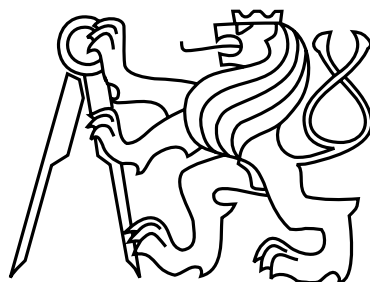


**Na tomto místě bude oficiální zadání
vaší práce**

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta informačních technologií
Katedra číslicového návrhu



Diplomová práce

Mobilní robot schopný pohybu ve venkovním prostředí

Bc. Radim Horák

Vedoucí práce: Ing. Pavel Kubalík, Ph.D

Studijní program: Informatika, magisterský

Obor: Projektování číslicových systémů

7. května 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl 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 mojí 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. Každá osoba, která využije výše uvedenou licenci, se však zavazuje udělit ke každému dílu, které vznikne (být jen zčásti) na základě Díla, úpravou Díla, spojením Díla s jiným dílem, zařazením Díla do díla souborného či zpracováním Díla (včetně překladu), licenci alespoň ve výše uvedeném rozsahu a zároveň zpřístupnit zdrojový kód takového díla alespoň srovnatelným způsobem a ve srovnatelném rozsahu, jako je zpřístupněn zdrojový kód Díla.

V Mnichově Hradišti dne 7.05.2014.

.....

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu práce Ing. Pavlu Kubalíkovi PhD. za jeho ochotu okamžitě se mnou řešit problémy, které nastaly během tvorby této práce, jeho bleskovou odezvu při komunikaci a celkovou vstřícnost. Dále bych rád poděkoval Vratislavovi Polívkovi z dílen FA ČVUT za pomoc při výrobě podvozku.

Zvláštní poděkování patří mým rodičům za jejich podporu po celou dobu mého studia.

Abstract

This master thesis is focused on design and realization of mobile outdoor robot. Robot can be controlled with RC transmitter. Robot is equipped with sensors to monitor his position, speed, rotation, orientation, obstacle detection and properties of environment that robot is in (temperature and humidity). Robot can be controlled with Raspberry PI.

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a realizací konstrukce mobilního robota, který je určen pro provoz ve venkovním prostředí. Robota je možné ovládat radiově pomocí RC vysílačky. Součástí robota jsou senzory na vyhodnocování jeho polohy, rychlosti, orientace, detekci překážek a dále pak pro měření vlastností prostředí ve kterém se robot pohybuje (teplota a vlhkost). Dále je možné robota rozšířit o Raspberry PI.

Obsah

1	Úvod	1
2	Analýza a návrh řešení	3
2.1	Nabídka trhu	4
2.1.1	Summit 4WD High Mobility All Terrain Robot	4
2.1.2	ArduRover	5
2.1.3	Vlastní řešení	5
2.2	Možnosti zatáčení	6
2.3	Výběr podvozku	6
2.3.1	Podvozek Wild Thumper 6WD	6
2.3.2	Podvozek MMP-8 Mobile Robot Platform	7
2.3.3	Výběr použitého podvozku	8
2.4	Motory	8
2.5	Driver pro řízení motoru	8
2.6	Dálkové ovládání	10
2.7	Alternativní ovládání	10
2.8	Ovládání rychlosti robota	11
2.9	Detekce překážek	11
2.9.1	Infračervený dálkoměr	12
2.9.2	Ultrazvukový dálkoměr	12
2.10	Teplotní a vlhkostní čidlo	13
2.11	GPS modul	13
2.12	Modul detekce pohybu	13
2.13	Napájení robota	14
2.13.1	Olověné akumulátory	15
2.13.2	Nikl-kadmiové akumulátory (hermetizované provedení)	15
2.13.3	Nikl-metal hydridové (NiMH)	15
2.13.4	Lithium-iontové (Li-ion)	15
2.13.5	Lithium-polymerové (Li-Pol)	15
2.13.6	Zvolený akumulátor	16
2.14	Výběr mikrořadiče pro řídicí desku a moduly	16
2.14.1	Arduino Mega	16
2.14.2	ST Nucleo F401RE	17
2.14.3	Konečný výběr mikrořadiče	17
2.15	Řídicí modul	18
2.16	Modul pro ovládání Motorů	19

2.17	Cenová kalkulace	20
3	HW Realizace	21
3.1	Realizace podvozku	21
3.1.1	Uchycení motorů	21
3.1.2	Odpružení podvozku	23
3.2	Řídící modul	25
3.2.1	Deska Nucleo	25
3.2.1.1	Napájení desky	26
3.2.2	Rozvržení využití mikrořediče	26
3.2.3	Modul GY-80	28
3.2.4	RC přijímač	28
3.2.5	GPS	29
3.2.6	Čidlo SHT15	29
3.2.7	Měření Akumulátorů	30
3.2.8	Infračervený dálkoměr	31
3.2.9	Ultrazvukové dálkoměry	31
3.2.10	Ostatní konektory	32
3.2.10.1	Raspberry Pi	32
3.2.10.2	Usart2	33
3.2.10.3	SPI	33
3.2.10.4	Servo	34
3.3	Modul pro řízení motorů	35
3.3.1	SPI sběrnice	36
3.3.2	Enkodéry	36
3.3.3	Drivery pro motory	36
4	SW Realizace	39
4.1	Vývojové prostředí	39
4.2	Ovládání motoru	39
4.2.1	Regulace otáček	40
4.3	RC přijímač	40
4.4	Modul GY-80	40
4.4.1	Gyroskop	40
4.4.2	Akcelerometr	41
4.4.3	Magnetometr	42
4.5	Infračervený dálkoměr	42
4.6	Ultrazvukový dálkoměr	43
4.7	Modul GPS	44
4.8	Čidlo SHT15	47
4.8.1	Výpočet teploty	48
4.8.2	Výpočet vlhkosti	48
4.9	Měření akumulátorů	49
4.10	Demo aplikace	49
4.10.1	Modul pro ovládání motorů	51

5	Testování a oživení	53
5.1	Oživení	53
5.2	Testování podvozku	53
5.2.1	Tlumiče	53
5.2.2	Pevné neprašné povrchy	54
5.2.3	Prašné prostředí	54
5.2.4	Travnaté povrchy a terén	54
5.2.5	Ostatní testy	54
5.3	Výdrž Akumulátorů	55
5.4	Infračervený dálkoměr	55
6	Závěr	59
	Literatura	60
7	Seznam použitých zkratk	65
A	Schéma MotorShieldu	67
B	Schéma Modulu GY-80	69
C	Schéma řídicího modulu	71
D	DPS a rozmístění součástek	73
E	Osazená deska	77
F	Třídy	79
F.1	Třída Akumulator	79
F.2	Třída SHT15	79
F.3	Třída INFRA	80
F.4	Třída RCreceiver	80
F.5	Třída GPS	80
F.6	Třída GY-80	80
F.7	Třída MOTOR	81
G	Obsah přiloženého CD	83

Seznam obrázků

2.1	Summit 4WD High Mobility All Terrain Robot[4][38]	4
2.2	ArduRover, možná konfigurace[6]	5
2.3	Dagu Wild Thumper 6WD[24]	7
2.4	MMP-8 Mobile Robot Platform[25]	7
2.5	Motor s převodovkou 34:1 a enkodérem [29]	8
2.6	H-můstek [44]	9
2.7	Blokové schéma vybraného obvodu[32] [45]	9
2.8	Přijímač [49] a Vysílačka[50]	10
2.9	Enkodér umístěný na motoru.[48]	11
2.10	Sharp GP2Y0A21[27] a Ultrazvuk HC-SR04[28]	12
2.11	GPS Trimble Anapala ACM[26]	13
2.12	Modul GY-80[11][40]	14
2.13	Arduino Mega[16][41]	16
2.14	Nucleo F401RE[2][42]	17
2.15	Blokové schéma řídicí desky	18
2.16	Blokové schéma řídicí desky	19
3.1	Plastový profil pro uchycení motoru[43].	22
3.2	Příprava pro pájení mědi.	22
3.3	Smontované kolo včetně měděného T-profilu.	23
3.4	První verze uchycení tlumičů.	24
3.5	Finální uchycení tlumičů.	24
3.6	Připojený řídicí modul k desce Nucleo.	25
3.7	Konektor pro připojení programátoru.	26
3.8	Napájecí konektor.	26
3.9	Rozvržení využití pinů mikrořadiče (vygenerováno pomocí STMCube).	27
3.10	zapojení konektoru pro připojení modulu GY-80.	28
3.11	Zapojení konektoru pro připojení RC přijímače.	28
3.12	Zapojení konektoru pro připojení GPS modulu.	29
3.13	Konektor pro čidlo SHT15.	30
3.14	Konektor pro připojení Akumulátorů.	30
3.15	Infračervený dálkoměr, zapojení konektoru.	31
3.16	Ultrazvukový dálkoměr, zapojení konektoru.	31
3.17	Signálový konektor.	32
3.18	Zapojení konektoru pro připojení Raspberry Pi.	33
3.19	Zapojení konektoru pro připojení servo motorů.	34

3.20	Osazený modul MotorShield na desce Nucleo.	35
3.21	Osazený MotorShield.	37
3.22	Pohled na sestaveného robota.	38
4.1	Závyslost výstupního napětí na vzdálenosti	43
4.2	Průběh měření modulu ultrazvukového dálkoměru	44
4.3	Ukázka přijatých vět z GPS modulu.	47
4.4	Diagram hlavní smyčky demo aplikace.	50
5.1	Přípravek pro měření převodní tabulky.	55
5.2	Změřená závislost výstupního napětí na vzdálenosti.	56
5.3	Různé měřené překážky.	57
6.1	Přední část robota.	59
A.1	Schéma zapojení MotorShieldu [22]	68
B.1	Schéma zapojení modulu GY-80 [40]	70
C.1	Schéma zapojení modulu připojeného k řídicí desce.	72
D.1	Vrstva TOP	74
D.2	Rozmístění součástek TOP	74
D.3	Vrstva BOT	75
D.4	Rozmístění součástek BOT	75
D.5	Neosazená deska vrstva TOP	76
D.6	Neosazená deska vrstva BOT	76
E.1	Osazená deska vrstva TOP	78
E.2	Osazená deska vrstva BOT	78

