádné ponětí o svém okolí a mohl by dobře pracovat jen v úzce ohraničeném a známém prostředí (např. podávání produktů o přesně určeném tvaru a pozici na posuvný pás). V tom případě by ale byl vyvinut specializovaný robot na tuto jednu činnost.

Jak už bylo v úvodu zmíněno, hlavní funkci kterou budou mít dvounozí kráčiví roboti, bude více poskytování služeb lidem s měnícími se požadavky, než provádění specializovaných úkolů. Proto budou dvounozí roboti potřebovat velkou škálu senzorů. Okolí plné lidí je totiž velmi těžce předvídatelné. [1], [2]

1.1.1 Váhové senzory

Váhové senzory byly první věcí, která byla na robotovi řešena a jsou stěžejní částí této práce. Při interakci s okolím je pro robota jednou z nejpodstatnějších věcí dobře reagovat na změnu povrchu, ať už sklonu nebo rovnosti, tak je pro něj stejně důležité správně reagovat na změnu okolí (např. náhlý výskyt překážky a následný náraz).

To je ve většině případů řešeno použitím gyroskopů a akcelerometrů pro snímání aktuální polohy části, ve které jsou umístěny. Použití pár takových zařízení se může zdát efektivní a kompaktní, avšak řešení udržování rovnováhy a nerovnosti povrchu se stává naopak složitějším.

Proto bylo vybráno řešení problému s udržením rovnováhy stejně tak, jak ji řeší člověk, a to vyvažováním těžiště na základě váhového rozložení na spodku nohy. Byl zvolen nejjednodušší způsob rozložení váhových senzorů ve formě „trojnožky“ (viz. Obr. 1.2) - dva váhové senzory vzadu a jeden vepředu. Součtem jejich vah lze určit, která noha je více zatížená, a při stožení na jedné noze lze spočítat odchylku těžiště od středu pomocí [3]

$$\bar{x} = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3}{m_1 + m_2 + m_3} \quad (1.1)$$

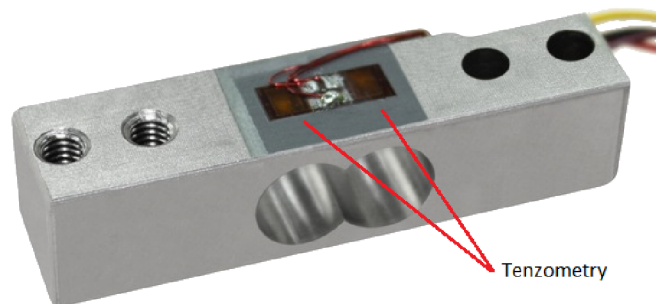
$$\bar{y} = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3}{m_1 + m_2 + m_3} \quad (1.2)$$

kde

\bar{x}, \bar{y} jsou posuny v ose x, resp. ose y od středu těžiště,
 m_1, m_2, m_3 jsou hmotnosti naměřené na jednotlivých senzorech,
 $x[y]_1, x[y]_2, x[y]_3$ jsou vzdálenosti senzorů od středu těžiště.

Při výběru jaké váhové senzory použít bylo pouze pár možností. První možností bylo použít FSR (Force sensitive resistor), který byl patentován již v roce 1977 Franklinem Eventoffem. Skládá se z aktivní části a flexibilní vrstvy obsahující jak vodivé, tak nevodivé částice. Při tlaku na senzor se částice začínají dotýkat aktivní části a tím mění rezistivitu celé soustavy. [4]

Výhodou FSR je malá tloušťka (0,5 mm), dobrá nárazová odolnost a cena přibližně stejná, jako u běžně používaných váhových senzorů. Nevýhodou je poměrně velká nepřesnost a nelinearita. Kvůli tomu se jeví jako lepší možnost použít váhové senzory, používané např. v kuchyňských vahách (Load Cell).

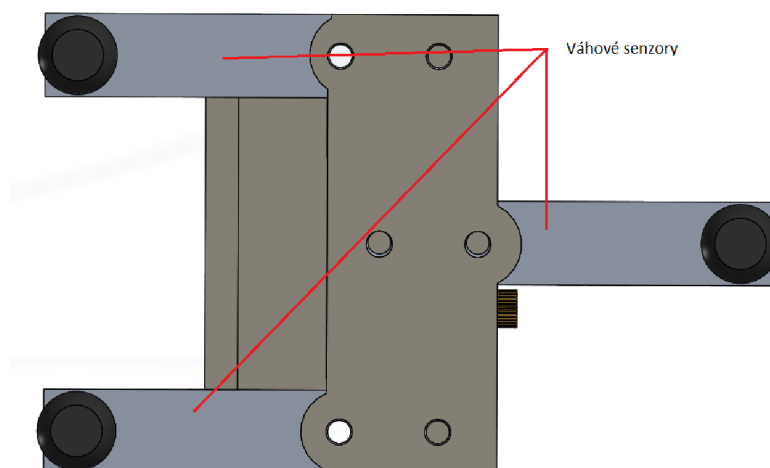


Obr. 1.1: Zpracování váhového senzoru [5]

Jak je na Obr. ?? vidět, jedná se většinou o 4 tenzometry nalepené ze dvou protilehlých stran na materiál určeného tvaru. V tomto případě se tedy jedná o kvádr z hliníkové slitiny s otvorem v místě ohybu. Tenzometry jsou zapojeny můstkově (Full bridge), přičemž při ohybu materiálu, tedy roztažení nebo smrsknutí tenzometrů dochází ke změně hodnoty odporu jednotlivých rezistorů, tedy k rozdílu potenciálů v měřených bodech.

Změna odporu, resp. napětí, je ovšem velmi malá (v řádu milivoltů), signál je tedy třeba patřičně zesílit.

Nevýhodou těchto váhových senzorů je jejich větší rozměr. Taktéž se nesmí přetížít nad definovanou hodnotu, jinak může dojít k permanentní deformaci. Výhodou je naopak poměrně velká přesnost, a to hlavně při opakovaném čtení hodnoty a postupné aproximaci.

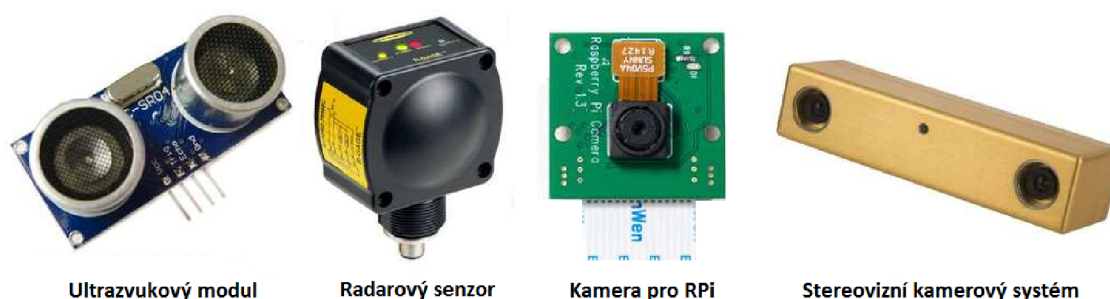


Obr. 1.2: Dosavadní řešení váňových senzorů na spodku nohy

1.1.2 Senzor vzdálenosti

Robot by dále měl mít alespoň základní představu, co se nachází před ním nebo lépe v jeho okolí. Díky tomu může své akce lépe dopředu plánovat a vyhnout se tak případnému řešení kolize s okolím. Proto už v dnešní době existují pokročilé způsoby rozpoznávání okolí robota, jako například rekonstrukce objektů pomocí dvou a více kamer, díky čemuž robot získává představu o rozměrech, včetně hloubky a vzdálenosti objektu. Tento způsob řešení vyžaduje již složitější algoritmy a poměrně výkonnou výpočetní jednotku. Toto řešení je z důvodu časové náročnosti celkové implementace v případě této práce ne příliš dobře proveditelné.

Robot dále může zaznamenávat pohyb v jeho okolí bez znalosti o rozměrech objektu pomocí infračerveného záření, ultrazvuku, nebo mikrovlnné/radarové techniky. Pro specifické případy blízké detekce objektu lze použít mimo již zmíněné, kapacitní, fotoelektrické a magnetické senzory.



Obr. 1.3: Senzory pro určení vzdálenosti [6]

1.1.3 Akcelerometry

I když bude robot určovat polohu těžiště pomocí váhových senzorů, může dojít k chybám, proto je vhodné použít další typ senzoru, jako například akcelerometr.

Akcelerometry jsou obvody, které mají za úkol měřit zrychlení a náklon. Změna akcelerace je měřena v jedné ose a to v násobcích gravitačního zrychlení. Akcelerometry mají definovaný maximální měřený rozsah (např. $\pm 3 G$) a měří zrychlení elektromechanicky. Obsahují mikromechanický systém (např. senzory MEMS), který se deformuje, a tím se mění i hodnota na výstupu. To platí i pro vertikální směr, kde je k výsledné akceleraci vždy přičtena hodnota gravitačního zrychlení. [1]

1.2 Akční členy

Aktuátory, taktéž akční členy, převádí vstupní data na výsledný mechanický pohyb a jsou také prvkem, který určuje způsob pohybu robota. V robotice jsou aktuátory nejvíce zastoupeny různými druhy točivých motorů, které zajišťují rotační pohyb kloubů, nebo lineárními aktuátory, ať už poháněné elektricky, nebo pneumaticky ve formě pístů aj (viz Obr. 1.4).

Konstrukce aktuátorů tedy rozhoduje i o zdroji pohonu, čímž může být elektrická energie, stlačený vzduch nebo hydraulika. Z hlediska menších pohybujících se robotů je nejefektivnější použít elektrický pohon, hlavně díky kompaktnosti zdroje elektrické energie a jednoduchosti výměny a údržby motorů. Oproti hydraulickým a pneumatickým systémům ovšem neposkytují elektrické motory takovou sílu.

Co se tedy týče elektrického motoru jako pohonu, je jeho výstup často zpřevodován na požadovanou rychlost a kroutící moment. Použité motory můžou mít kontinuální rotaci nebo pohyb o určitý úhel (krokový motor). Výhodou stejnosměrných motorů je jejich rychlost, a tedy možnost použití pro pohon prvků nevyžadujících přesnou pozici, např. kol. Jejich nevýhodou je, že postrádají možnost zastavit a držet požadovanou pozici. [8]



Obr. 1.4: Příklady možných akčních členů

Krokové motory jsou v robotice používány velmi často, a to nejen z důvodu možnosti zastavit a držet požadovanou pozici, ale i kvůli vysoké přesnosti ještě

zvýšené při použití převodů. Toho je docíleno pohybem rotoru o přesný úhel daný pozicí statorových vinutí, kdy je napětí přivedeno vždy do dvojice protilehlých pólů (využití například u 3D tisku, kde je výsledný pohyb přesný na desetinu milimetru). Mají většinou 50 až 100 pólů. Další možností je použití servo motoru (viz. Obr. 1.5). [9]

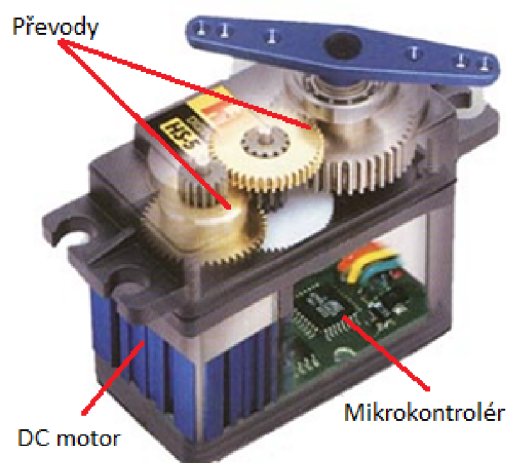
1.2.1 Servo motor

Servo motor se skládá ze stejnosměrného motoru, na který je napojený poměrně velký převod, takže s několika otáčkami stejnosměrného motoru se výsledná hřídel servo motoru otočí pouze nepatrně. Servo motor dále obsahuje potenciometr připojený na výstupní hřídel a řídicí mikrokontrolér.

Hobby servo motor má výhodu oproti krokovému motoru v rychlosti otáčení a pro tuto aplikaci je taktéž vhodnější kvůli tomu, že je běžně dostupný v menších velikostech s dostatečným kroutícím momentem.

Protože je napájení připojeno i na vnitřní mikrokontrolér, nelze měnit polaritu vstupního napětí za účelem změny směru točení. Otočení na určitou pozici je dosaženo zasláním pulzního signálu o frekvenci 50 Hz s danou šířkou pulzu. U většiny hobby servo motorů se jedná o šířku od 1 do 2 ms, přičemž 1,5 ms značí natočení do poloviny maximálního možného otočení. Při otáčení hlavní hřídele se zároveň otáčí potenciometrem, který slouží jako zpětná kontrola, že už bylo dosaženo správné pozice. Přesto i s touto zpětnou vazbou servo motor nedosahuje přesnosti krokových motorů. [9]

Hlavními parametry při výběru servo motorů je jejich kroutící moment, maximální úhel natočení, velikost a často neuváděný parametr odebíraného proudu při běžné zátěži a při zastavení.