Seznam tabulek

2.1	Cenová kalkulace výroby robota.	20
3.1	Piny mikrokontroléru využité pro připojení modulu k řídicí desce.	28
3.2	Piny mikrokontroléru využité pro připojení RC přijímače.	29
3.3	Piny mikrokontroléru využité pro připojení GPS modulu.	29
3.4	Piny mikrokontroléru využité pro připojení čidla SHT15.	30
3.5	Piny mikrokontroléru využité pro měření akumulátorů.	30
3.6	Piny mikrokontroléru využité pro infračervené dálkoměry.	31
3.7	Piny mikrokontroléru využité pro ultrazvukové dálkoměry.	32
3.8	Piny mikrokontroléru využité pro připojení Raspberry Pi.	32
3.9	Piny mikrokontroléru využité pro USART2.	33
3.10	Piny mikrokontroléru využité pro SPI komunikující s moduly.	33
3.11	Piny mikrokontroléru využité pro připojení Servo motorů.	34
3.12	Piny využité pro SPI sběrnici.	36
3.13	Barevné značení výstupu z enkodéru.	36
3.14	Piny mikrokontroléru využité pro připojení enkodérů.	36
3.15	Piny mikrokontroléru využité pro připojení MotorShieldu.	37
4.1	Rozsah kanálů vysílačky.	39
4.2	Rozsah kanálů vysílačky.	40
4.3	Adresy Gyroskopu.	41
4.4	Vybrané registry Gyroskopu.	41
4.5	Adresy Akcelerometru.	41
4.6	Vybrané registry Akcelerometru.	42
4.7	Adresy Magnetometru.	42
4.8	Vybrané registry Magnetometru.	42
4.9	Význam jednotlivých bloků věty GPGGA.	45
4.10	Význam jednotlivých bloků věty GPGSA.	45
4.11	Význam jednotlivých bloků věty GPGSA.	46
4.12	Význam jednotlivých bloků věty GPRMC.	46
4.13	Příkazy pro komunikaci s čidlem SHT15.	47
4.14	Struktura Status registru čidla SHT15.	47
4.15	Konstanty pro výpočet teploty.	48
4.16	Konstanty pro výpočet vlhkosti RH_{lin}	48
4.17	Konstanty pro výpočet vlhkosti RH_{true}	48

5.1	Převodní tabulka infračerveného dálkoměru.	56
5.2	Porovnání naměřených hodnot při různých překážkách.	56

Kapitola 1

Úvod

V dnešní době se setkáváme s mobilními roboty ve všech odvětvích lidské činnosti. Často jsou nasazovány za situací, kdy by člověku hrozilo reálné nebezpečí úrazu nebo smrti. Mobilní roboti jsou využívány bezpečnostními složkami státu (hasiči a policií). Jedná se třeba o nasazení pyrotechnických robotů určených ke zneškodnění bomby. Nemalé finanční prostředky jsou vynakládány armádami na vývoj bojových robotů. Zajímavou oblastí pro nasazení mobilních robotů, je situace, kdy nastane průmyslová havarie s velmi závažnými následky na životní prostředí. Při nedávné katastrofě v jaderné elektrárně Fukušima byly nasazeni roboti na průzkum poškozených bloků elektrárny.

Tato práce se zabývá návrhem a realizací konstrukce šestikolového mobilního robota, který bude dálkově ovládán radiově prostřednictvím RC vysílačky. Robot bude navržen tak, aby jej bylo možné v blízké budoucnosti rozšířit o další periferie, které zvýší jeho užitnou hodnotu.

Součástí konstrukce bude návrh řídicího modulu pro ovládání a komunikaci s jednotlivými periferiemi (senzory). Robot bude osazen těmito senzory: gyroskop, magnetometr (elektronický kompas), akcelerometr, modulem GPS pro určení aktuální polohy, senzory pro měření vlastností okolního prostředí (teplota a vlhkost) a dále pak senzory pro detekci překážek v cestě robota (ultrazvukový a infračervený dálkoměr). Dále bude možné robota rozšířit o Raspberry PI[36] prostřednictvím, kterého bude možné připojit kameru a Wi-Fi.

Druhý navrhovaný modul bude sloužit pro ovládání jednotlivých motorů, modul bude propojen s řídicí deskou.

Dále budou vytvořeny knihovny pro použitý mikrořadič, které umožní ovládání všech periferií a získávání dat ze sensorů. Pro potřeby předvedení bude vytvořena demo aplikace.

Po dokončení vývojové části bude následovat fáze testovací, kdy bude robot podroben zkušebním jízdám v terénu. První fáze bude probíhat na pevných površích (beton, asfalt, hladká podlaha), v druhé fázi bude testována jeho prostupnost terénem (travnatý povrch, hlína, nerovný terén v přírodě).

Kapitola 2

Analýza a návrh řešení

K základní výbavě robota patří detektory překážek ať už infračervené, ultrazvukové, nebo laserové. Pro určování polohy se dnes dá využít nejen známá GPS, ale třeba i Ruský Glonass[18]. Pohony robotů jsou řešeny různými způsoby, od elektrických motorů až po spalovací motory. Pohyb robota je řízen pomocí zpětné vazby, která je často realizována pomocí enkodérů, které jsou přidělané k motorům. Pro měření náklonů se používají akcelerometry a gyroskopy. Směr pohybu je možné detekovat pomocí magnetometru, který je použit jako digitální kompas.

Aby nebyl robot tzv. slepý bývá osazen kamerami. Využívají se jak klasické kamery s případným nočním viděním (IR přisvětlení), tak i infračervené kamery pro detekci tepla (využívají hodně Hasiči). Chytřejší roboti jsou schopni rozpoznávat obraz z kamery a podle toho se chovat. Často se ale obraz pouze přenáší buď bezdrátově, nebo pomocí kabelu, který sebou robot vleče k operátorovi. Další možností jak robota obohatit o další funkčnost jsou různé robotické ruce pro manipulaci s předměty.

2.1 Nabídka trhu

Při zkoumání komerčně nabízených mobilních robotů jsem se zaměřil na zařízení, která jsou svými vlastnostmi podobné navrhovanému mobilnímu robotu v této práci. Do průzkumu jsem přidal i projekty, které jsou zaměřené na nekomerční využití (OpenSource). Firmami nabízení roboti jsou po finanční stránce velmi náročné. Jejich vybavení je většinou úzce specializované na konkrétní činnost, mívají autonomní řízení. Zástupcem komerční sféry byl vybrán robot SummitWD High Mobility All Terrain Robot od firmy Robotnik. Při prohledávání nekomerčních řešení robotů se objevil problém s tím, že žádná konstrukce nebyla podobná postavenému robotu. Většinou se nadšenci zabývají výrobou podvozku, nebo jen návrhem řídicí elektroniky. Zpravidla jsou tito lidé zkušenými modeláři. Jako zástupce OpenSource projektů byl vybrán ArduRover, který prošel dlouhým vývojem.

2.1.1 Summit 4WD High Mobility All Terrain Robot

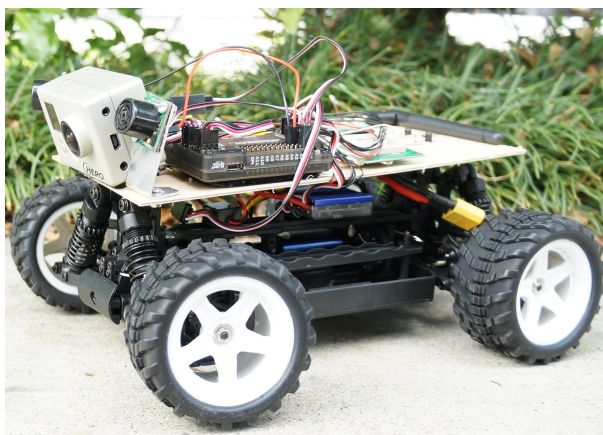
Summit 4WD High Mobility All Terrain Robot[4] je komerční produkt, který je možné řídit autonomně, nebo dálkově pomocí kamery. Robot má uzpůsobený podvozek pro pohyb v terénu. Poháněn je dvěma motory, které jsou schopny vyvinout rychlost až 3 m/s. Výdrž na akumulátory je 4 hodiny. Přední kola se při zatáčení naklápějí. Komunikace s robotem probíhá po Wi-Fi. Robot je osazen následujícími senzory laserový dálkoměr, infračervený dálkoměr, GPS. Pro potřeby odometrie jsou připraveny enkodéry. Řízení robota je navrženo na otevřené architektuře Player/Stage[5], která využívá Embed PC s Real Time Linuxem. Pro rozšíření je k dispozici rozhraní USB, RS232, volné GPIO a RJ45. Cena robota je ovšem velmi vysoká, 160 000 Kč.



Obrázek 2.1: Summit 4WD High Mobility All Terrain Robot[4][38]

2.1.2 ArduRover

ArduRover[6] je založen na platformě ArduPilot[3], na jejímž vývoji se podílí po celém světě velké množství lidí. Ardupilot je navržen tak, aby jej bylo možné využít i na jiné typy robotů dronů, vrtulníků, letadel a vozidla. Platforma je založena na mikrořadiči od firmy Atmel ATmega2560[7]. Z názvu je patrné, že toto řešení vychází z platformy Arduino. Na desce jsou implementovány tyto senzory: magnetometr, gyroskop a akcelerometr. Volitelně je možné připojit GPS modul a ultrazvukový dálkoměr. Pro vývojáře je k dispozici SW pro nastavení Ardupilota pro daný model. Pro stavbu robota je možné využít návodů jak si vyrobit, nebo kde zakoupit, potřebné komponenty. Cena je v tomto případě variabilní a záleží na konfiguraci. Základem je Ardupilot, který stojí 4000 Kč.



Obrázek 2.2: ArduRover, možná konfigurace[6]

2.1.3 Vlastní řešení

Vzhledem k vysokým cenám komerčních produktů bylo rozhodnuto postavit robota vlastní, nebo upravené převzaté, konstrukce. Prototyp na otestování pohonu byl postaven na platformě Arduino[1]. Finální verze je pak postavena na desce Nucleo[2] od firmy STM.

2.2 Možnosti zatáčení

Zatáčení robota lze realizovat dvěma způsoby:

- **Ackermanovo řízení** - Tento způsob řízení mají běžná auta, která můžeme vídat na každé silnici. Změny směru se dosáhne pomocí natočení nápravy příslušným směrem. Motor/Motory jsou pak řízené pouze pokyny vpřed a vzad.
- **Diferenciální řízení** - Diferenciální řízení je využíváno u tanků. Výhodou je možnost otáčet se na místě, kolem své osy. Nevýhodou je větší opotřebení pneumatik. Změna orientace závisí na rozdílu rychlosti levé a pravé strany.

Pro lepší manévrovatelnost v terénu bylo zvoleno diferenciální řízení. Bude i méně náročné na realizaci.

2.3 Výběr podvozku

Na internetu je možné dnes najít mnoho různých konstrukčních návodů na výrobu podvozku robota. Každý je svým způsobem originál určený pro nějakou konkrétní aplikaci. Hotový podvozek je také možné zakoupit. Při hledání inspirace, jak by měl daný podvozek vypadat byly stanoveny následující parametry:

- Šestikolový podvozek.
- Každé kolo hnané samostatným motorem.
- Jednoduchá konstrukce na výrobu, nebo cenová dostupnost.

Z širokého spektra různých konstrukčních řešení podvozku byly vybrány dva typy. První je podvozek od firmy Dagu, Wild Thumper 6WD[24]. A druhým konstrukčním řešením je podvozek MMP-8 Mobile Robot Platform[25].

2.3.1 Podvozek Wild Thumper 6WD

Dagu Wild Thumper 6WD(obr.2.3) je modulární podvozek, který lze složit ze dvou modulů. Modul s dvěma motory a modul pro umístění akumulátoru, nebo elektroniky. V nabídce jsou dva podvozky, jeden se čtyřmi koly a druhý šestikolový. Potřebným parametrům vyhovuje šestikolový. Je možné ovládat každý motor zvlášť. Podvozek se se svojí konstrukcí hodí pro jízdu v terénu. Cena podvozku včetně motorů, které jsou osazeny převodovkou s převodem 34:1 je 249 dolarů.



Obrázek 2.3: Dagu Wild Thumper 6WD[24]

2.3.2 Podvozek MMP-8 Mobile Robot Platform

MMP-8 Mobile Robot Platform[25] (obr.2.4) je konstrukčně složitější než první uvedený podvozek. Podvozek je jiné koncepce, kola nejsou odpružena, ale uprostřed je otočný "kloub", pomocí kterého se naklápí každá půlka podvozku. Podvozek se bude hůře chovat v terénu, než první uvedený. Motory a akumulátory jsou v něm lépe chráněné před povětrnostními vlivy a prachem. Cena podvozku je vyšší, 799 dolarů.



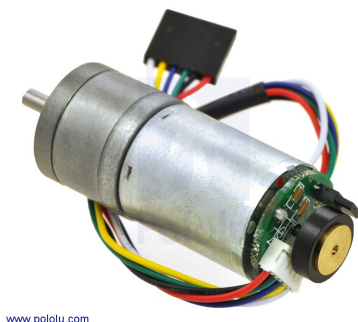
Obrázek 2.4: MMP-8 Mobile Robot Platform[25]

2.3.3 Výběr použitého podvozku

Po zvážení výhod a nevýhod jednotlivých výše zmíněných komerčních konstrukcí podvozku, bylo rozhodnuto, vzhledem i k ceně, zkusit zkonstruovat vlastní podvozek. Podvozek vychází z konstrukce Dagu Wild Thumber 6WD[24]. Původně byla zvažována jeho koupě, ale bylo by potřeba koupit jiné motory, protože originální řešení je osazeno motory bez enkodérů, které jsou využity jako zpětná vazba. Dále by se musela upravit pouzdra ve kterých jsou původní motory uchyceny. Toto byl hlavní důvod proč byl zvolen vlastní návrh podvozku.

2.4 Motory

V komerčním řešení jsou použity motory, které je možné zakoupit. Jedná se o stejnosměrné motory s kartáči[29] se zabudovanou planetovou převodovkou. Planetová převodovka má převodní poměr 34:1. Maximální otáčky na hřídeli převodovky při napájení motoru ze zdroje 6 V jsou 285 ot/min. Součástí motoru je dále kvadraturní enkodér, který je využit k ověřování stavu motoru (v případě prokluzu se zvýší otáčky oproti plně zatíženému stavu).

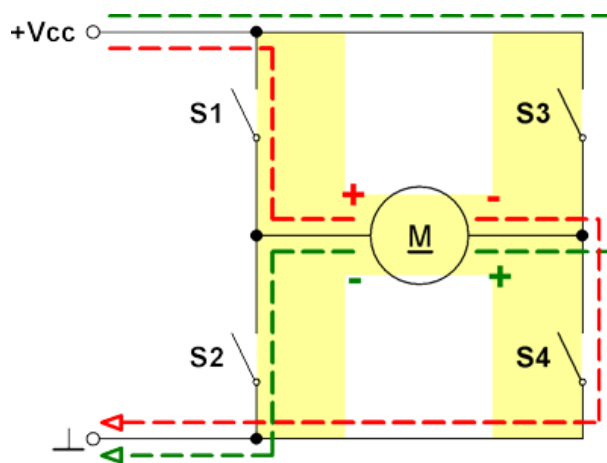


Obrázek 2.5: Motor s převodovkou 34:1 a enkodérem [29]

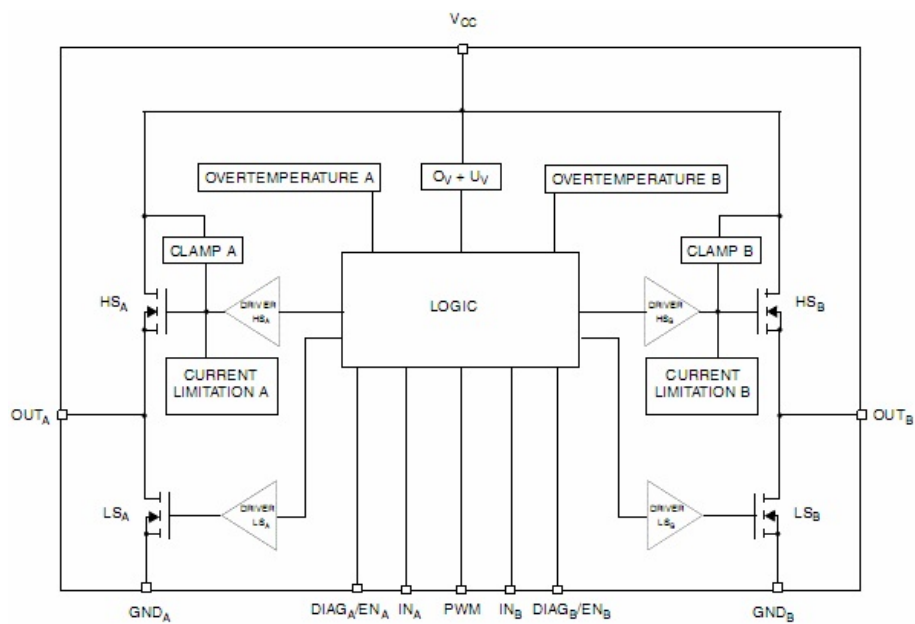
2.5 Driver pro řízení motoru

Řízení motorů je realizováno pomocí H-můstku(obr. 2.6). H-můstek umožňuje velmi jednoduché ovládání motoru (změna směru, otáčení, apod.) Dále bylo potřeba rozhodnout jestli použít H-můstek postavený z diskretních tranzistorů, nebo použít monolitický integrovaný obvod. V dnešní době je nabízen velmi široký sortiment těchto obvodů. Součástí komerčně vyráběných obvodů je řada různých ochran (tepelná ochrana, ochrana proti sepnutí obou tranzistorů v jedné větvi a tím vzniklým zkratem), další velkou výhodou je minimalizace rozměrů oproti diskretní podobě H-můstku. Nevýhodou tohoto řešení je cena použitého obvodu. Výhodou naopak je možnost zakoupit již hotové moduly s osazenými obvody.

Driver(H-můstek) je ovládán PWM signálem, kterým je řízeno otevírání jednotlivých tranzistorů v můstku. Pro řízení motorů byl vybrán integrovaný obvod VNH3SP30[32](obr.2.7).



Obrázek 2.6: H-můstek [44]



Obrázek 2.7: Blokové schéma vybraného obvodu[32] [45]

2.6 Dálkové ovládání

Dálkové ovládání je řešeno rádiově pomocí vysílače a přijímače. Na trhu je dostupný poměrně rozsáhlý sortiment pro RC modeláře. K ovládání robota dostačují dva kanály (první kanál pro ovládání směru a druhý pro jízdu vpřed nebo vzad). Zvoleno bylo zařízení, které disponuje čtyřmi kanály, z důvodu rozšíření v budoucnu o možnost ovládání natáčení a naklápění kamery umístěné na otočném podstavci. Byl vybrán typ Spektrum AR400[8](obr.2.8 vlevo). Dále bylo potřeba vybrat k přijímači vysílač. Z dokumentace výrobce přijímače bylo vybráno podporované zařízení Spektrum DX5e[9](obr.2.8 vpravo).



Obrázek 2.8: Přijímač [49] a Vysílačka[50]

2.7 Alternativní ovládání

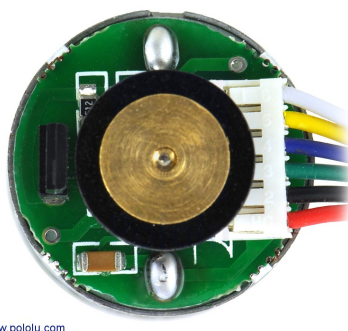
Pro možnost připojení alternativního ovládání bude na řídicí desce vyveden konektor pro připojení Raspberry Pi[36] a sériová linka USART2. Vyvedená sériová linka umožňuje připojit např. Bluetooth moduly, nebo jiné bezdrátové komunikační moduly, které komunikují s mikrořadičem prostřednictvím sériové linky.