Obr. 1.5: Složení hobby servo motoru [10]

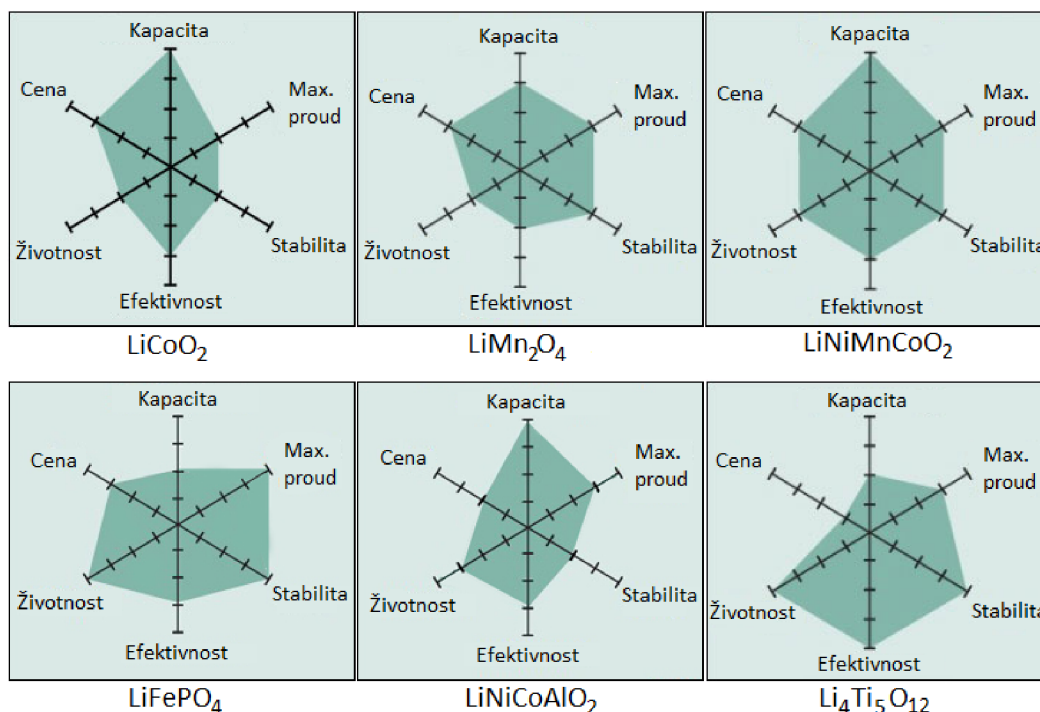
1.3 Napájení

Po výběru aktuátorů, senzorů a řídicí logiky je třeba vybrat, čím bude robot napájen. Protože byly jako pohon vybrané elektrické motory, bude potřeba dostatečně výkonný zdroj elektrické energie. Dále je potřeba zajistit potřebné napájecí napětí pro servo motorky, senzory a řídicí logiku. Až na mikrokontroléry, které potřebují pro komunikaci napájení 3,3 V, je vše ostatní možné napájet 5 V. Nakonec, protože se jedná o pohyblivého robota, bude potřeba napájení bateriové.

1.3.1 Baterie

Při výběru baterií je nutné se dívat hlavně na dva parametry, a to kapacita v mAh a maximální vybíjecí proud udávaný v násobcích C (C - celková kapacita baterie). V tomto případě jsou požadavky na co nejvyšší kapacitu, nárazový proud a velikost, kde jedinou možností je použití lithiové baterie. Všechny ostatní typy baterií vyráběné v dnešní době mají buď vysoký vybíjecí proud, ale malou kapacitu (NiCd, NiMH), nebo jsou moc objemné (olověné akumulátory). [11]

Existuje ovšem více typů lithiových baterií (např. LiCoO_2 , LiMn_2O_4 , LiFePO_4 viz Obr. 1.6), které se liší kapacitou, dobou života, vybíjecím proudem a stabilitou. Většina je definována jako plně nabitá při napětí 4,2 V.



Obr. 1.6: Vlastnosti různých typů lithium-iontových baterií [12]

Jedny z nejvíce rozšířených Lithium-Iontových baterií jsou Li-Cobaltové baterie, díky jejich vysoké kapacitě až 3000 mAh na jednu baterii. Používají se zejména v bateriích notebooků a telefonů. Jejich nevýhoda je ovšem z grafů výše zjevná, a tou je zejména nízká teplotní stabilita a nízká proudová zatížitelnost (doporučuje se kolem 1 C). Je důrazně doporučováno používat ochranné obvody předcházející zkratu a příliš velkému vybití.

Tento typ začínají nahrazovat Li-Mangan-Niklové baterie, které jsou stabilnější, vydrží více nabíjecích cyklů a některé typy je možné zatížit proudem až 2 C.

Mezi nejstabilnější lithiové baterie patří Li-Titanové, které vydrží až 7000 nabíjecích cyklů. Je z nich možné odebírat proud 10 C nepřetržitě a až 30 C v 5 sekundových pulsech. Nicméně jejich kapacita bývá až 3x menší než u ostatních lithiových baterií. [12]

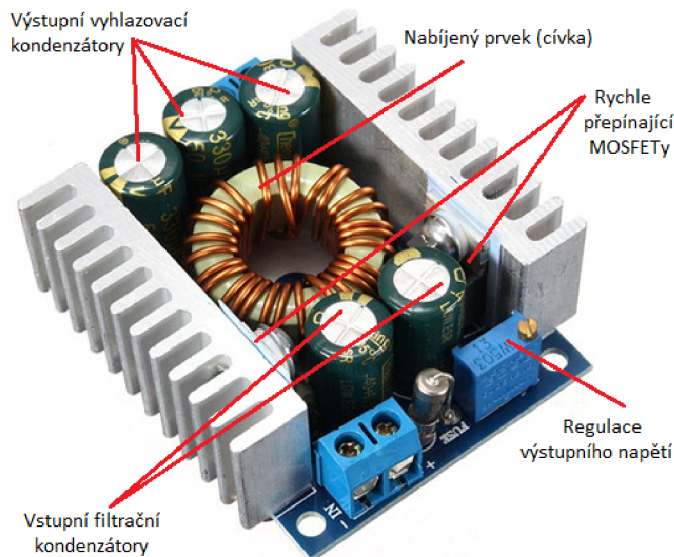
1.3.2 Měníče napětí

Baterie jsou měkkým zdrojem a poskytují proměnné napětí podle velikosti zátěže a úrovně vybití, navíc neposkytují dostatečné napájecí napětí pro tuto aplikaci. Je potřeba účinně transformovat a stabilizovat napětí na 5 V.

Protože je potřeba transformovat napětí s co největší účinností a s požadavkem na poměrně velký protékající proud, není možné použít jednoduché avšak nevelice efektivní lineární stabilizátory (účinnost kolem 40 %). Taktéž není možné použít těžké a objemné transformátory. Pro bateriově napájené aplikace proto ještě existují DC-DC měniče napětí s účinností kolem 90 %.

DC-DC měniče mohou vstupní napětí zvyšovat (boost converter), snižovat (buck converter) a kombinaci obou. Pro tuto konkrétní aplikaci bude nejlepší použít buck converter, tedy snižovat napětí, z důvodu jednoduchého sériového propojení baterií. [13]

Buck converter (viz. Obr. 1.6) funguje na principu podobném spínanému zdroji napětí. Obvod obsahuje přepínací prvky (MOSFETy), které pracují na frekvenci ve stovkách kHz. V obvodu je taky nabíjecí prvek, v tomto případě cívka, která udržuje proud, i v případě rozepnutého tranzistoru. Poměr času kdy je spínací tranzistor zapnutý a kdy vypnutý určuje velikost výstupního napětí.



Obr. 1.7: Ukázka možného řešení DC-DC měniče napětí

1.4 Řídicí logika

Další velkou kapitolou je řízení robota. To jak bude robot řízen závisí nejen na vybrané výpočetní jednotce, ale také na všech ostatních součástech. Pokud byly vybrány komponenty komunikující přes sběrnici SPI, řídicí jednotka ho musí podporovat, pokud budeme chtít účinně ovládat servo motorky, budeme potřebovat PWM výstupy atd.

Kvůli množství požadavků se těžko najde již vyráběný obvod, který by tyto požadavky splňoval. Pro tyto případy se může navrhnout celá řídicí deska s kombinací různých modulů, nebo se mohou vyrobit speciální integrované obvody pouze pro tuto aplikaci (ASIC).

Obě tyto možnosti jsou celkem nákladné na návrh a výrobu. Proto je v tomto případě nejefektivnější sestavit řídicí jednotku z více již vyráběných modulů, komunikujících mezi sebou. Zařízení pak bude rozměrnější a díky nepoužitým funkcím nebude tak efektivní, avšak bude mnohem snadnější navrhnout a sestavit.

Sestava by tedy měla obsahovat hlavní řídicí jednotku, pro kterou jsou hlavními požadavky, rychlost, druhy a počet výstupů, jednoduchost programování a spotřeba. Dále pak podřízené jednotky obsluhující motory, které můžou být jednodušší avšak více specializované pro danou funkci.

Po vybrání řídicích jednotek je nutné ustanovit protokol, díky kterému budou jednotky mezi sebou komunikovat.

1.4.1 Komunikace

Komunikace je nejčastěji rozdělována na drátovou a bezdrátovou. Drátová pak na sériovou a paralelní komunikaci, kde každá z možností má své klady a zápory. Bezdrátová komunikace je v robotice vhodná na větší vzdálenost a v případě pohybujících se robotů prakticky nutná pro spojení uživatele s řídicí jednotkou robota.

Drátová komunikace se naopak využívá na krátké vzdálenosti, zejména pak při komunikaci mezi jednotlivými moduly z důvodu jednoduchého rozhraní, většinou bez nutnosti přidání dalších komponentů. Co se týče použití sériové oproti paralelní komunikaci, paralelní komunikace je až do určitých rychlostí podstatně rychlejší v přenášení dat. Avšak hůře se implementuje a používá mnohem více vodičů než komunikace sériová. Sériová komunikace má navíc větší podporu na většině mikrokontrolérů a modulů. Pro sériovou komunikaci existuje škála již ustanovených komunikačních protokolů. [16]

Protokol UART - je jedním z nejstarších sériových komunikačních protokolů. Používá jednu linku pro odesílání dat (často značenou TX) a jednu pro příjem dat (často značenou RX). Protokol není přesně definován, většinou se ale posílají 8-bitová data s jedním start bitem a jedním stop bitem. Napětí záleží na výstupu mikrokontroléru. Problémem protokolu UART je časování, jelikož se jedná o asynchronní protokol. [16]

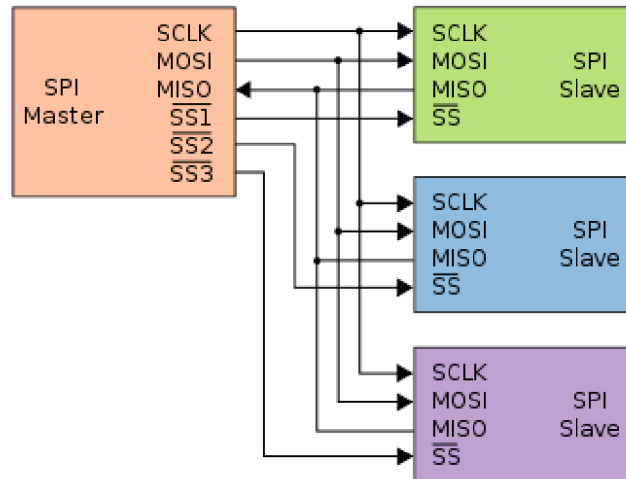
Protokol RS232 - je velmi častou nadstavbou protokolu UART. Tento protokol již definuje napěťové hodnoty pro log. 1 (+12 V) a pro log. 0 (-12 V). Díky vyššímu napětí je možné použít protokol RS232 na mnohem delší vzdálenosti než u ostatních protokolů. Nevýhodou je většinou potřebná konverze napětí, protože většina mikrokontrolérů má na výstupních pinech definováno napětí 3,3 nebo 5 V.

Protokol I²C - Je synchronní sériový protokol používající pouze 2 linky pro komunikaci - datovou linku a linku s hodinovým signálem. Jedná se o sběrnici původně určenou pro komunikaci mezi integrovanými obvody. Není tedy navržena na delší vzdálenosti, přesto je jí možné na nižších rychlostech vyvést ze základní desky na vzdálenost limitovanou parazitní kapacitou vodičů. [17]

S každým hodinovým signálem se mění stav datové linky. Data se přenáší po 8 bitech se startovacím bitem aktivním v log. 0 a s potvrzovacím a stop bitem aktivním v log. 1. Konvenčně se používají dvě rychlosti přenosu, a to 100 kHz a 400 kHz. Pro komunikaci s připojenými zařízeními je třeba ještě posílat unikátní adresu daného zařízení.

protokol SPI - neboli serial-peripheral-interface, je protokol používaný, podobně jako protokol I²C, pro komunikaci mezi mikroprocesory. Místo dvou vodičů pro přenos

používá čtyři - dva datové vodiče, jeden na odesílání dat a jeden na příjem dat (MOSI/MISO), dále vodič na hodinový signál a tzv. slave select (značený chip select u některých výrobců) pro výběr obvodu, kterému bude master zasílat data. Z toho vyplývá, že počet vodičů slave select musí být stejný jako počet slave zařízení připojených na sběrnici (viz. Obr. 1.8). [18]



Obr. 1.8: Ukázka propojení čtyř zařízení k pomocí SPI

Oproti protokolu I²C se dá říct, že protokol SPI pracuje v plně duplexním režimu, protože s každým hodinovým signálem se data posílají v obou směrech. Pokud je tedy třeba posílat data v obou směrech zároveň, je výhodnější použít SPI.

1.5 Materiály

Mechanické části robota se budou skládat převážně z dílů vytisknutých na 3D tiskárně. U některých částí budou použity hliníkové díly z důvodu velké zátěže, kterou by plastové díly z 3D tiskárny nemusely vydržet.