Raspberry Pi[36] je jednodeskový počítač o velikosti platební karty. Osazen je výkonným ARM procesorem o taktu 700 MHz. Umožňuje připojit kameru přes USB, nebo přímo pomocí CI portu. Do USB portu je možné připojit téměř jakýkoliv Wi-Fi modul. Pomocí Raspberry Pi tedy můžeme robota rozšířit o výkonnější řízení, kameru a ovládání pomocí Wi-Fi.

2.8 Ovládání rychlosti robota

Pro precizní ovládání robota je důležité přesné řízení rychlosti jeho pohybu. To zajistí zpětná vazba, kterou zprostředkovávají snímače otáček u každého motoru. Ke snímání je využito enkodéru, který je součástí motoru.

Enkodér je vyráběn v několika provedeních a to optický, mechanický, nebo magnetický. Pro lepší odolnost proti znečištění je lépe použít enkodér pracující na magnetickém principu. Kde na rotoru motoru je umístěn permanentní magnet a v určité vzdálenosti od něj je umístěn snímač magnetického pole (Hallův senzor). Hallův senzor je tvořen tenkou polovodičovou destičkou, která je opatřena dvěma páry kontaktů. Jeden pár je použit k přivádění proudu a druhý pár k odebrání výstupního Hallova napětí. Nepůsobí-li magnetické pole, jsou proudové dráhy v destičce rozloženy rovnoměrně a Hallovo napětí je nulové. V magnetickém poli působí magnetická indukce na nosiče proudu silou kolmou k jejich pohybu a stlačuje proudové čáry k jedné straně destičky. V důsledku toho vzniká na tenkých kontaktech rozdíl potenciálů, zvaný Hallovo napětí.



Obrázek 2.9: Enkodér umístěný na motoru.[48]

2.9 Detekce překážek

K detekci překážek v cestě robota je možné použít několik způsobů a to pomocí radaru, laserového dálkoměru, ultrazvukového senzoru a infračerveného dálkoměru. Pro konstrukci robota byly zvoleny dva senzory a to infračervený a ultrazvukový. Princip jejich funkce je obdobný. Oba využívají odrazu vlnění (světelného nebo mechanického) od překážky.

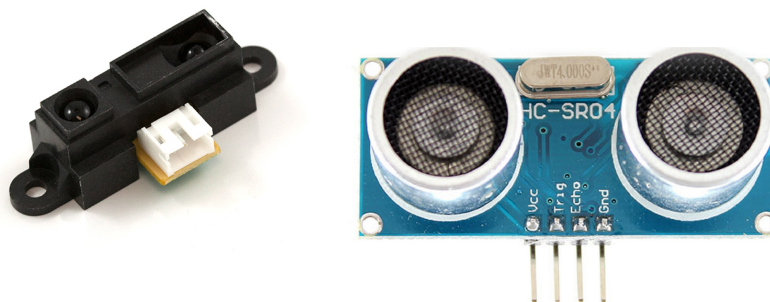
Volba osadit robota dvěma senzory pro měření vzdálenosti od překážky vyplývá z jejich nedokonalosti. Každý ze senzorů se hodí pro detekci jiného typu překážek. Protože velikost energie, která se odrazí zpátky k senzoru je závislá na mnoha parametrech překážky. Záleží na rozměrech, tvaru a vlastnostech materiálu, ze kterého je překážka tvořena dále pak na úhlu dopadu, kdy může dojít k odrazu vlnění jiným směrem, než ke zdroji ze kterého bylo vysláno (na podobném principu je založena technologie "neviditelnosti" stealth). Z materiálového hlediska můžou nastat situace, kdy pro danou vlnovou délku (vlnění vyslané zdrojem) bude materiál transparentní (například sklo), dále bude záležet na jeho indexu lomu, nebo může dojít k jeho pohlcení a přeměnění na teplo.

2.9.1 Infračervený dálkoměr

Infračervený dálkoměr vyhodnocuje vzdálenost na základě velikosti výkonu odraženého záření od předmětu, čím je robot blíže překážce, tím větší výkon dopadá na senzor a opačně s rostoucí vzdáleností. Používá se k detekování překážek, které jsou ve vzdálenosti 10 cm a více. Nevýhodou infračervených dálkoměrů je, že kvalita odrazu je částečně závislá na barvě povrchu, proto je důležité vybrat takový dálkoměr, který má závislost co nejmenší, aby byla reprezentace změřených dat co možná nejvěrnější. Byl použit senzor od firmy SHARP GP2Y0A21[27] (obr. 2.10 vlevo), který je schopen detekovat překážku ve vzdálenosti od 10 cm až do 80 cm. Dle datasheetu je kvalita odrazu od bílé a šedé překážky téměř stejná (viz. graf 4.1).

2.9.2 Ultrazvukový dálkoměr

Ultrazvukový dálkoměr pracuje na principu Doplerova jevu, kde vysílač vyšle ultrazvukovou vlnu a přijímač přijme odraženou vlnu od překážky. Následně se z rychlosti šíření vlny vypočte vzdálenost od překážky. Nevýhodou ultrazvukového dálkoměru je závislost změřených údajů na teplotě, protože rychlost šíření vlny v prostředí je závislá na teplotě (v tomto případě na teplotě vzduchu). Je proto nutné provést korekci vlivu teploty na rychlost šíření. Ke znehodnocení měření může dojít i v případě odrazu vlny pod tupým úhlem. Výhodou ultrazvukových dálkoměrů je naopak nezávislost na barvě překážky a schopnost detekovat překážky ve vzdálenosti řádově jednotky metrů. V konstrukci robota byl použit senzor ElecFreaks HC-SR04[28]. Senzor je schopen detekovat překážku ve vzdálenosti 2 až 400 cm a výrobcem udávanou přesností ± 3 mm. Vyzařovací úhel dálkoměru je 15° . Vlastnosti prostředí (teplota a vlhkost) jsou měřeny senzorem SHT15 a z těchto hodnot je pak provedena korekce.



Obrázek 2.10: Sharp GP2Y0A21[27] a Ultrazvuk HC-SR04[28]

2.10 Teplotní a vlhkostní čidlo

Pro správnou funkci ultrazvukového senzoru je potřeba znát teplotu okolního prostředí, ve kterém se robot pohybuje. Pro měření teploty byl zvolen senzor SH15[10] od firmy Sensirion, které ještě měří relativní vlhkost. Je již z výroby zkalibrované. Pracovní rozsah čidla relativní vlhkosti je 0 až 100 % s přesností $\pm 2\%$ RH. Rozsah teplotního čidla je $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $123,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Čidlo jsem již použil ve své Bakalářské práci a je napájené již na desce včetně přilepené plastové ochrany s propustnou membránou proti nečistotám.

2.11 GPS modul

Pro případné využití autonomního řízení robota je vhodné robota vybavit GPS přijímačem, aby jsme byli schopni určit jeho polohu. Pro mé použití dostačuje v podstatě jakýkoliv GPS přijímač. Takřka všechny dostupné na trhu komunikují pomocí USART sběrnice, takže není problém je připojit k libovolnému mikrořadiči. Požadavkům vyhovuje GPS modul GPS Trimble Anapala ACM[26]. Tento modul je zároveň kombinován i s anténou.



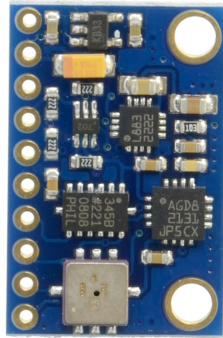
Obrázek 2.11: GPS Trimble Anapala ACM[26]

2.12 Modul detekce pohybu

Velmi důležité je znát aktuální polohu, náklon a nebo orientaci robota v prostoru. Proto je nutné dále robota vybavit senzory pro detekci pohybu. K tomuto účelu je možné použít gyroskop, akcelerometr a magnetometr.

Pomocí gyroskopu jsme schopni zjistit úhlovou rychlost. S akcelerometrem se můžeme setkat nejčastěji v mobilních telefonech. Využívají se pro měření zrychlení, ze kterého pomocí dvojité integrace dostaneme vzdálenost, kterou jsme urazili za určitou dobu. Využití najde i pro měření vibrací. V kombinaci s gyroskopem můžeme vytvořit automatický záznam ujeté cesty, nebo měřit náklony v jednotlivých osách. Magnetometr je využit jako kompas, pracuje na principu měření zemského magnetického pole.

Na trhu lze zakoupit jak samostatné obvody, tak i hotové moduly, kde jsou již čidla osazeny a připraveny k použití. Pro potřeby robota jsem zvolil modul GY-80[11]. Modul obsahuje 3-osý gyroskop (L3G4200D[12]), 3-osý akcelerometr (ADXL345[13]), 3-osý magnetometr (HMC5883L[14]) a dokonce i barometr (BMP085[15]). Barometr je pro potřeby robota takřka zbytečný a proto nebude používán, ale řídicí modul bude připravena na jeho případné použití. Modul komunikuje s mikrořadičem přes I2C sběrnici.



Obrázek 2.12: Modul GY-80[11][40]

2.13 Napájení robota

Zdroj energie je velmi významný prvek v konstrukci robota. Na jeho parametrech závisí doba, po kterou je robot schopen vykonávat námi zadanou práci. Dále pak ovlivňuje schopnost robota překonat překážky v terénu vlivem své hmotnosti a objemu. Velmi záleží na rozložení hmotnosti v konstrukci robota, proto není vhodné použití jednoho zdroje s velkou kapacitou akumulované energie, ale použití více zdrojů s menší kapacitou (a hmotností) a díky tomu lépe rozloženou hmotou robota.

Existuje velmi široký sortiment akumulátorů lišících se výrobní technologií a použitím. Akumulátory můžeme rozdělit do dvou skupin podle pH faktoru elektrolytu. A to na akumulátory s kyselým nebo zásaditým elektrolytem. Do první kategorie spadají olověné akumulátory s kapalným elektrolytem nebo elektrolytem ve formě gelu. Do druhé kategorie pak spadají akumulátory nikl-kadmiové (NiCd), nikl-metal hydridové (NiMH), lithium-iontové (Li-ion), lithium-polymerové (Li-Pol) a lithium-železo-fosfátové (LiFePO4).

Důležitými parametry akumulátoru jsou: kapacita, svorkové napětí, počet vybíjecích a nabíjecích cyklů, pracovní rozsah teplot, velikost proudu, kterou je schopen dodat do zátěže, samovybíjení a s tím související doba skladovatelnosti akumulátoru. Více informací o akumulátorech je možné dohledat v literatuře [37].

2.13.1 Olověné akumulátory

Olověné akumulátory se pro svoji hmotnost (při přepočtení kapacity akumulátoru na objem a hmotnost) nehodí pro náš účel použití. Další jejich velkou nevýhodou je sulfatace elektrod, vlivem které dochází ke snížení kapacity, je-li ponechán několik dní v nedostatečně nabitém stavu, nebo úplně vybitý. Dále pak nepřipadá v úvahu použití olověných akumulátorů s kapalným elektrolytem, kde by vlivem převrácení robota mohlo dojít k jeho úniku a tím k poškození konstrukce robota. Články s elektrolytem na bázi gelu mohou pracovat v libovolné poloze, mají však vyšší vnitřní odpor a proto se nedoporučují pro aplikace s extrémně velkými proudovými odběry.

2.13.2 Nikl-kadmiové akumulátory (hermetizované provedení)

Jejich velkou výhodou je možnost skladování těchto akumulátorů ve vybitém stavu, s tím související odolnost proti stavu hlubokého vybití. Ve srovnání s NiMH a Li-ion akumulátory má menší kapacitu při stejném objemu a hmotnosti.

2.13.3 Nikl-metal hydridové (NiMH)

Tento typ akumulátoru má přibližně dvojnásobnou kapacitu oproti NiCd akumulátorům při stejné hmotnosti. NiMH akumulátory nejsou příliš vhodné pro aplikace, kde se požaduje vybíjení extrémně velkými proudy.

2.13.4 Lithium-iontové (Li-ion)

Akumulátory mají skoro trojnásobně vyšší kapacitu než NiMH akumulátory, minimální samo-vybíjení, vysoká hodnota nominálního napětí článku (3,6 V), neuplatňuje se paměťový efekt. Tomuto typu akumulátoru vadí úplné vybití, dále by nemělo svorkové napětí klesnout pod 2,8 V (dojde k jeho poškození, nebo zničení). Neměli by se skladovat v plně nabitém stavu, protože dochází k poklesu jejich kapacity. Při zkratu nebo přebíjení může dojít k výbuchu a ke vznícení. Dále musí být akumulátor vybaven elektronikou, která chrání jednotlivé články před nadměrným vzrůstem teploty tak, že je odpojí, dále je hlídán nadproud, podpětí a přepětí.

2.13.5 Lithium-polymerové (Li-Pol)

Akumulátory konstrukčně vycházejí z akumulátorů Li-ion. Výhodou je dlouhá životnost a počet nabíjecích cyklů, teplotní rozsah použití (-10 až +50 stupňů), vysoký vybíjecí proud (až padesáti násobek kapacity článku), který se hodí pro použití v modelářské technice a u konstrukce robota. Dále pak možnost spojení více článků do série. Nevýhody: každý článek musí obsahovat řídicí elektroniku, která ho chrání před stavem hlubokém vybití (pokles napětí pod 2,7 V), přebitím a zkratem. Při dlouhodobém nepoužívání dochází k jeho poškození.

2.13.6 Zvolený akumulátor

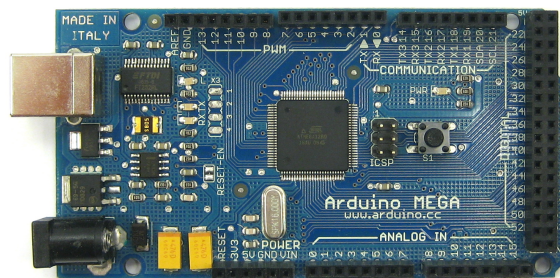
Pro napájení robota byli zvoleny dva Li-Pol akumulátory, které budou paralelně spojeny. Jedná se o dvou-čláňkové akumulátory s napětím 7,4 V a kapacitou 5200 mAh (38,5 Wh). Maximální trvalý proud odebíraný z akumulátoru je 208 A, špičkově lze zatížit akumulátor proudem až 416 A [?]. Akumulátor je uložen v plastovém pouzdře, aby nedošlo k jeho poškození. Výrobce motoru uvádí, že maximální proud odebíraný motorem je 6A. Maximálně tedy šestice motorů může odebírat proud 36A. Akumulátory by měli proto vydržet napájet robota při maximálním odběru motorů cca 15 minut. V reálné situaci, ale nebudou motory zatěžovány na plný výkon stále, což výdrž robota prodlouží.

2.14 Výběr mikrořadiče pro řídicí desku a moduly

Mikrořadič byl vybírán s ohledem na jeho použití a co nejjednodušší způsob programování. Při hledání podvozku jsem nejčastěji narazil na řídicí elektroniku postavenou na mikrořadičích od firmy Atmel, které jsou použity na deskách Arduino[1]. Arduino se poměrně masově rozšířilo v poslední době díky své jednoduchosti a dostupnosti. Proto jsem jako první variantu zvolil Arduino[1], konkrétně Arduino Mega[?] s procesorem ATmega2560. Jako druhou variantu jsem zvolil mikrořadič ARM STM32F401RET6 od firmy STMicroelectronics, který je možné zakoupit na již hotové vývojové desce ST Nucleo F401RE.

2.14.1 Arduino Mega

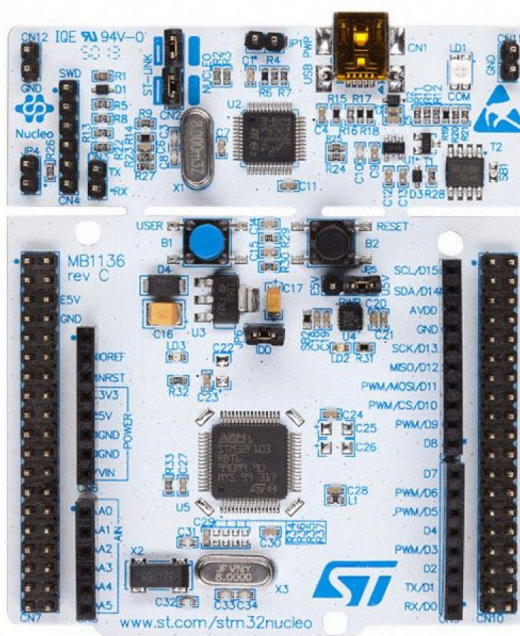
Arduino Mega[16] nabízí všechny možnosti procesoru ATmega2560[7]. K dispozici je mnoho různých modulů, které lze připojit. Arduino[1] má vlastní IDE pro programování již s předpřipravenými knihovnami pro ovládání periférií procesoru. Všechny(nebo téměř všechny) Arduino[1] desky a moduly mají veřejně přístupné podklady pro výrobu a tak si je může každý sám doma vyrobit, nebo si je nechat vyrobit nějakou firmou na zakázku. Napájet je možné Arduino[1] i z externího zdroje 7-12 V. Nevýhodou je v případě nákupu cena, která je 1230 Kč.



Obrázek 2.13: Arduino Mega[16][41]

2.14.2 ST Nucleo F401RE

Poměrně nedávno uvedla na trh společnost STM desku Nucleo F401RE[2]. Její nespornou výhodou oproti Arduino je cena (350 Kč) nejspíše dotovaná firmou a použitý mikrořadič s architekturou ARM. Další výhodou je možnost použít moduly vyvinuté pro desky Arduino díky schodnému "Arduino konektoru". Je ovšem potřeba si dát pozor na napěťové úrovně. Arduino pracuje na napěťové úrovni 5 V, kdežto Nucleo na 3,3 V. Podporovány jsou moduly revize Arduino Uno 3. Kromě "Arduino konektoru" jsou na desce vyvedeny všechny piny procesoru do dvou 38 pinových konektorů (Morpho headers). Je proto snadno možné navrhnout další moduly. Použitý mikrořadič STM32F401RET6 je architektury ARM Cortex-M4 s taktem 84 MHz a 512 kB flash, na kterém je možné využít deseti-kanálový 12-bit AD převodník, až 3 I2C, USART sběrnice, až 4x SPI sběrnici. Deska obsahuje i programátor (ST-LINK/V2.1[17]), který je možné v případě potřeby odlomit a zmenšit tím rozměr desky. Deska má stejně jako Arduino možnost externího napájení 7-12 V.



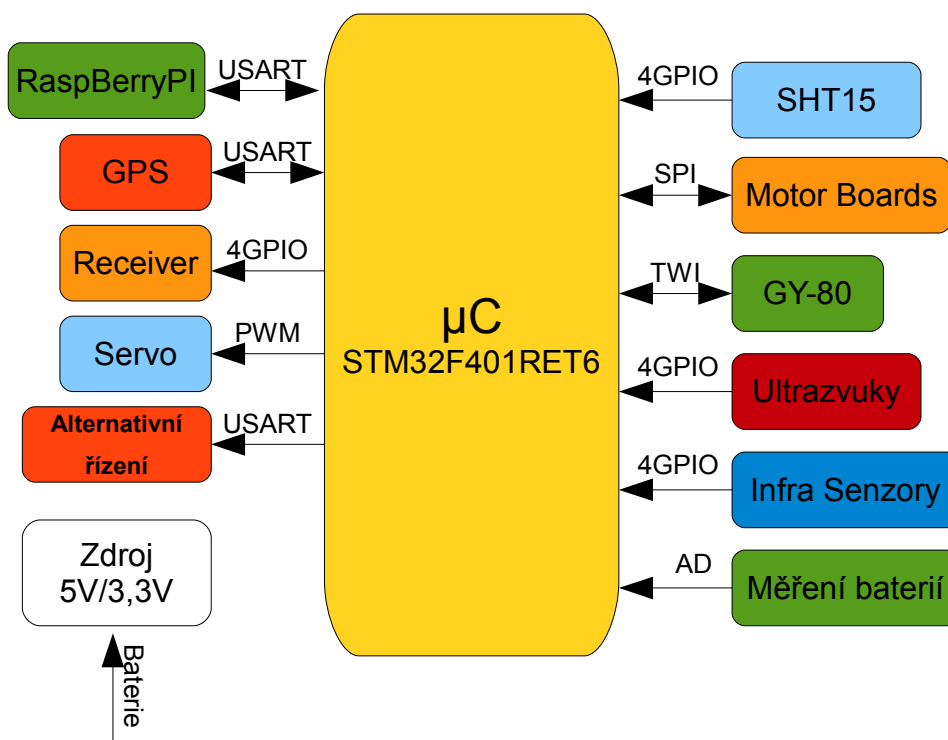
Obrázek 2.14: Nucleo F401RE[2][42]

2.14.3 Konečný výběr mikrořadiče

Rozhodl jsem se použít desku Nucleo, jednak kvůli výhodné ceně a pro použitý typ mikrořadiče, který je výkonově dostatečně dimenzován a umožní i složitější implementace náročnější na výpočetní výkon. Dále je možné využít vnitřní čítače procesoru, které mají mód pro čtení enkodérů. Z desky lze odlomit programátor a zmenšit tak její rozměr. Procesor je napájen 3,3 V. Do budoucna bude možné připojovat i další periférie, protože moduly pro řízení motorů zdaleka nevyužijí plně možnosti mikrořadiče.