Se zvyšující se dostupností 3D tisku pro koncové uživatele a rostoucí poptávkou se rychle vyvíjejí i možnosti tisknutelných materiálů a jejich modifikace. [19]

Materiál PLA - Jedním z nejpoužívanějších materiálů pro 3D tisk je stále PLA. Jedná se o organický materiál, jehož hlavními přednostmi jsou jednoduchost tisku, dobrá pevnost v tahu a malá smršťivost při chladnutí. Nevýhodou může být nižší teplota tavení nebo horší odolnost proti lámání. Pro PLA existuje mnoho modifikací, které mají většinou za úkol zlepšit jednu z vlastností materiálu - například PLA-D zlepšující tvrdost materiálu.

Materiál ABS - Je dalším z velmi používaných materiálů pro 3D tisk. Oproti materiálu PLA je ABS mechanicky odolnější a má větší teplotu tavení a skelného přechodu. Výhodou také může být jeho rozpustnost v acetonu, díky čemuž lze materiál po tisku vyhladit v acetonových parách. Tento materiál je ovšem obtížné tisknout, a to hlavně objemnější části z důvodu, že se materiál při chlazení smrskává a krouť. Poté může docházet k delaminaci vrstev nebo k neúspěšnému tisku z důvodu odlepení od tiskové podložky. Tento problém se dá částečně řešit uzavřením 3D tiskárny do vyhřívané komory. Páry, které unikají z materiálu při tisku, jsou pro člověka lehce škodlivé.

Materiál PETG - Jedná se o novější materiál, co se týče použití v 3D tisku, který je vyroben na bázi PET s přidaným glykolem během polymerizace. Tento materiál se jeví jako dobrý kompromis mezi PLA a ABS. Vlastnosti má totiž podobné materiálu ABS s tím rozdílem, že se tolik nekrouť a nezapáchá, navíc k sobě vrstvy velmi dobře přilhnají. S tímto materiálem tedy dochází k menšímu počtu problémů během tisku.

Dále existuje pro tisk nespočet materiálů, které většinou ale mají své specifické využití. Například nylon pro velmi pevné a odolné části nebo materiály s přídavnými částicemi kovů, které jdou po vytisknutí vyleštit za účelem dosažení kovového vzhledu. Rozšiřovat se začínají i další typy materiálů, jako jsou flexibilní materiály, na které je ovšem potřeba speciální tisková hlava.

2 NÁVRH ROBOTA

Tato část se zabývá vlastním návrhem a výrobou robota. Dále pak řešením problémů, které by mohly nastat.



Obr. 2.1: Renderovaný obrázek prvotního návrhu robota v SolidWorks

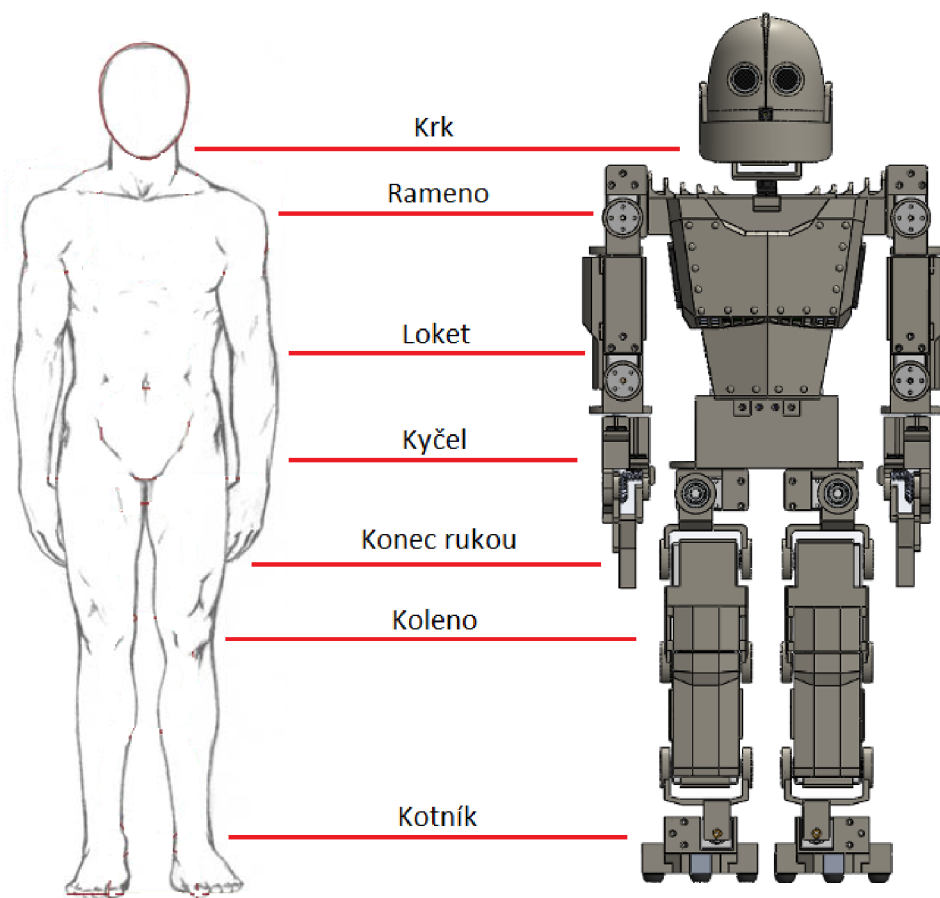
2.1 Mechanický návrh

Návrh, včetně sestavení částí dohromady, byl vytvořen v programu SolidWorks 2016 (viz. Obr. 2.1), přičemž zde byl sledován pohyb těžiště, možnosti pohybu a byly

zde měřeny výsledné páky na servo motorky. Jednotlivé části byly poté uloženy ve formátu .STL (rozloženy na soubor trojúhelníkových ploch), tedy připravené pro slicer (program generující kód pro pohyb motorů 3D tiskárny).

2.1.1 Fyzické propozice

Protože by měl robot vykonávat funkce podobné člověku, tak byl při návrhu robota kladen důraz na podobnost lidskému pohybovému aparátu (viz. Obr. 2.2). Taktéž byl brán ohled na polohu těžiště tak, aby se při zvednutí jedné nohy (započatí chůze), robot nemusel moc naklánět do stran pro udržení rovnováhy. Toho je z části dosaženo vychýlením kotníkového kloubu dovnitř, umístěním noh blízko sebe a polohou těžiště ve středu robota.



Obr. 2.2: Délka jednotlivých částí robota

Páky na hřídele jednotlivých servo motorků zatím nebyly přesně spočítány, ale z průběžných výpočtů během návrhu by měl robot být schopen vykonat většinu pohybů podobných člověku.

Velkou limitací pohybových možností je obtížnost realizace kloubů. Problém nejčastěji nastává při konstrukci kloubů s větším množstvím DOF (Degree of freedom).

Stává se tak tehdy, když je potřeba vytvořit kloub pohybující se ve dvou a více směrech. Servo motorky se poté musí zapojit kaskádově za sebou a pohyb neprobíhá z jednoho bodu.

Robot má 3 DOF v nejpodstatnějších kloubech, a to v ramenou a kyčlích, aby byl robot schopen otáčet se bez problémů a pohybovat rukama s dostatečnou volností. [20]

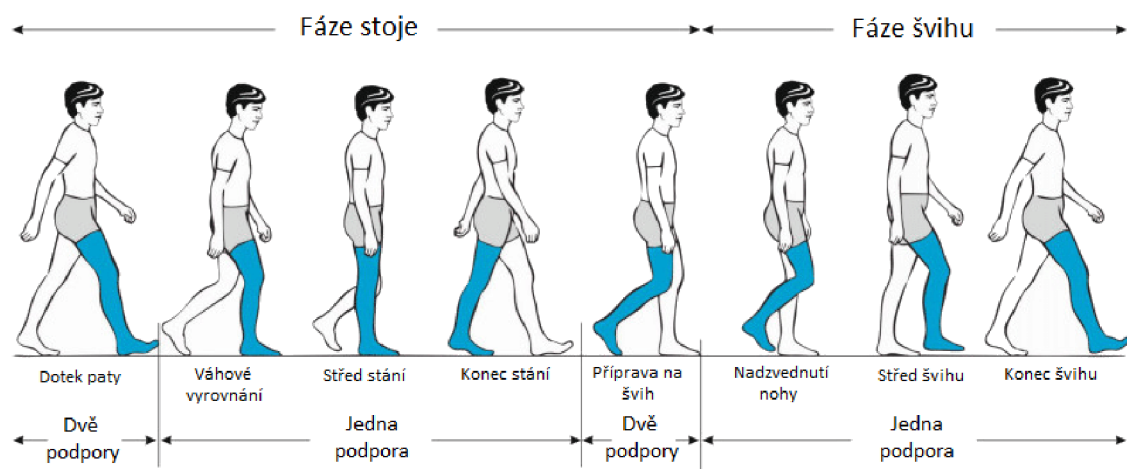
2.1.2 Použité materiály

Nejvýhodnější kombinací materiálů by bylo použít materiál PETG pro venkovní části, z důvodu že materiál PETG má větší tendenci k prohnutí než k prasknutí (delaminaci vrstev). Dále pak materiál ABS pro konstrukční díly držící větší váhu, u kterých požadujeme i při větší zátěži malou deformaci. U kritických částí, kde je požadovaná co nejvyšší přesnost a co nejmenší vůle, je z důvodu velikosti a hmotnosti robota nejlepší použít hliníkových profilů. Těmito částmi jsou zejména dolní končetiny, kde např. pohyb v kotníkovém kloubu o pár stupňů způsobí posun těžiště o několik centimetrů.

Z důvodu špatné dostupnosti možnosti tisknout v uzavřené vyhřívané komoře, která je pro tisk větších dílů z materiálu ABS potřeba, budou všechny díly vytisknuty z materiálu PETG.

2.1.3 Pohyb

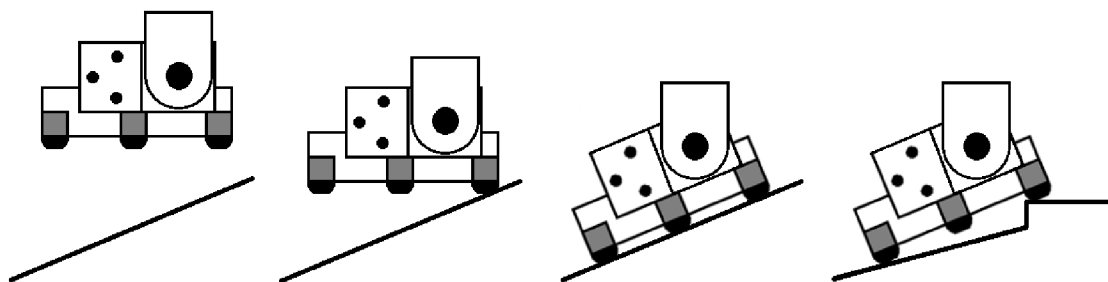
Chůze vpřed je jednou z nejzákladnějších soustav pohybů, kterou může robot vykonávat. Jak lze z Obr. 2.3 vidět, chůze se dá rozložit na několik fází. Při zaměření na jednu nohu z důvodu symetrie pohybu vpřed, je vidět, že se pohyb skládá z fáze, kdy se noha dotýká země, a z fáze přesunu pozice chodidla.



Obr. 2.3: Rozdělení chůze na jednotlivé fáze [21]

Dále je možno si povšimnout, že v průběhu periodicky se opakujícího pohybu vpřed je z velké části udržována rovnováha pouze na jedné noze.

Váhové senzory budou mít v každé z fází jinou funkci. Ve fázi stoje budou určovat váhové rozložení na spodku nohy, tedy určovat polohu těžiště (například pokud se robot dostane na hranici udržení rovnováhy). Ve fázi švihů, při pokládání nohy, budou detekovat náklon a nerovnosti povrchu.



Obr. 2.4: Došlápnutí na nerovný povrch

Jak lze z Obr. 2.4 vidět, při pokládání nohy robotovi prvně přijde signál z jednoho váhového senzoru, přičemž začne natáčet plochu nohy do té doby, dokud nezíská váhový údaj z dalšího senzoru.

Nerovnosti povrchu jsou tímto způsobem taktéž řešitelné, nicméně je potřeba po doteku jednoho z váhových senzorů zastavit pohyb vpřed do té doby, dokud robot nezíská váhový údaj ze všech senzorů.