2.15 Řídicí modul

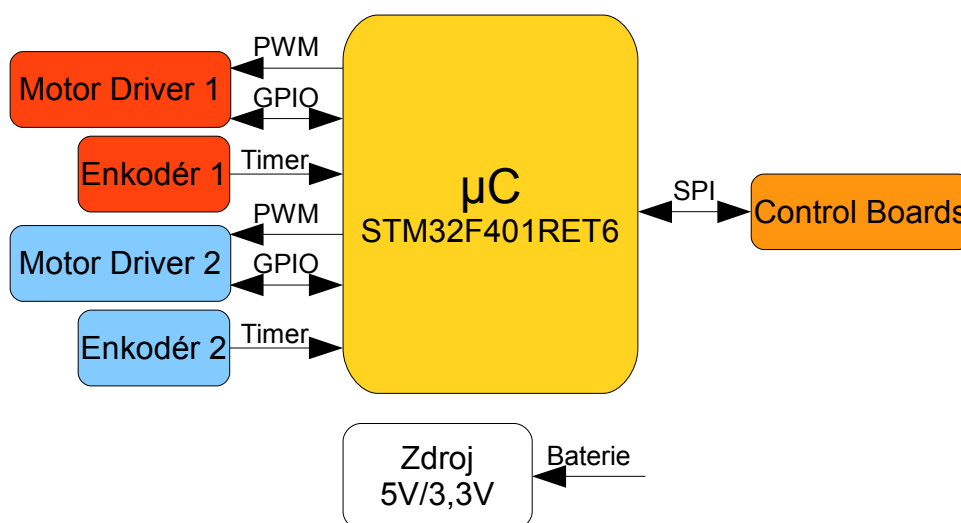
Řídicí modul bude v základu založen na zakoupené desce Nucleo. Pro připojení potřebných periférií bude navržena rozšiřující deska. Blokové schéma je na následujícím obrázku (obr.2.15).



Obrázek 2.15: Blokové schéma řídicí desky

2.16 Modul pro ovládání Motorů

Aby bylo možné ovládat každý motor zvlášť, je potřeba zhotovit desku pro jejich ovládání. Jedna deska bude schopna ovládat současně dva motory. S řídicí deskou bude propojena pomocí SPI sběrnice. Založena bude také na zakoupené desce Nucleo. K desce bude připojen pomocí "Arduino konektoru" modul s Drivery (MotorShield) pro ovládání dvou motorů. Dále budou k desce připojeny oba dva enkodéry od motorů pro zpracování hodnot z enkodéru, aby bylo možné vyhodnotit stav motoru. MotorShield pro ovládání motoru lze zakoupit, nebo si ho dle veřejně dostupné dokumentace[31] vyrobit.



Obrázek 2.16: Blokové schéma řídicí desky

2.17 Cenová kalkulace

Níže uvedená cenová kalkulace je provedena pouze pro nákladné položky. Pod položkou součástky jsou myšleny jak elektronické součástky, tak i různé šrouby, které byly potřeba pro smontování. Vyšší cena některých komponent je způsobena objednávkou ze zahraničí. Při realizaci podvozku se povedlo snížit náklady využitím školní dílny FA ČVUT.

Položka	Počet	Cena za kus	celkem
Motor	6	1000 Kč	6000 Kč
Kola(pár)	3	420 Kč	1260 Kč
Tlumiče(pár)	3	500 Kč	1500 Kč
DPS	1	2176	2176 Kč
Nucleo	4	350 Kč	1400 Kč
Infračervené dálkoměry	4	250 Kč	1000 Kč
Ultrazvukový dálkoměr	1	75 Kč	75 Kč
GPS modul	1	550 Kč	550 Kč
čidlo SHT15	1	700 Kč	700 Kč
modul GY-80	1	500 Kč	500 Kč
Drobné součástky	1	2000 Kč	2000 Kč
RC přijímač	1	750 Kč	750 Kč
RC vysílačka	1	2000 Kč	2000 Kč
Li-Po akumulátor	2	1095 Kč	2190 Kč
Hliník	1	700 Kč	700 Kč
Použitá měď	1	800 Kč	800 Kč
Celkem			23 601 Kč

Tabulka 2.1: Cenová kalkulace výroby robota.

Kapitola 3

HW Realizace

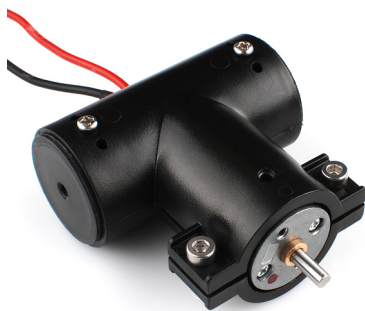
Tato kapitola popisuje samotnou výrobu podvozku, řídicí desky a modulu pro ovládání motorů. Schéma zapojení řídicího modulu je v příloze (C), schéma zapojení MotorShieldu je v příloze (A).

3.1 Realizace podvozku

Asi nejsložitější na celém robotovi bylo vyrobit podvozek. Při rozmýšlení jak podvozek bude finálně vypadat se objevilo pár problémů, které budou níže popsány. Naštěstí se vše podařilo zdárně vyřešit. Chtěl bych tímto ještě jednou poděkovat Vratislavovi Polívkovi z dílen FA ČVUT, který mi umožnil přístup do dílen a pomohl podvozek vyrobit. Na internetu byly nalezeny technické výkresy [30] celého podvozku, díky čemuž se výroba o něco zjednodušila. Jako výchozí materiál pro podvozek, byl zvolen hliníkový profil. Jednak z důvodu nízké hmotnosti, snadné obrobitelnosti a dostačující mechanické odolnosti. Dále byly do profilu vyvrtány otvory pro šroubky M3 s roztečí 10mm. Tím došlo k dalšímu snížení hmotnosti. Tyto otvory jsou pak dále použity k montáži zařízení na podvozek.

3.1.1 Uchycení motorů

První problém, který bylo potřeba řešit bylo uchycení motorů k podvozku. V originálním výrobku je motor zamontován do plastového pouzdra tvaru T (obr.3.1). Toto pouzdro bohužel není možné koupit od výrobce podvozku. První pokusy o výrobu pouzdra byly realizovány 3D tiskem plastového materiálu na fakultní 3D tiskárně. Bylo vyzkoušeno několik variant tisku, ale ani jeden z vytisknutých prototypů nevydržel mechanické namáhání a po nějaké době praskl.



Obrázek 3.1: Plastový profil pro uchycení motoru[43].

Pomineme-li možnost nechat si plastové pouzdro vyrobit na míru od nějaké firmy, nabízela se jako další možnost vyrobit pouzdro z kovu. Nejjednodušší možnost byla využít měděné topenářské trubky, které se shodou okolností vyrábějí s potřebným vnitřním průměrem, aby se motor přesně vešel. Nakoupenou měď bylo potřeba osoustružit, protože T-profilky byly moc široké. Aby bylo možné T-profil pohyblivě uchytnout k hliníkové konstrukci jsou zalisována do boků ložiska. T-profil bylo ale nutné udělat rozebírací, aby bylo možné ho přidělat k podvozku, protože se zabudovaným motorem by to už nebylo možné. Motor je uchycen pomocí dvou šroubků k víčku, které je přiletované k trubce (obr.3.2), která se i s motorem zasouvá do T kusu. Trubka i s motorem se pak pomocí šroubů připevní k T kusu.



Obrázek 3.2: Příprava pro pájení mědi.

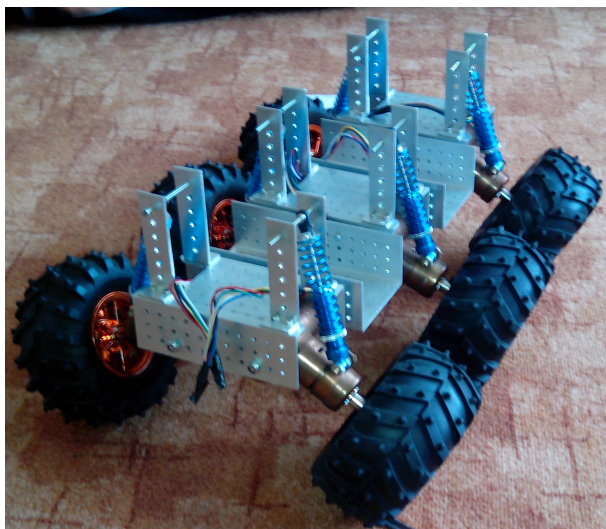
Nakonec se podařilo vyrobit všechny potřebné T-profilu pro uchycení motorů. Jedinou nevýhodou řešení je navýšení hmotnosti jednoho kola s motorem, které nyní váží 500g. Později při testování se ukázalo, že je to naopak výhodou a celý podvozek épe kopíruje tvar povrchu trasy.



Obrázek 3.3: Smontované kolo včetně měděného T-profilu.

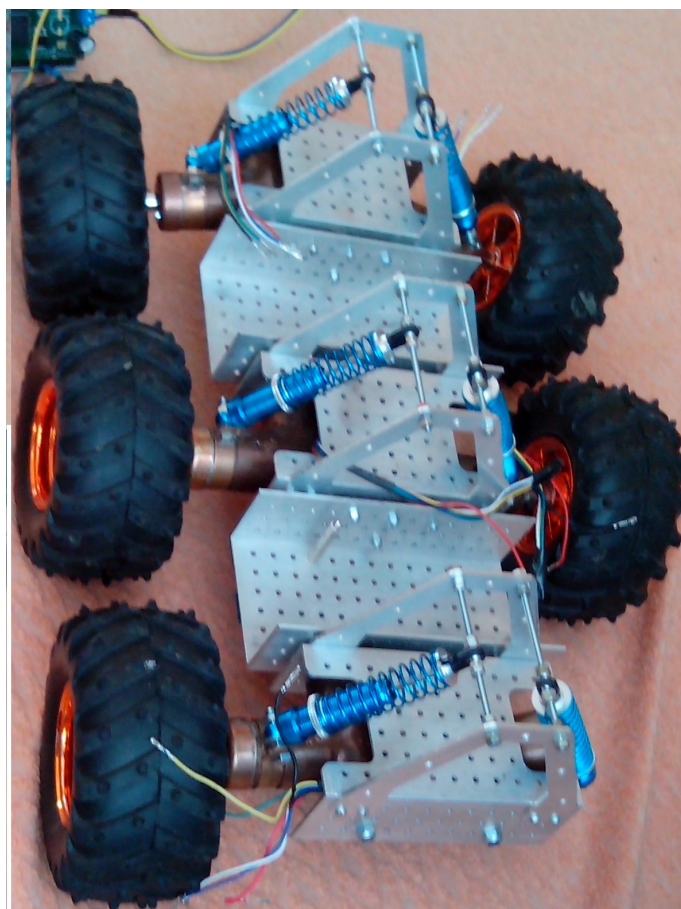
3.1.2 Odpružení podvozku

Druhým problémem, který bylo potřeba vyřešit bylo odpružení podvozku. Výrobce podvozku má vždy sousední kola spojená pomocí ocelového lanka, které vymezuje pohyb kol a na opačné straně profilu má pružinu, která opět spojuje oba motory. Toto řešení se nepodařilo zkonstruovat, proto byly k odpružení podvozku použity modelářské olejové tlumiče. Tlumiče bylo potřeba pomocí měděných ok připevnit k T-profilu, kde je zamontován motor. V první byly tlumiče k podvozku připevněny pomocí hliníkových L-profilů (obr.3.4). Toto řešení se ale neosvědčilo, protože byli zakoupeny robustnější tlumiče z obavy, že by kratší tlumiče váhu podvozku neudrželi. Kola měli tendenci se naklápět pod podvozek. Bylo proto nutné L-profilu posunout více do středu. Toto řešení způsobovalo ale problém s umístěním elektroniky, která by se již nevešla na podvozek.



Obrázek 3.4: První verze uchycení tlumičů.

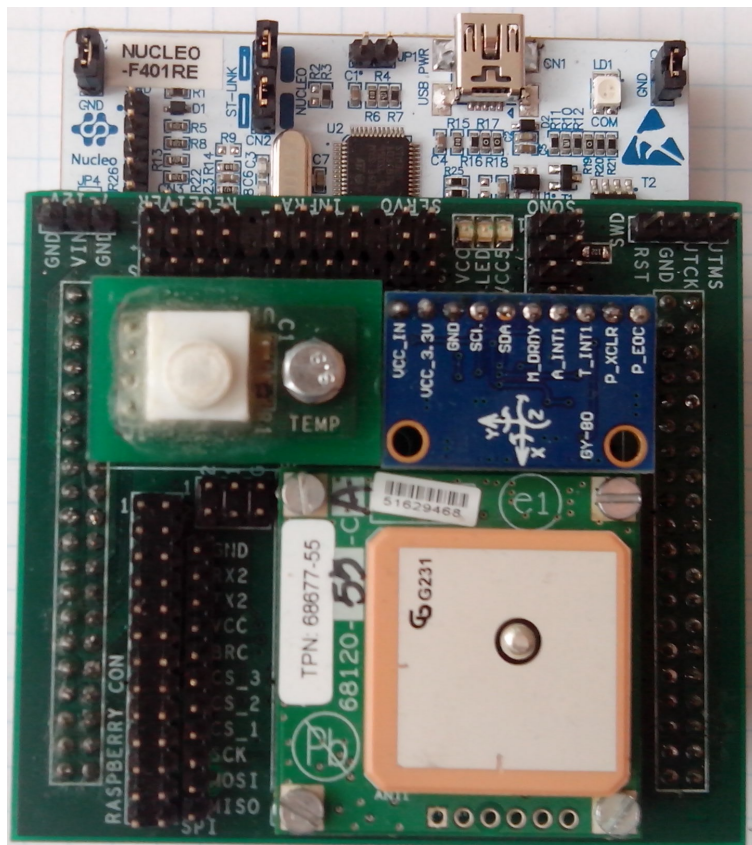
Problém byl vyřešen pomocí vyfrézovaných hliníkových trojúhelníkových profilů, které jsou uchyceny na boku podvozku a pod nimi je volné místo pro umístění elektroniky.



Obrázek 3.5: Finální uchycení tlumičů.

3.2 Řídicí modul

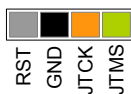
Řídicí modul je založen na desce Nucleo, ke které bylo potřeba navrhnout rozšiřující modul pro připojení všech potřebných periférií a modulů. Pokud je v níže popisovaných konektorech a zapojeníh uváděna zkratka VCC, je tím myšleno napětí 3,3 V. Obdobně u zkratky VCC5 je myšleno napětí 5 V.



Obrázek 3.6: Připojený řídicí modul k desce Nucleo.

3.2.1 Deska Nucleo

Deska Nucleo nabízí pro rozšíření dva 38 pinové konektory, na kterých jsou vyvedeny všechny piny procesoru. Do těchto konektorů bude připojen navrhovaný rozšiřující modul. Pro případ, že bude odlomena část desky, kde se nachází programátor je třeba na rozšiřujícím modulu vyvést i piny potřebné pro programování procesoru. Jedná se o jednoduše připojitelné rozhraní ST-LINK/V2.1, pomocí kterého lze desku jak programovat, tak i debugovat. Rozhraní pro svojí činnost potřebuje pouze dva piny JTMS a JTCK. Nesmíme zapomenout samozřejmě na zem. Programovací rozhraní je vyvedeno na 4 pinový konektor (obr.3.7), kde je vyveden ještě i Reset procesoru, protože připojením modulu se vyvedený Reset na desce zakryje.



Obrázek 3.7: Konektor pro připojení programátoru.

3.2.1.1 Napájení desky

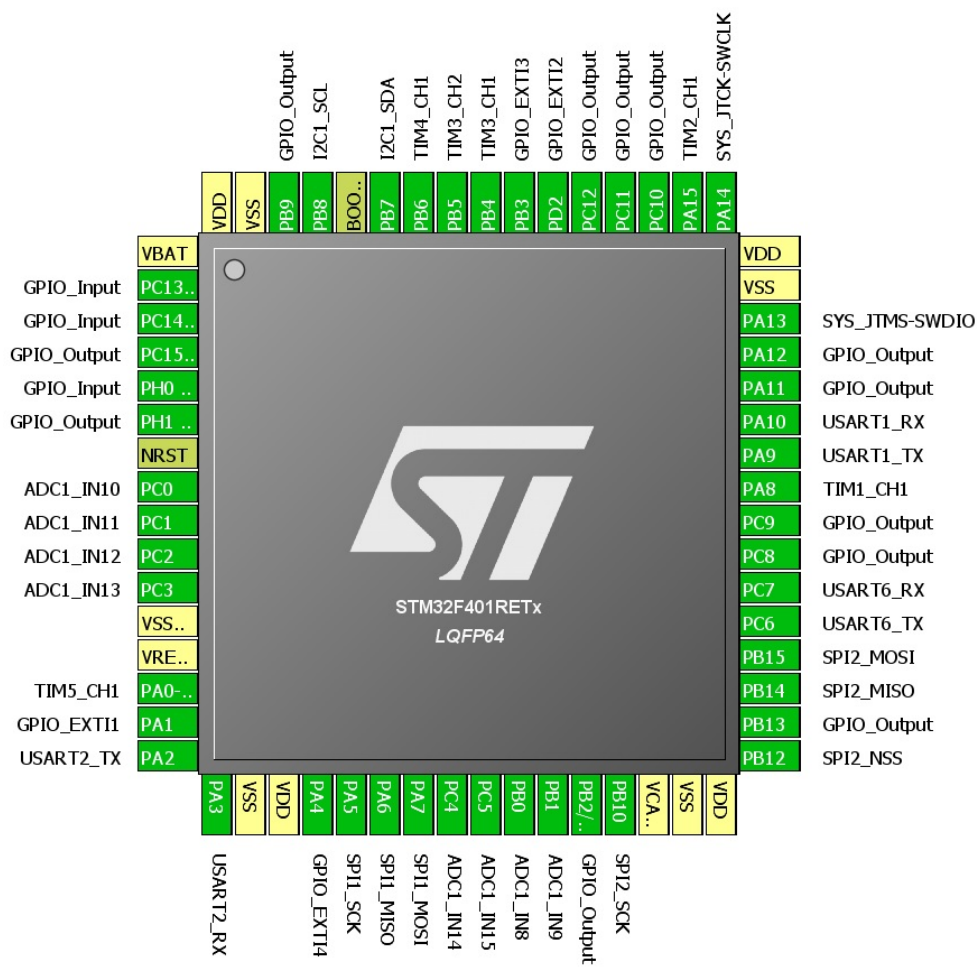
Deska Nucleo umožňuje připojení napájecího zdroje v napěťovém rozsahu 7-12 V. Není proto třeba již žádný zdroj pro řídicí desku extra dodělat. Pro připojení napájecího napětí je na rozšiřující desce vyveden 3 pinový konektor (obr.3.8), kde je k oběma krajním pinům připojena zem a na prostřední pin je připojeno vstupní napájecí napětí z akumulátoru. Tímto způsobem je hodně snížena pravděpodobnost přepólování vstupního napětí. Proti případnému poškození přepólováním, je na desce umístěna shottky-ho dioda. Na desce Nucleo je dále potřeba správně nakonfigurovat, že budeme napájena z pinu VIN. K tomuto účelu slouží propojka JP5, kde se musí propojit prostřední pin s krajním pinem označeným jako E5V. Dále je třeba odebrat propojku z konektoru JP1. Po připojení externího napájení můžeme odebírat proud až 800 mA. Na desce jsou osazeny signalizační LED diody pro jednotlivá napětí, aby bylo zřetelně vidět, že napájecí zdroje fungují.