2.2 Návrh elektroniky

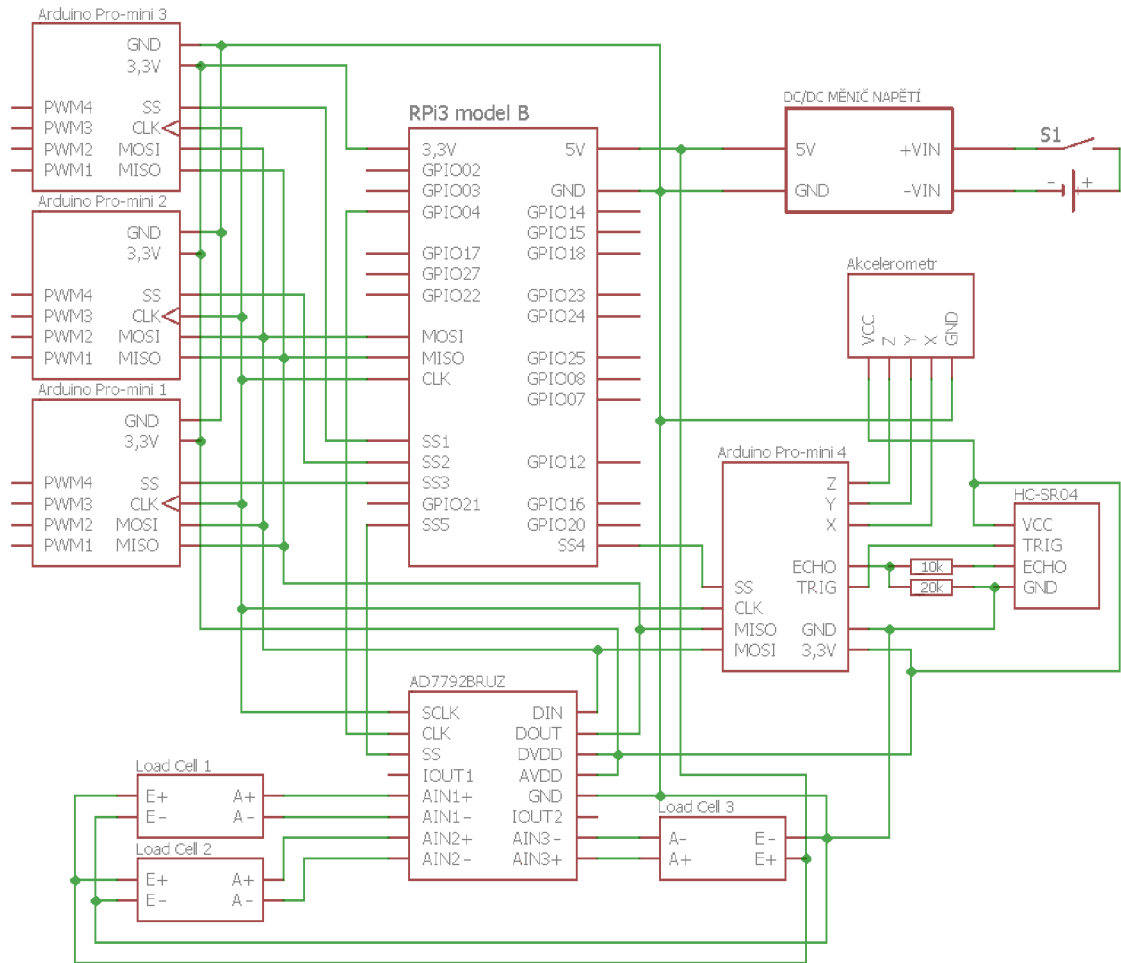
Zapojení jednotlivých komponent lze vidět z Obr. 2.5 níže. Více než o finální realizaci se jedná pouze o abstraktní propojení součástí pro lepší pochopení funkce obvodu.

Ze schématu lze vidět, že všechny komponenty přijímací řídicí signály od hlavní jednotky (RPi) komunikují pomocí společné sériové sběrnice SPI s tím, že každé zařízení slave má přiřazený vodič pro signalizaci aktivní komunikace.

Všechna elektronika, včetně aktuátorů, bude napájena osmi Li-iontovými bateriemi, jejichž napětí bude stabilizováno na 5 V. Napětí potřebné pro komunikaci mezi komponenty, tedy 3,3 V, bude zajištěno integrovaným měničem napětí na desce Raspberry Pi.

Při konstrukci a zapojování komponent je potřeba dbát na vlastnosti vodičů - průřez z důvodu velkého možného nárazového proudu při rychlých změnách pohybu více servo motorů. Dále pak na délku vodičů určených pro přenášení informací při vyšších frekvencích. Díky rostoucím parazitním kapacitám by se poté při frekvencích

nad 100 kHz nemuselo dosáhnout požadovaných napětových úrovní a správného časování.



Obr. 2.5: Zjednodušené schéma zapojení jednotlivých komponent

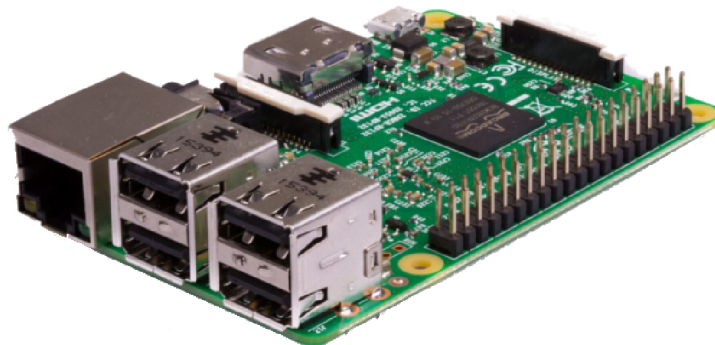
2.2.1 Raspberry Pi

Jako hlavní modul řídicí jednotky byl tedy zvolen mikropočítač Raspberry Pi. Tato jednotka má za úkol řídit a sbírat data z ostatních modulů, funguje tedy jako zařízení master. Výhodou tohoto řešení je rychlost procesoru v GHz, podpora mnoha komunikačních protokolů SPI, I²C, UART a další, integrovaný bezdrátový modul (od verze RPi 3 modelu B) a přítomnost operačního systému, který zaručuje pohodlné programování a řízení mikroprocesoru.

Mezi další možné varianty bylo možné zahrnout podobné mikropočítače (Orange Pi, Banana Pi a mnoho dalších klonů), které se moc neliší, jsou pouze hůře dokumentované.

Specifikace:

- Procesor Quad-core 1.2 GHz Broadcom BCM2837,
- RAM: 1 GB,
- wi-fi: integrovaný bezdrátový modul BCM43438,
- vstupy/výstupy: 40-pinový header,
- 4 USB 2 porty,
- CSI port pro dedikovanou RPi kameru,
- microSD slot pro kartu s operačním systémem.



Obr. 2.6: Raspberry Pi 3 model B [14]

Jelikož je na mikroprocesoru spuštěn operační systém, tak není možné pracovat s výstupními piny v reálném čase. Procesoru totiž přichází vnitřní přerušení, které nehledě na jejich krátkou dobu, musí být obslouženy. Proto je přímé řízení servo motorů pomocí PWM signálů nevhodné. Pro tyto účely tedy slouží další výpočetní jednotky přijímající řídicí příkazy a pracující v režimu slave.

Na Raspberry Pi je dále možné nainstalovat velké množství operačních systémů, zejména s jádrem Linuxu, díky čemuž je možné provádět mnoho modifikací systému pro konkrétní potřeby uživatele. [14]

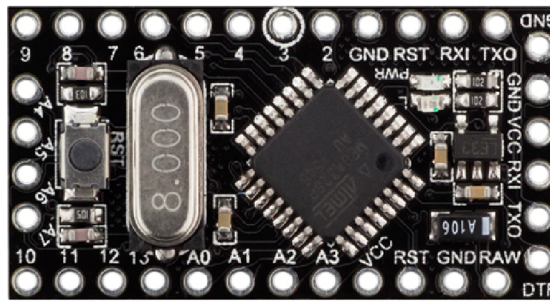
2.2.2 Arduino

Při volbě zařízení pracujících v režimu slave, je nutné brát v potaz parametry již vybraných součástí. Jelikož to budou koncové jednotky, komunikující se servo motorky, budou potřebovat PWM výstupy. Dále pak musí být schopné komunikace s master zařízením, to znamená napěťovou úroveň 3,3 V (platí pro Raspberry Pi) na výstupních pinech.

Těmto specifikacím odpovídá velké množství mikrokontrolérů (Atmega, PIC, STM). Nakonec byl vybrán velmi populární mikrokontrolér Atmega328P na platformě Arduino Pro-Mini (viz. Obr. 2.7), kvůli dobré dokumentaci, přehlednému vývojovému prostředí a zkušenostem s tímto mikrokontrolérem. [15]

Specifikace:

- Mikrokontrolér ATmega328P,
- pracovní napětí 3,3 V,
- frekvence oscilátoru 8 MHz,
- vstupy/výstupy: 16 digitálních pinů,
- 8 vstupních analogových pinů,
- 6 PWM pinů,
- podpora SPI, I2C a UART.



Obr. 2.7: Použité mikrokontroléry Arduino-Pro mini [22]

Jednotlivé mikrokontroléry mají potom za úkol řídit sadu jim přiřazených servo motorů (4 až 6) pomocí PWM, nebo přijímat a zpracovávat data z jim přiřazených senzorů (váhové senzory obsluhuje tří kanálový A/D převodník).

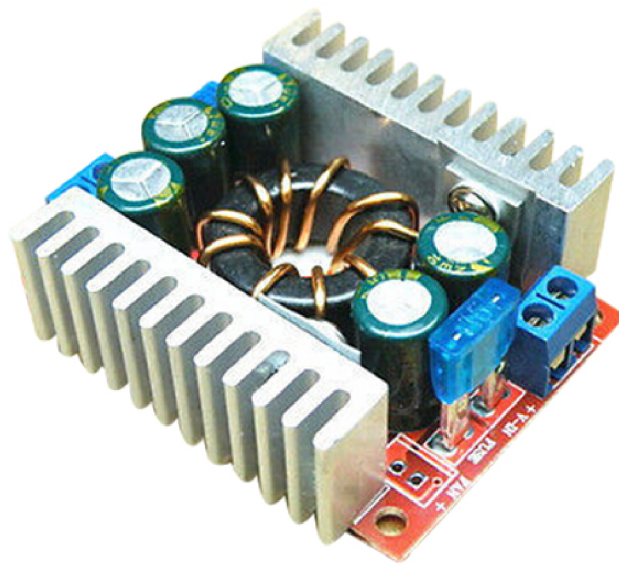
2.2.3 DC-DC měniče napětí

Jelikož se obvod skládá jak z výkonové části (servo motory), tak z řídicí logické části (RPI, arduino, senzory), je vhodné jednotlivé části napájet z oddělených napájecích zdrojů. V případě bateriového napájení tak alespoň částečného oddělení lze dosáhnout použitím více měničů napětí.

Dále je pak potřeba místo jednoho výkonového měniče napětí použít dva viz. Obr. 2.8, a to z důvodu velkého proudového odběru, který v teoretických špičkách, na velmi krátký okamžik, může dosáhnout i více než 30 A . Poté je i jednodušší dosáhnout symetrického rozložení komponent v mechanickém návrhu, jelikož jsou výkonové DC-DC měniče napětí jednou z rozměrnějších komponent v návrhu.

Specifikace:

- Vstupní napětí 4 V až 32 V (limit 36 V),
- výstupní napětí 1,2 V až 32 V,
- maximální výstupní proud 15 A (špičkově 20 A),
- teplotní ochrana snižující výstupní proud při přesažení 60 °C,
- vstupní pojistka 15 A,
- účinnost až 98 %,
- frekvence spínání 150 kHz.



Obr. 2.8: Výkonový DC-DC měnič napětí [23]

Pro napájení řídicí logiky postačí menší měnič s maximálním proudovým odběrem 3 A viz. Obr. 2.9. Další výhodou jinou než je oddělení napájení, je možnost v případě potřeby navýšit napětí servo motorů až na 6 V, čímž se dosáhne i většího točivého momentu.

Specifikace:

- Vstupní napětí 4,5 V až 24 V,
- výstupní napětí 0,8 V až 17 V,
- maximální výstupní proud 3 A,
- možnost nastavení pevného napětí,
- ochrana proti zkratu na výstupu,
- účinnost až 97,5 %,
- frekvence spínání 500 kHz.



Obr. 2.9: DC-DC měnič napětí 3 A [24]

2.2.4 Li-ion baterie 18650

Typ lithiových baterií byl vybrán NCR18650B viz. Obr. 2.10 kvůli jejich dostupnosti a z důvodu, že mají vysokou kapacitu v poměru k jejich relativně kompaktní velikosti. Dále byly tyto baterie vybrány, protože již obsahují ochrannou DPS, která chrání jak proti přepětí a zkratovému proudu, tak i proti přílišnému vybití.

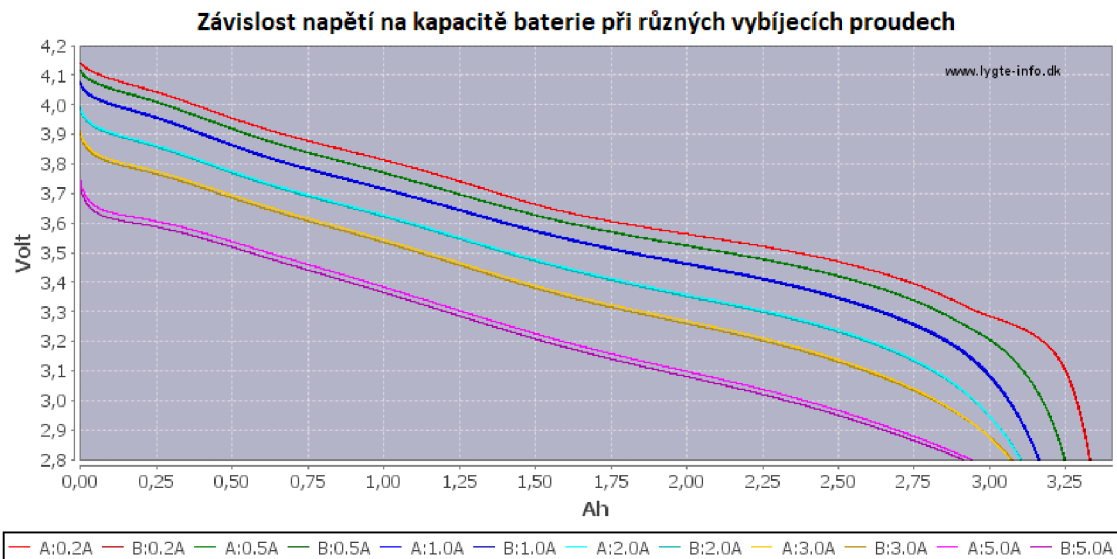
Specifikace:

- Kapacita 3350 mAh,
- nominální/maximální napětí 3,6 V/4,2 V,
- maximální nabíjecí proud 1,625 A,
- maximální kontinuální vybíjecí proud 4,875 A.



Obr. 2.10: Baterie NCR18650B s ukázkou ochranné DPS [25]

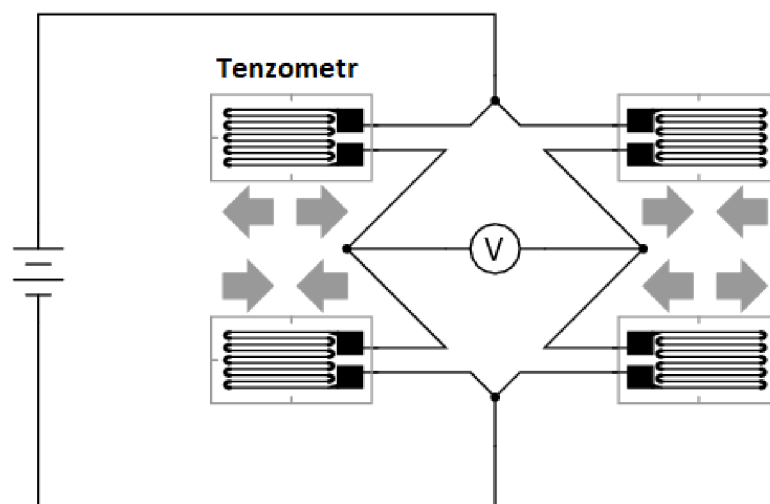
Baterie jsou poté spojeny po čtyřech do série, čímž se při plně nabitých bateriích dostane napětí 16,8 V a při plně vybitých napětí 12 V. Jak ale lze z grafu níže vidět, napětí taktéž záleží na velikosti vybíjecího proudu. Napětí bude tedy různé, pokud se budou měřit zatížené nebo nezatížené baterie.



Obr. 2.11: Ukázka vlivu vybíjecího proudu na velikost napětí baterie [26]

2.2.5 Váhové senzory a A/D převodník

Robot obsahuje celkem 6 váhových senzorů (na každou nohu 3), kde každý ze senzorů obsahuje 4 odporové tenzometrické snímače, zapojené do úplného vyváženého můstku viz. Obr. 2.12. U vybraných váhových senzorů se jedná o 1 k Ω tenzometry, jejichž odpor se mění v desetinách až jednotkách Ω .



Obr. 2.12: Zapojení tenzometrů ve váhovém senzoru [27]

Specifikace:

- Zatížitelnost max. 5 kg,
- doporučené pracovní napětí 3-12 V,

- normovaný výstup $1.0 \pm 0.15\text{mV} / \text{V}$,
- drift za 5 min 0.03 % plného rozsahu,
- maximální přetížení 150 %.

Senzory jsou napájeny 5 V z výstupu mikropočítače Raspberry Pi a jejich hodnota je převáděna A/D převodníkem AD7792BRUZ [28]. Jedná se o 3-kanálový, 16-bitový převodník analogového signálu.

Specifikace:

- Programovatelná rychlost převodu od 4,17 Hz až 470 Hz,
- 3 kanály pro převod,
- integrovaný zesilovač signálu se zesílením až 128,
- napájecí napětí 2,7 V až 5,25 V,
- možnost zapojení vnějšího referenčního napětí,
- 3-vodičová sériová komunikace.

Tento převodník je nastaven na nejvyšší rychlost převodu 470 Hz a zesílení 128 s interní napětovou referencí, čímž se sníží přesnost až na 12-13 bitů, což pořád dává přesnost s rozsahem 5 kg \pm 1 g.

Problém nastává, pokud by se po každém čtení přepínal kanál, jelikož se převodník znovu musí inicializovat a efektivní rychlost převodu se potom sníží k 80 Hz.

2.2.6 Ultrazvukový senzor vzdálenosti

V tomto případě byl použit modul připravený pro platformu arduino HC-SR04 (viz. Obr. 1.3) [7]

Modul má mimo napájecích pinů jeden vstup (Trig) a jeden výstup (Echo). Po přivedení log. 1 po dobu 10 μs modul vygeneruje 8 period ultrazvukového signálu o frekvenci 40 kHz. Jakmile se signál odrazí a vrátí se zpět do ultrazvukového modulu, tak bude na výstupním pinu nastaven signál do log. 1 po dobu trvání od vyslání ultrazvuku po čas jeho přijetí. Z této délky signálu pak lze spočítat vzdálenost objektu podle známe rovnice pro rychlost

$$v = \frac{s}{t} \tag{2.1}$$

kde

- v je konstantní rychlost zvuku (340 m/s)
- s je vzdálenost objektu od senzoru
- t je čas za který dorazil ultrazvuk od objektu k senzoru, proto je ještě nutné vydělit čas signálu Echo dvěma

Specifikace:

- napájecí napětí 5 V,
- maximální dosah 400 cm,
- minimální dosah 2 cm,
- rozlišení 0,3 cm,
- efektivní úhel 15 °.

2.2.7 Servo motory RDS3115

Tyto servo motory jsou použity jako aktuátory pro většinu kloubů robota. Byly vybrány na základě požadovaného točivého momentu, kvalitě zpracování (kovové převody), rozměrům a ceně, jelikož se jedná o nejdražší skupinu prvků v daném návrhu.



Obr. 2.13: Servo motor RDS3115 s uchycenými rameny [29]

Specifikace:

- Rozměry 40 * 20 * 40.5 mm,
- hmotnost 60 g,
- rychlost otáčení 60 ° za 0,16 s (při napájení 5 V),
- napájení 4,8 V až 6,8 V,
- točivý moment 15 kg/cm (při 5 V), 17kg/cm (při 6,8 V),
- maximální úhel natočení 180 °.

Další výhodou těchto servo motorů je plastový výstupek (protikus k hřídeli) viz. Obr. 2.13, který umožňuje pohybuující se rameno uchytit na obou stranách

servo motoru, čímž se lépe rozloží váha a předejde se tak z části nechtěným pákám na hřídel. Taktéž je výhodou dodání již s hliníkovými rameny, která se využijí v kritických částech končetin, kde je potřeba vysoká přesnost a malá vůle.

Servo motorů typu RDS3115 je v návrhu celkem 20. Klidový proud odebíraný jedním servo motorem bez zátěže je kolem 10 mA, při pohybu na prázdko 100 mA, avšak při rychlých změnách pohybu dochází k proudovým špičkám o velikosti až 2 A. Taktéž při zastavení motoru, před ukončením pohybu, motorem tečou 2 A, dokud se zátěž neuvolní.

2.2.8 Servo motory MG90S

Dalším použitým typem servo motorů jsou serva MG90S viz. Obr. 2.14. Jedná se o relativně malé servo, které je použito na části nevyžadující velký točivý moment.

Specifikace:

- Rozměry 22.8 * 12.2 * 28.5 mm,
- hmotnost 12 g,
- rychlost otáčení 60 ° za 0,11 s (při napájení 5 V),
- napájení 5 V,
- točivý moment 2 kg/cm (při 5 V),
- maximální úhel natočení 180 °.

V návrhu je jich použito celkem 6. Dva páry pro koncové části rukou a dva servo motory na flexi a rotaci hlavy robota. Oproti motorům RDS3115 mají zanedbatelný proudový odběr, který při plné zátěži nepřesáhne 0,5 A.

Avšak stejně jako u výkonnějších motorů je potřeba nesestávat příliš dlouhou dobu blízko maximální zátěže, z důvodu zahřívání motorů a zkracování jejich životnosti.



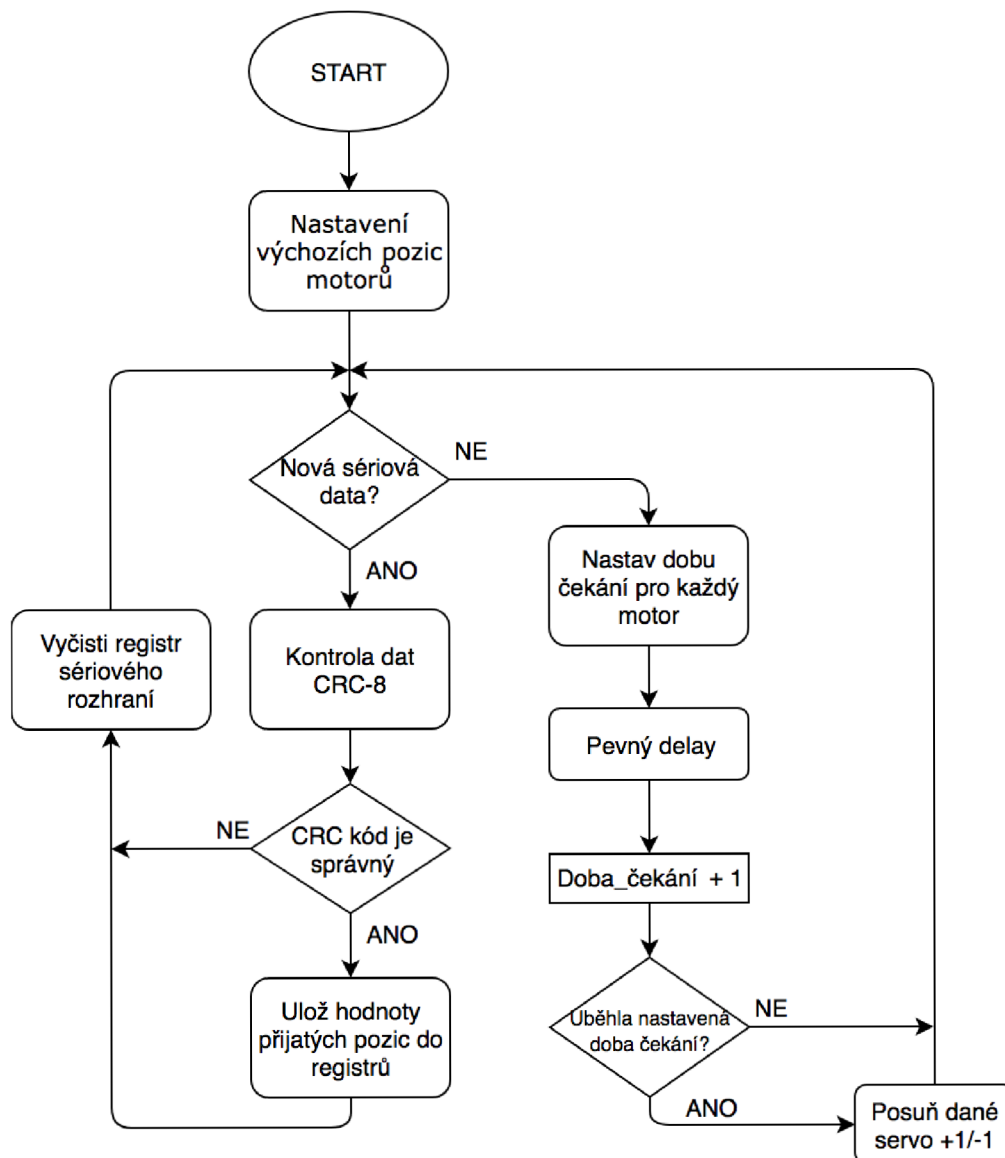
Obr. 2.14: Servo motor MG90S [30]

2.3 Návrh programové části

V této části je řešen zejména princip a realizace programové části jednotlivých bloků, které jsou zobrazeny pro lepší pochopení vývojovými diagramy.

2.3.1 Podřízené jednotky ovládající motory

Konkrétně se jedná o výše zmíněné mikrokontroléry Arduino (celkově čtyři), kde má každé za úkol přijímat data z nadřazené jednotky a vysílat pulsní signály jim přiřazeným motorům. Zjednodušený princip funkce lze vidět z vývojového diagramu viz. Obr. 2.15



Obr. 2.15: Vývojový diagram mikrokontrolérů řídících servo motory

Na počátku, při zapnutí mikrokontroléru, se přiřadí servo motorům výchozí hodnoty. Dále následuje nekonečná smyčka, která trvá pevně nastavenou dobu kolem 3 ms. V této smyčce je kontrolován registr sériové komunikace. Jakmile registr obsahuje 8 bytů, data byla všechna přijata, tak následuje kontrola jestli přišla všechna data v pořádku. To je z velké části zaručeno výpočtem kontrolního bytu na obou stranách (jak odesílatele tak příjemce) a jejich porovnání. Tento byte je počítán jako Fletcherův kontrolní součet (CRC-8), který je implementován pomocí náhledové tabulky.[31]

Pokud se obě hodnoty rovnají, tak s velkou pravděpodobností (přes 99 %) přišla správná data a ve správném pořadí. Zpráva obsahuje startovací byte určující příjemce zprávy, ostatní zprávu zahazují, dále pak 6 datových bytů, obsahujících hodnoty natočení jednotlivých servo motorů a nakonec kontrolní součet viz. Obr. 2.16. Hodnoty pozic se uloží do registru jako nové cílové hodnoty, kterých je potřeba dosáhnout.



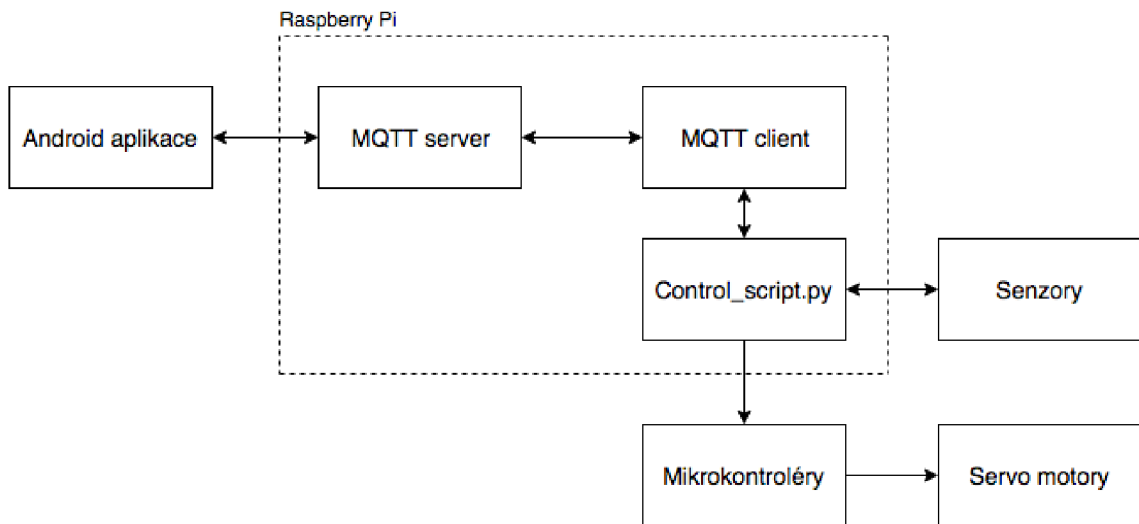
Obr. 2.16: Pořadí bytů ve zprávě zasílané mikrokontrolérům

Ke zmírnění rychlosti akcelerace jednotlivých motorů se počítá rozdíl aktuální a požadované pozice. Na základě tohoto údaje se nastaví doba čekání pro každý servomotor, tedy kolik pevně daných cyklů zpoždění musí uběhnout, než se motor posune o jednu pozici. Čím kratší dobu motor celkově čekal, tím déle bude trvat než se posune o jednu pozici. Totožně když se pozice motoru blíží k požadované pozici, doba čekání se bude zvyšovat. Tím se dosáhne pomalejší akcelerace na začátcích a koncích pohybu, robot má tedy v těchto momentech menší hybnost.

2.3.2 Řídicí jednotka

Jedná se o mikropočítač Raspberry Pi, jehož hlavním úkolem je odesílat a přijímat data z aplikace pro Android, zpracovávat data ze senzorů a koordinovat podřízené mikrokontroléry. Z Obr. 2.17 lze vidět realizaci komunikace mezi jednotlivými zařízeními.

Na mikropočítači Raspberry Pi budou spuštěny tři hlavní aplikace, a to MQTT server, MQTT klient a control_script.



Obr. 2.17: Blokové schéma propojení komponentů

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) je protokol, díky kterému je možné propojit více zařízení, které naslouchají jim předdefinovaným zprávám. K jeho realizaci je potřeba dvou klientů, mezi kterými bude komunikace probíhat, a zprostředkujícího serveru, který data směruje. Prvním klientem je aplikace na Android, která zasílá data zadaná uživatelem a naslouchá datům ze senzorů, které potom zobrazuje. Druhým klientem je Raspberry Pi, které naopak zasílá data ze senzorů a naslouchá datům zadaných uživatelem.[32]

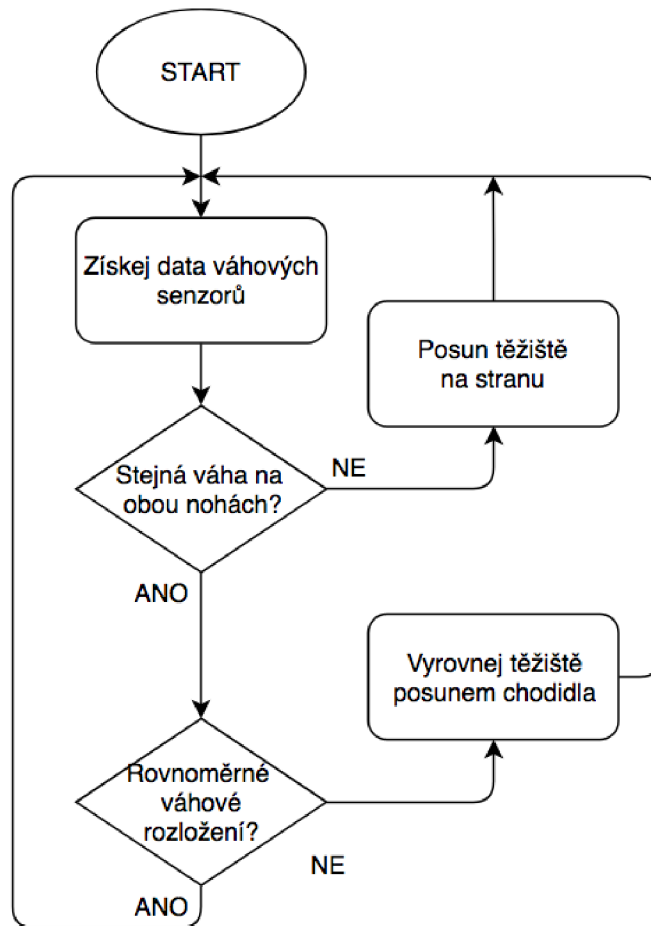
Na Raspberry Pi poté běží python script, který příchozí data rozebere na informace zasílané jednotlivým mikrokontrolérům a dekoduje data ze senzorů, které se převedou do formy odeslatelné prostřednictvím MQTT protokolu.

2.3.3 Řešení pohybu

Základní pohyb robota lze rozložit na dvě hlavní části a to pohyb nebo stání. V obou fázích je potřeba zajistit správné umístění těžiště a co nejlepší kontakt chodidla se zemí, k dosažení co nejvyšší stability.

Ve fázi stání je kladen důraz na to, aby měl robot stejnou zátěž na obou nohách. Toho je v principu dosaženo sečtením hodnot tří váhových senzorů a porovnáním s druhou nohou. Na základě tohoto údaje lze posunout servomotory tvořící kyčle a kotníky obou noh pro dosažení optimálního váhového rozložení.

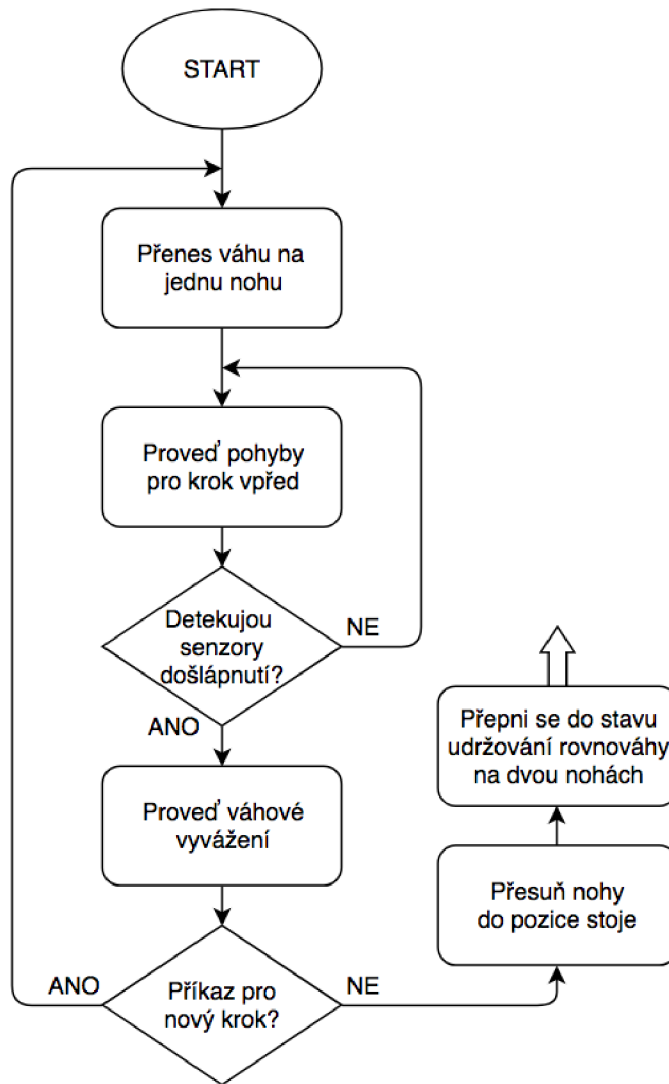
Robot ovšem může mít těžiště posunutě směrem dopředu nebo dozadu a taktéž může stát na nakloněném nebo nerovném povrchu. V tomto případě je ideální stejné váhové rozložení na všech váhových senzorech. Pokud bude tato podmínka splněna, robot bude v daný okamžik v nejstabilnější možné pozici viz. Obr. 2.18.



Obr. 2.18: Vývojový diagram pohybu při stání

Při chůzi se situace ještě navíc komplikuje, jak je možné z Obr. 2.3 vidět, při chůzi se střídají dvě fáze, kdy většinu času má robot podporu pouze jedné nohy.

Z tohoto důvodu je potřeba zajistit jak rovnoměrné rozložení váhy na podpůrné noze, tak při došlápnutí (změně podpůrné nohy) kontrolovat váhové senzory pro případ nerovnosti nebo nakloněného povrchu. Teprve po zajištění správného rozložení váhy, je možné plně přesunout váhu na opačnou nohu.



Obr. 2.19: Vývojový diagram pohybu při chůzi vpřed

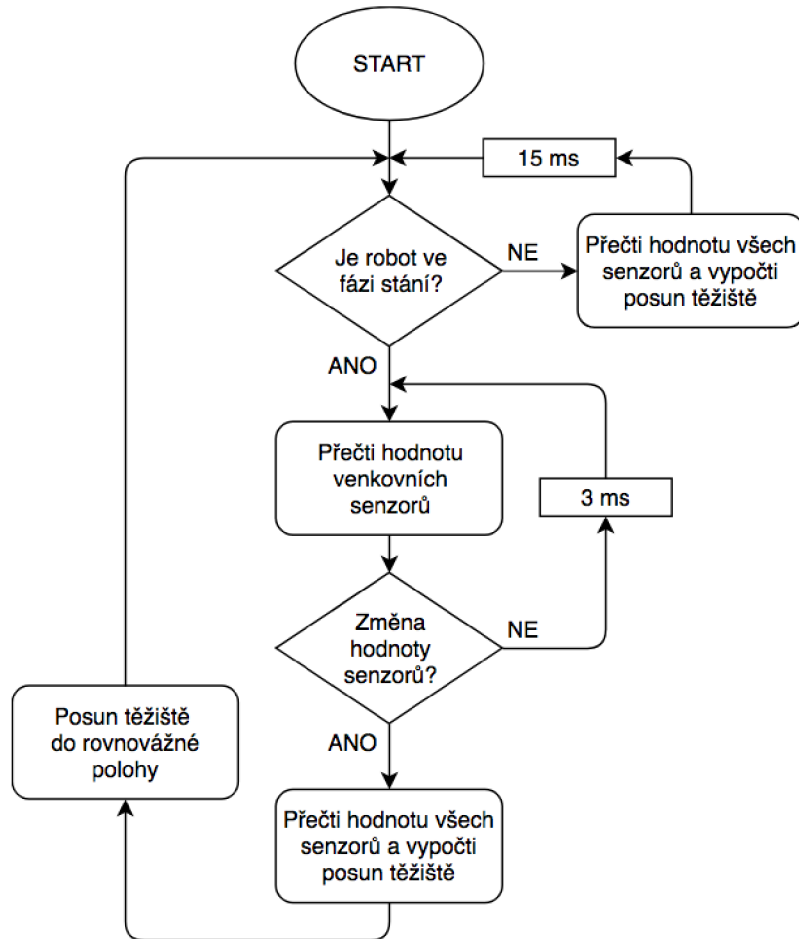
2.3.4 Řízení senzorů

Řízení senzorů musí být prováděno co nejefektivněji, jelikož data z váhových senzorů je potřeba číst co nejčastěji. Jedná se ovšem o 16-bitová data, která musí být čtena postupně. Dále již zmíněnou nevýhodou analogově digitálního převodního AD7792 je pomalá časová odezva na přepínání kanálů. Při čtení pouze jednoho kanálu lze dosáhnout rychlosti až 470 SPS, při přepínání kanálu po každém čtení klesne rychlost na přibližně 80 SPS.

Jelikož maximální rychlost servo motorů je 60° za 0,16 s, posun o jednu pozici trvá přibližně 3 ms. Ideální by tedy bylo číst novou hodnotu každé 3 ms, tak by měl robot informaci o změně těžiště po sebemenším pohybu, což vyžaduje zpracování relativně velkého množství dat v krátkém čase. Této rychlosti navíc nelze dosáhnout

čtením všech senzorů postupně.

Pro co nejrychlejší odezvu na vnější podnět, který posune těžiště robota ze stabilní polohy (v případě, že robot stojí), je možné číst pouze hodnotu krajních senzorů a reagovat na rychlou změnu hodnoty, jak je zobrazeno v Obr. 2.20.



Obr. 2.20: Vývojový diagram zobrazující řízení senzorů

3 ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo vytvořit návrh dvounohého kráčivého robota včetně jeho součástí. Byl vytvořen předběžný návrh celkové podoby robota i všech mechanických dílů určených pro výrobu na 3D tiskárně. Dále potom byly vybrány všechny komponenty na základě požadovaných funkcí, jako například bateriové napájení nebo možná komunikace a řízení přes Wi-fi.

Práce je rozdělena na teoretickou část a návrhovou část. V teoretické části se zabývám hlavně obecným řešením a rozebíráním výhod a nevýhod možných přístupů. V návrhové části je poté obsažen výběr konkrétních součástí a jejich zapojení, modelování jednotlivých částí a celého robota a programové řešení jednotlivých bloků včetně komunikace.

Robot se skládá celkem z 26 servo motorů, 7 senzorů, 4 mikrokontrolérů, 3 napěťových měničů, 2 baterií a jednoho mikropočítače. Přičemž každý z těchto prvků definuje konečnou podobu robota, jak dobře bude robot schopný reagovat na vnější podněty a do jaké míry možnost jeho autonomie.

Řídící logika byla zvolena ve formě hlavního procesoru, a to Raspberry Pi 3, komunikujícího s jemu podřazenými mikrokontroléry, konkrétně Arduino Pro-mini. Použití mikropočítače RPi s sebou přináší velkou řadu výhod, ale i nevýhod. Na první pohled velká výpočetní síla s linuxovým operačním systémem a dalšími výhodami, jako je podpora připojení velkého množství periférií nebo integrovaný wi-fi modul sebou přináší i jistá úskalí. Díky open source systému je možné jít do velké hloubky a řešit věci velmi efektivně, nicméně se jedná o složitý a zdlouhavý proces na pochopení.

Většinu sensoriky robota tvoří váhové senzory, které v tomto případě nahrazují konvenčně používané akcelerometry a gyroskopy pro určení posunu těžiště robota. Implementací těchto senzorů je možné získat daleko více podstatných informací o stabilitě robota než z několika senzorů náklonu a zrychlení.

Návrh se samozřejmě neobešel bez komplikací. I když většina částí robota fungovala samostatně velmi dobře, při jejich vzájemné integraci docházelo k problémům a bylo nutné pozměnit návrh. Například rušení drátové komunikace mezi mikrokontroléry a mikropočítačem při zapnutí více motorů. Další problémy nastaly například při 3D tisku součástí (delaminace, špatně nastavená akcelerace motorů) nebo v napájení, kdy DC-DC měniče nevydržely předdefinované maximální napětí. Tyto a další problémy se mi podařilo vyřešit, nicméně jedním z nevyřešených problémů je nedostatečná přesnost a jistá vůle servo motorů, což je ale způsobeno konstrukcí servo motoru a zpětnou vazbou realizovanou pomocí potenciometru.

V závěru bakalářské práce byl dokončen pouze částečně funkční prototyp (lze vidět na obrázcích v příloze), kterému chybí podstatná část funkcí. Návrh pro úpravu řešení zahrnuje:

- Použití krokových motorů s převody místo servo motorů,
- rozšíření RPi kompatibilní kamerou,
- rozpoznávání řeči a příkazů,
- zlepšení algoritmu vyvažování (predikce posunu těžiště).

LITERATURA

- [1] *IntoRobotics* [online]. Dragoş-George Călin, 2013 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.intorobotics.com/types-sensors-target-detection-tracking/>
- [2] *Sparkfun* [online]. Colorado: Sarah Al-Mutlaq, 2016 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-load-cells>
- [3] *Batesville* [online]. Indiana: JL Stanbrough, 2010 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.batesville.k12.in.us/physics/>
- [4] *Adafruit* [online]. 2012 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/force-sensitive-resistor-fsr/overview>
- [5] *Loadcellsummingbox* [online]. [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.loadcellsummingbox.com/>
- [6] *Researchgate* [online]. Stefano Mafrica, 2016 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/315842945_Bio-Inspired_Visual_Sensors_for_Robotic_and_Automotive_Applications
- [7] *Howtomechatronics* [online]. Dejan Nedelkovski [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>
- [8] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Actuator>
- [9] *Lifewire* [online]. Matthew Burris, 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/stepper-motor-vs-servo-motors-selecting-a-motor-818841>
- [10] *Fabacademy* [online]. [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://fabacademy.org/archives/2013/students/tabuchi.toshiro/tutorials/tuto03.html>
- [11] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_\(electricity\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_(electricity))
- [12] *Batteryuniversity* [online]. 2011 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion

- [13] *Learnabout electronics* [online]. [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.learnabout-electronics.org/PSU/psu31.php>
- [14] *Raspberry Pi* [online]. United Kingdom [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/>
- [15] *Arduino* [online]. [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>
- [16] *Sparkfun* [online]. 2016 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication>
- [17] *Sparkfun* [online]. 2016 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c>
- [18] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- [19] *All3DP* [online]. 2017 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/3d-printer-filament-types-3d-printing-3d-filament/>
- [20] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Degrees_of_freedom_\(mechanics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Degrees_of_freedom_(mechanics))
- [21] *Researchgate* [online]. Walter Pirker, 2016 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/309362425_fig3_Figure-1-Phases-of-the-normal-gait-cycle
- [22] *Aliexpress* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/ProMini-ATmega328P-3-3V-Compatible-for-Arduino-Pro-Mini/32525927539.html>
- [23] *Aliexpress* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/15A-DC-Buck-Converter-DC-4-32V-to-DC-1-2-32V-3-3V-5V-12V/32689479190.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.535e4c4dCRWGr2>
- [24] *Arduino-shop* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://arduino-shop.cz/arduino/1738-step-down-modul-napajeni-mini-buck-nastavitelny-dc-dc-12_24v-na-5v-3a-1502185417.html
- [25] *Aliexpress* [online]. [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/2-PCS-lot-New-Protected-Original-Rechargeable-battery_

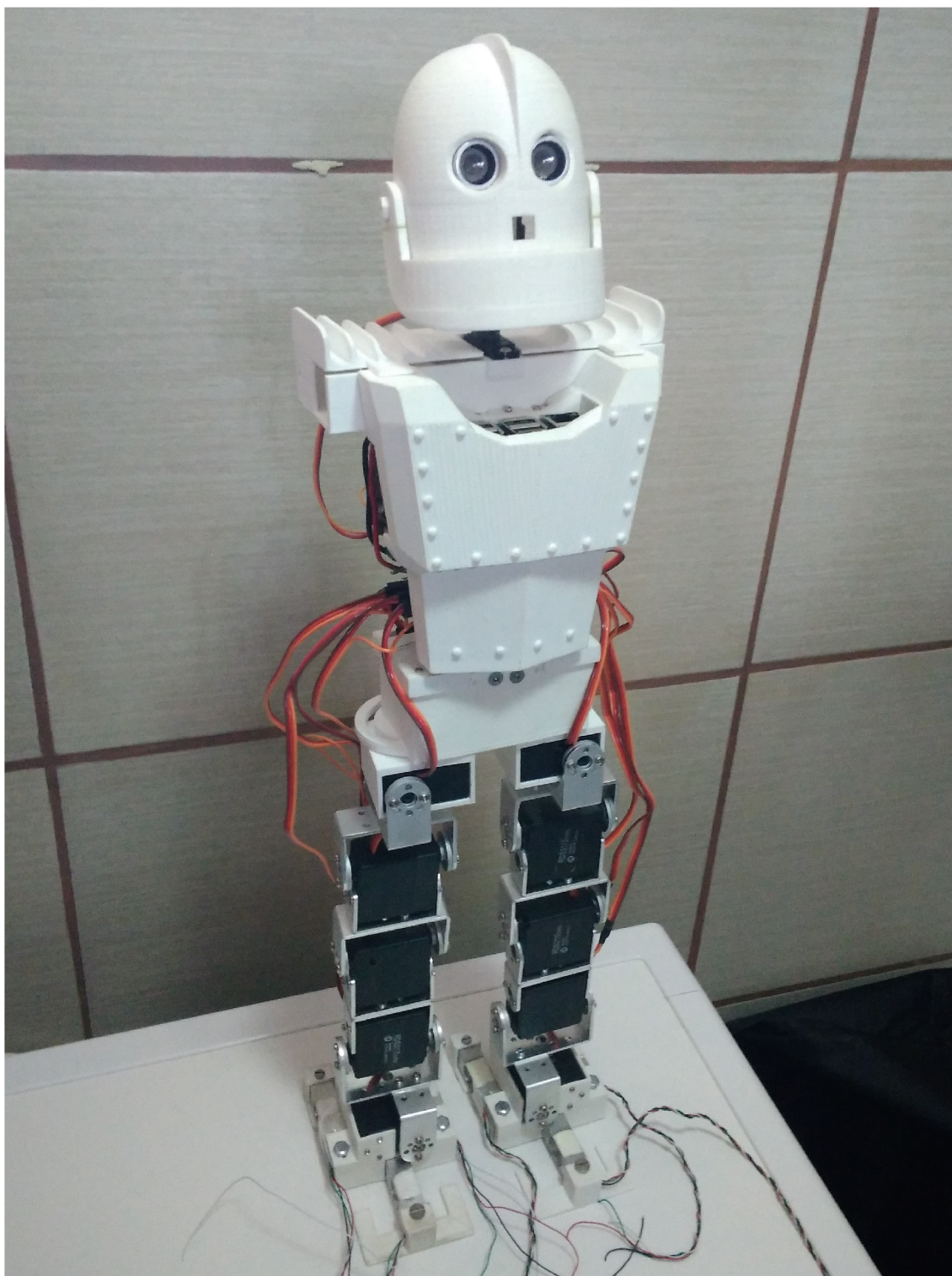
18650-NCR18650B-3400mah-with-PCB-3-7V-Free/32628168837.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.60624c4duwUGy0

- [26] *lygte-info* [online]. 2017 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: [https://lygte-info.dk/review/batteries2012/Panasonic%20NCR18650B%20Protected%203400mAh%20\(Green\)%20UK.html](https://lygte-info.dk/review/batteries2012/Panasonic%20NCR18650B%20Protected%203400mAh%20(Green)%20UK.html)
- [27] *Sparkfun* [online]. 2016-07-18 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/getting-started-with-load-cells>
- [28] *Mouser* [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://eu.mouser.com/datasheet/2/609/AD7792_7793-877502.pdf
- [29] *Aliexpress* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/item/Free-shipping-Original-factory-RDS3115-Metal-gear-digital-servo_Robot-servo-arduino-servo-for-Robot-diy/714542078.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.190a4c4dP9ZsLV
- [30] *Aliexpress* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.aliexpress.com/wholesale?catId=0&initiative_id=SB_20180523071930&SearchText=mg90s
- [31] *Wikipedia* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Fletcher%27s_checksum
- [32] *MQTT* [online]. [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://mqtt.org/>

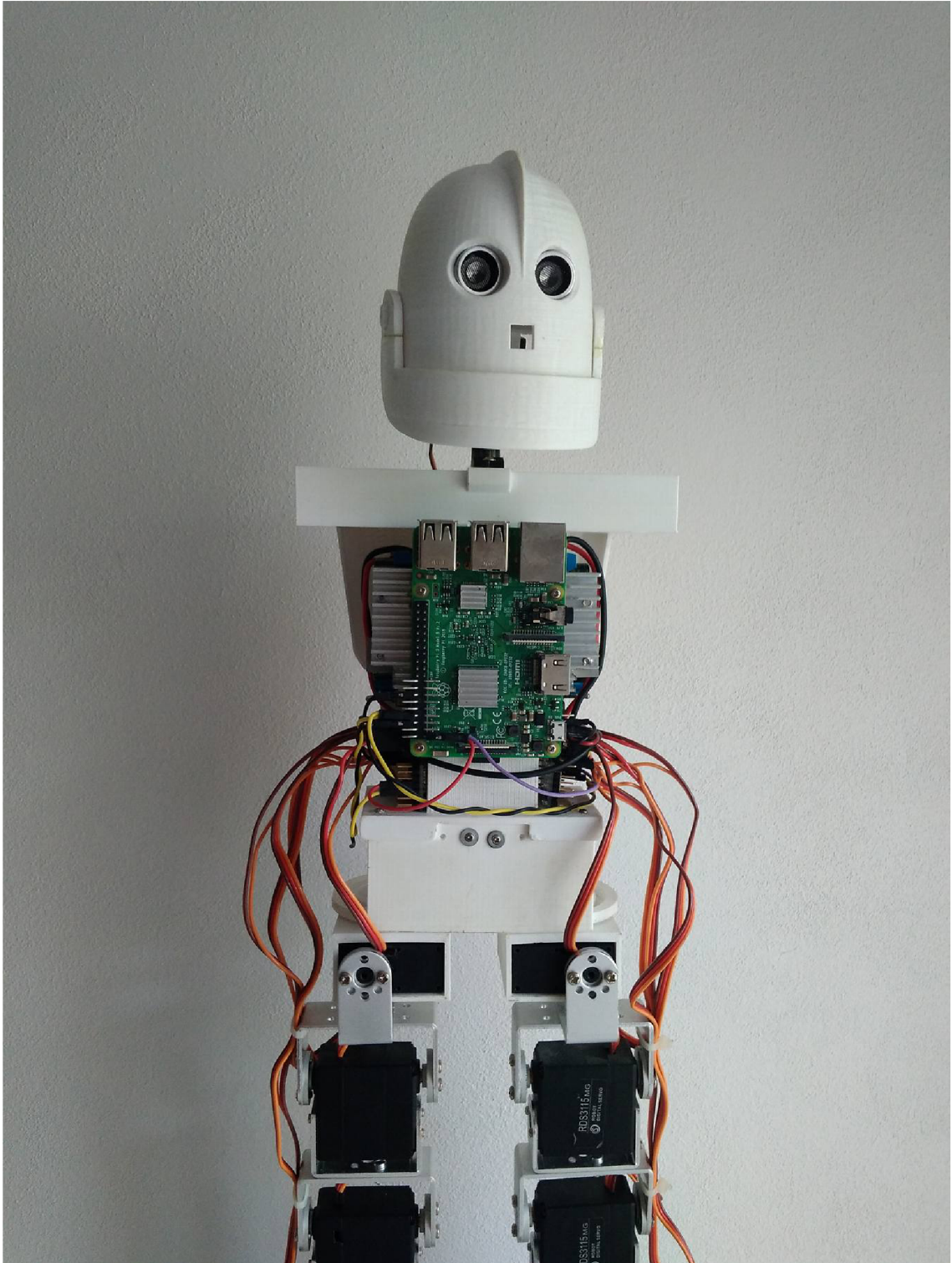
SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

<i>G</i>	Gravitační zrychlení
<i>C</i>	Maximální kapacita baterie
FSR	Force Sensitive Resistor
MEMS	Micro Electro Mechanical System
RPi	Raspberry Pi
SPI	Serial Peripheral Interface
I2C	Inter Integrated Circuit
MISO	Master In Slave Out
MOSI	Master Out Slave In
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
PWM	Pulse Width Modulation
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
DOF	Degrees Of Freedom
PLA	Kyselina polymléčná
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PETG	Polyethylentereftalát modifikovaný glykolem
SPS	Počet vzorků za sekundu (samples per second)

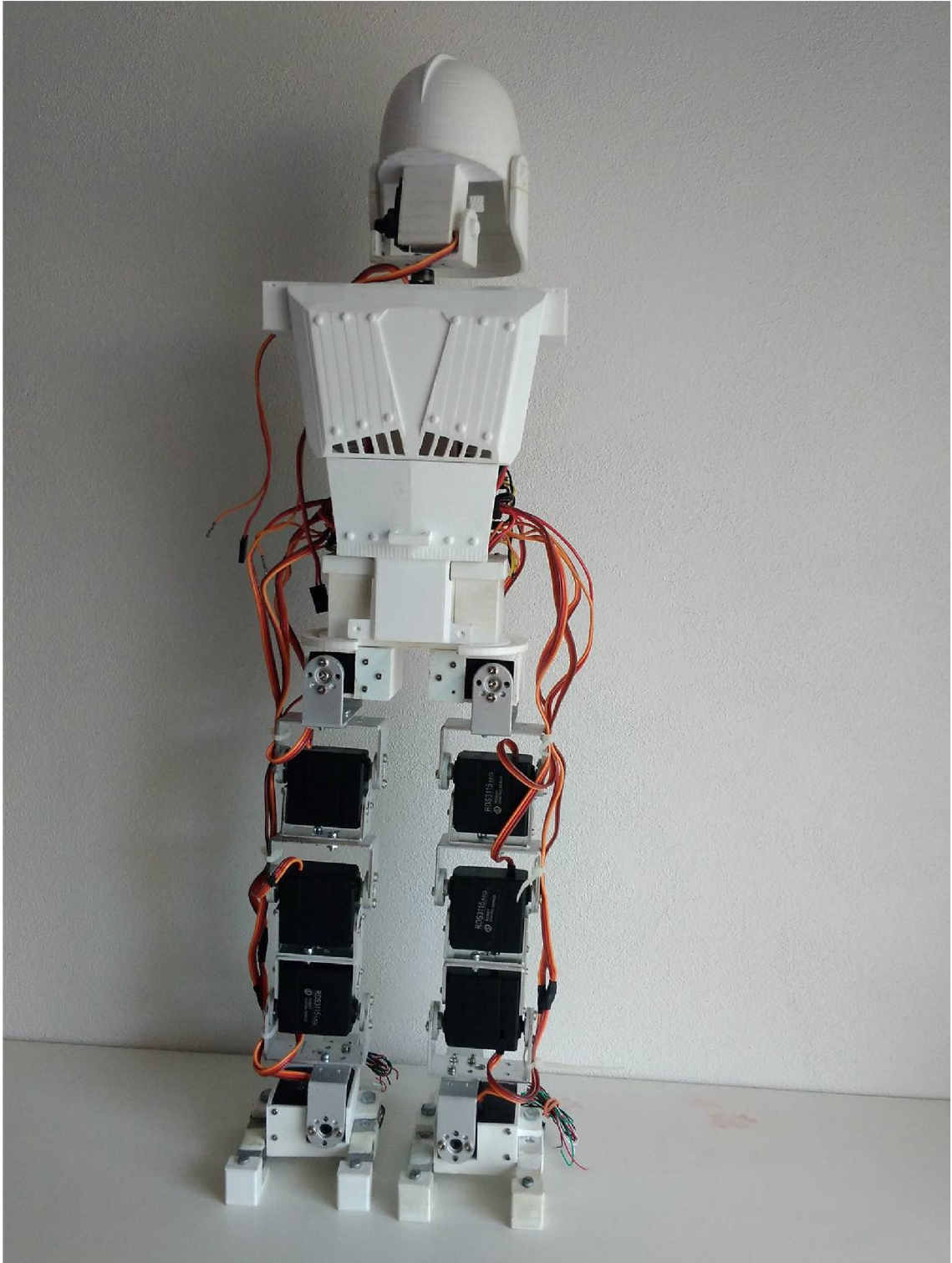
A ZHOTOVENÉ ČÁSTI



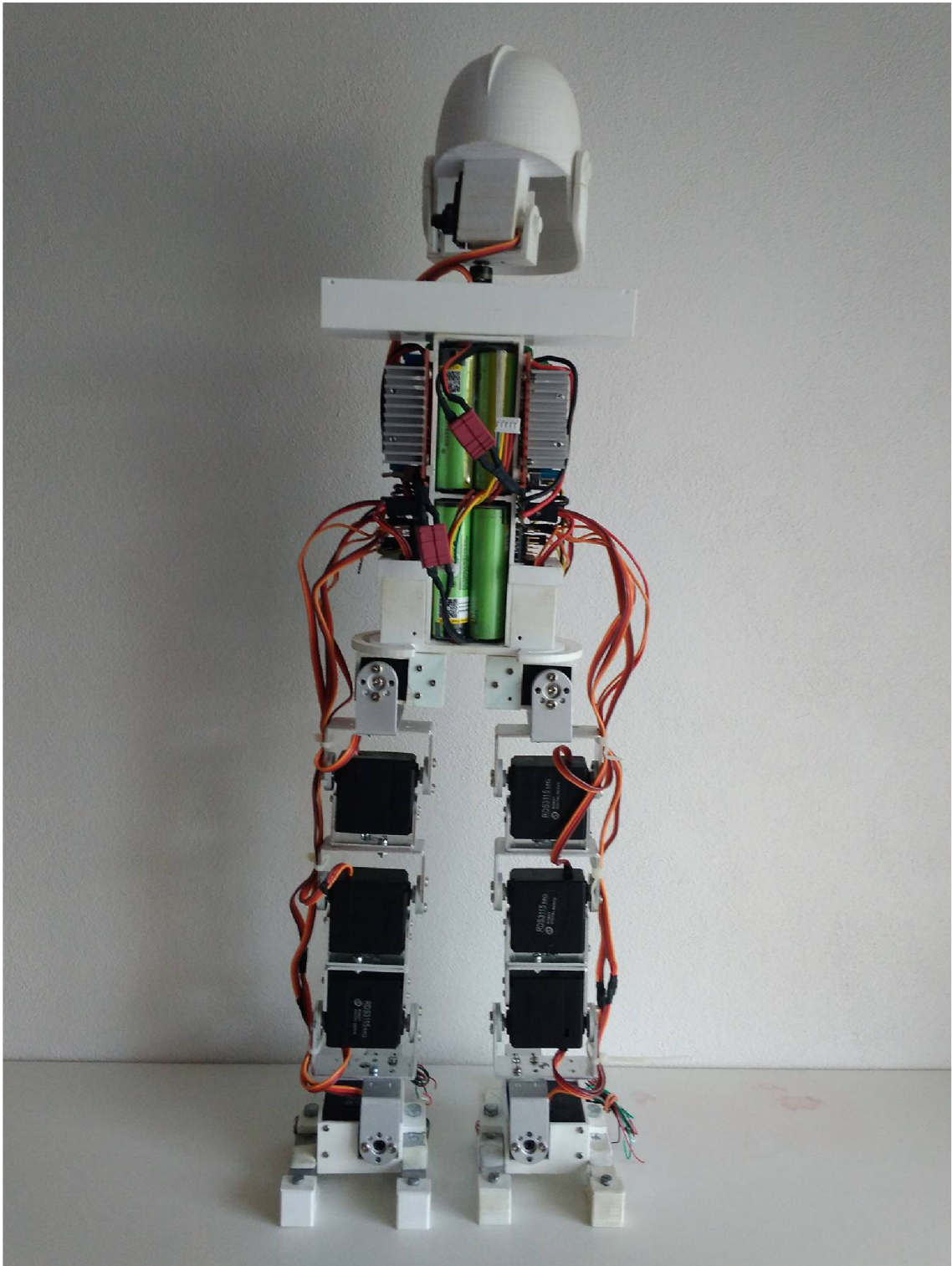
Obr. A.1: Robot s hrudním krytem zepředu



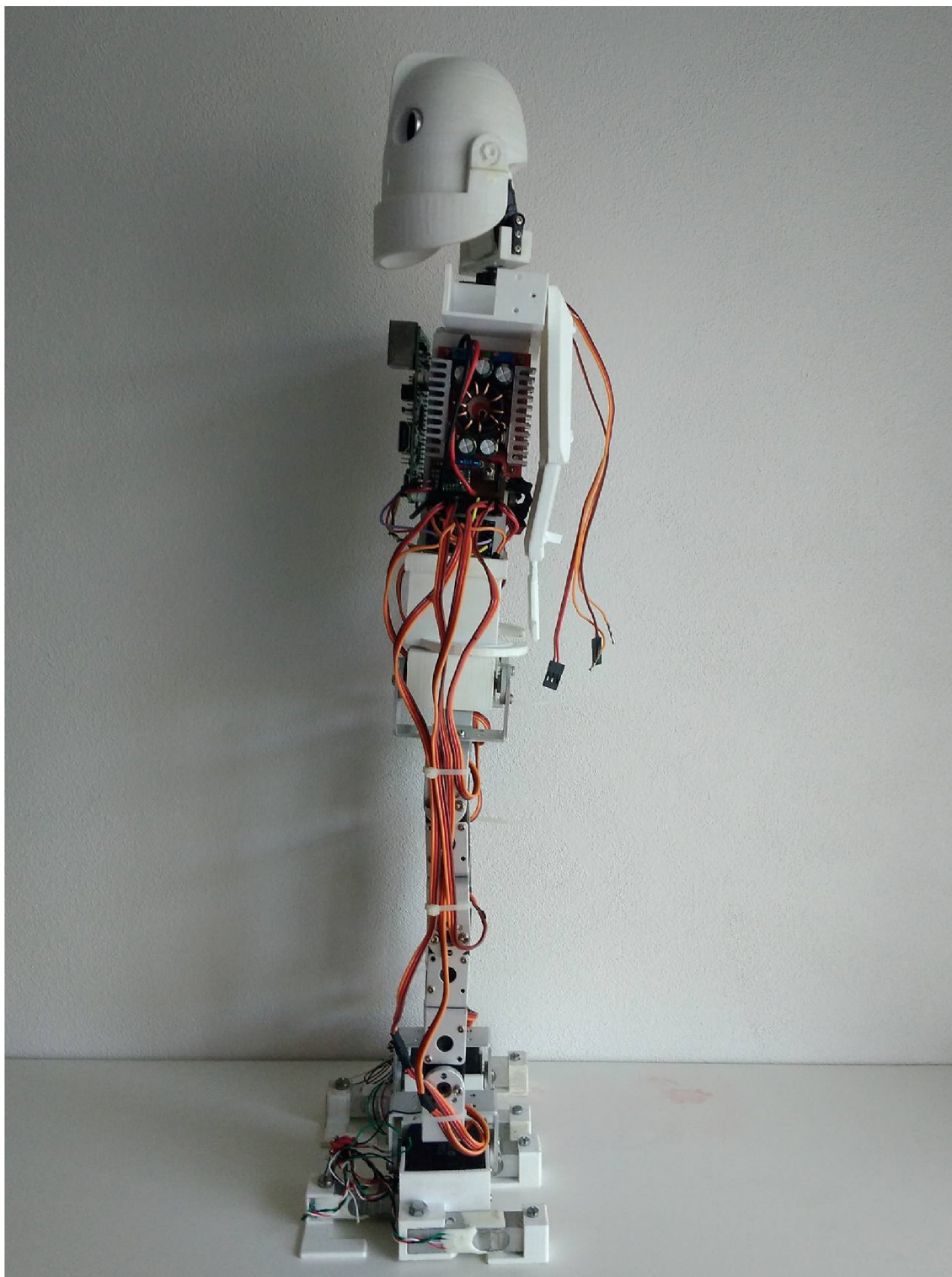
Obr. A.2: Robot bez hrudního krytu zepředu



Obr. A.3: Robot se zádovým krytem zezadu



Obr. A.4: Robot bez zádového krytu zezadu



Obr. A.5: Robot bez krytu z boku