Obrázek 3.8: Napájecí konektor.

3.2.2 Rozvržení využití mikrořadiče

Mikrořadič umožňuje různě přemapovat periférie na výstupní piny. Aby nedošlo k omylu při návrhu, nabízí firma STM k dispozici program STM32cubeMX[33], ve kterém si můžeme předem navrhnout na jakém pinu bude vyvedena konkrétní periférie (např. vstupy čítačů), nebo jen nastavit, zda to bude výstupní či vstupní port. Program je velmi přehledný a pomůže vyloučit chyby při návrhu. Při navrhování upozorňuje, které sběrnice již nejde využít, popřípadě které funkce čítače je možné se zbývajícými piny využít. Program umožňuje i další nastavení. U sběrnice si můžeme nastavit její parametry, jako je rychlost, počet přenášených bitů, nebo nastavit hodiny mikrořadiče. Na základě nastavených parametrů je pak schopen vygenerovat již přednastavený projekt s knihovnamy pro programování. Tato možnost nebyla využita.



Obrázek 3.9: Rozvržení využití pinů mikrořadiče (vygenerováno pomocí STMCube).

3.2.3 Modul GY-80

Modul GY-80 má 10 pinový konektor, na kterém je vyvedena I2C sběrnice pro komunikaci s obvody. Dále jsou vyvedeny signály z jednotlivých obvodů pro využití přerušení. Modul je možné napájet jak 3,3 V, tak i 5 V. Využito je napájení 3,3 V, aby nemusel být přidán do série rezistor ke každému výstupnímu signálu modulu. Modul je již osazen pull-up rezistory na I2C sběrnici i blokovacími kondenzátory a tak není nutné je osazovat na řídicí desce. Využité piny procesoru jsou popsány následující tabulce. Zapojení konektoru pro připojení modulu je na obr.3.10.

Signál	Pin_MCU
SDA	PB7
SCL	PB8
M_DRDY	PA1
A_INT1	PA4
T_INT1	PB3
P_XCLR	PH1
P_EOC	PD2

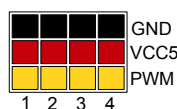
Tabulka 3.1: Piny mikrokontroléru využité pro připojení modulu k řídicí desce.



Obrázek 3.10: zapojení konektoru pro připojení modulu GY-80.

3.2.4 RC přijímač

RC přijímač převádí přijaté signály z vysílačky na PWM signály, které jsou dostupné na pinech pro jednotlivé kanály. K desce je možné připojit 4 kanálový přijímač. Napájecí napětí přijímače je 5 V, ale výstupní signály PWM jsou 3,3 V kompatibilní a není proto nutné pro připojení k mikrořadiči přidávat do série rezistor. Jednotlivé PWM signály jsou připojené k mikrořadiči pomocí pinů uvedených v tabulce 3.2. Na desce je připraven hřebínkový konektor 3.11, na kterém je vyvedeno vždy napájení, zem a vstupní PWM signál.



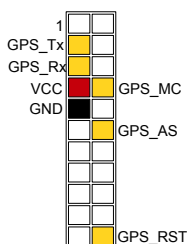
Obrázek 3.11: Zapojení konektoru pro připojení RC přijímače.

Signál	Pin_MCU
CH_1	PA8
CH_2	PB6
CH_3	PA15
CH_4	PA0

Tabulka 3.2: Piny mikrokontroléru využité pro připojení RC přijímače.

3.2.5 GPS

GPS modul je připojen k mikrořadiči prostřednictvím sběrnice USART1. Modul má napájecí napětí 3,3V, nebylo proto třeba žádných dalších součástek pro jeho připojení k procesoru. Kromě komunikační sběrnice jsou připojeny ještě další signály z modulu. Připojen je reset modulu. Pro možnost ovládní módu modulu (režim Stand-by, nebo Run) je připojen signál GPS_MC. Signál GPS_AS je určen pro zjištění stavu připojení antény. Pro připojení modulu je na desce připraven 22 pinový konektor. Piny mikrořadiče využité pro připojení GPS modulu jsou uvedeny v tabulce 3.3.



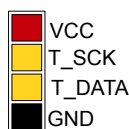
Obrázek 3.12: Zapojení konektoru pro připojení GPS modulu.

Signál	Pin_MCU
GPS_Rx	PA10
GPS_Tx	PA9
GPS_MC	PC9
GPS_AS	PA11
GPS_RST	PC8

Tabulka 3.3: Piny mikrokontroléru využité pro připojení GPS modulu.

3.2.6 Čidlo SHT15

Pro modul s čidlem SHT15 je připraven konektor 3.13 pro jeho připojení. Modul již má u sebe všechny potřebné součástky (10 kΩ pull-up rezistor a 100 nF blokovací kondenzátor). Použité piny mikroprocesoru jsou uvedeny v tabulce 3.4.



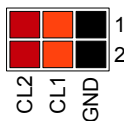
Obrázek 3.13: Konektor pro čidlo SHT15.

Signál	Pin_MCU
T_DATA	PH0
T_SCK	PC15

Tabulka 3.4: Piny mikrokontroléru využité pro připojení čidla SHT15.

3.2.7 Měření Akumulátorů

Akumulátory, které napájejí robota je nutné měřit, aby nedošlo k jejich úplnému vybití. Pokud by došlo k jejich vybití mohlo by dojít k jejich zničení. Proto je nutné v průběhu jízdy měřit jejich svorkové napětí. Pro měření akumulátorů je připraven konektor 3.14, ke kterému jsou akumulátory připojeny. Protože je napětí na akumulátoru moc vysoké (7,4 V) a došlo by po přímém připojení k AD převodníku k jeho zničení, je nutné provést jeho přizpůsobení rozsahu AD převodníku odporovým děličem. Akumulátor se skládá ze dvou článků, každý má napětí 3,7 V. Připojena je tak, že se měří první článek a celý akumulátor. První článek je připojen k AD převodníku pomocí napěťového děliče v poměru 1:2. Celá akumulátor je pak připojen k AD převodníku pomocí napěťového děliče s dělicím poměrem 1:3. Použité piny mikrořadiče jsou uvedeny v tabulce 3.5.



Obrázek 3.14: Konektor pro připojení Akumulátorů.

Signál	Pin_MCU
Vbat-1-1	PC1
Vbat-1-2	PC0
Vbat-2-1	PC2
Vbat-2-1	PC3

Tabulka 3.5: Piny mikrokontroléru využité pro měření akumulátorů.

3.2.8 Infračervený dálkoměr

Infračervený dálkoměr SHARP GP2Y0A21 vyžaduje napájecí napětí 5 V. Dálkoměr poskytuje naměřená data pomocí napěťového výstupu, který je v rozsahu -0.3 V až 5,3 V. Výstup z dálkoměru je připojen na AD převodník mikrořadiče přes napěťový dělič v poměru 1:2, protože referenční napětí AD převodníku je 3,3V. Připraven je konektor 3.15 pro připojení až 4 infračervených dálkoměrů. Použité piny jsou uvedeny v tabulce 3.6.



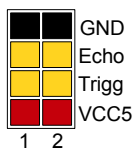
Obrázek 3.15: Infračervený dálkoměr, zapojení konektoru.

Signál	Pin_MCU
Infra_1	PB0
Infra_2	PB1
Infra_3	PC5
Infra_4	PC4

Tabulka 3.6: Piny mikrokontroléru využité pro infračervené dálkoměry.

3.2.9 Ultrazvukové dálkoměry

Ultrazvukový dálkoměr ElecFreaks HC-SR04 vyžaduje pro správnou funkčnost 5 V napájení. Samotné ovládání dálkoměru probíhá pomocí signálu Trigger. Výstupem dálkoměru je délka pulzu, který je nastaven na signálu Echo. Protože je dálkoměr napájen 5 V a výstupní signál Echo má 5V úroveň je potřeba do série přidat rezistor 1 k Ω , kterým snížíme napěťovou úroveň signálu. Deska je osazena konektorem 3.16 pro připojení dvou ultrazvukových dálkoměrů. Využité piny pro připojení dálkoměru jsou v tabulce 3.7.



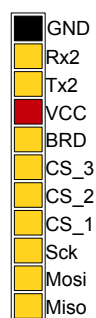
Obrázek 3.16: Ultrazvukový dálkoměr, zapojení konektoru.

Signál	Pin_MCU
Echo_1	PC13
Echo_2	PC14
Trig_1	PB9
Trig_2	PB13

Tabulka 3.7: Piny mikrokontroléru využité pro ultrazvukové dálkoměry.

3.2.10 Ostatní konektory

Dalšími konektory, které jsou na řídicí desce umístěny jsou konektor pro připojení Raspberry Pi a signálový konektor 3.17, na kterém je vyvedena SPI sběrnice pro komunikaci s ostatními moduly, které řídí motory. Na signálovém konektoru je pak dále vyveden USART2 pro připojení alternativního řízení.



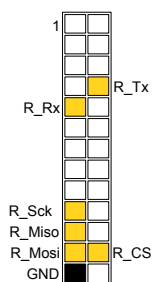
Obrázek 3.17: Signálový konektor.

3.2.10.1 Raspberry Pi

Pro připojení Raspberry Pi je na řídicí desce vyhrazen USART6 a sběrnice SPI1. Konektor pro propojení je zapojen dle konektoru, který je umístěn na desce Raspberry Pi. Jak řídicí modul, tak i Raspberry Pi jsou 3,3 V kompatibilní, proto nebylo třeba žádných převodníků úrovní. Zapojení konektoru je na obrázku níže.

Signál	Pin_MCU
R_Rx	PC6
R_Tx	PC7
R_SCK	PB10
R_MISO	PB14
R_MOSI	PB15
R_CS	PB12

Tabulka 3.8: Piny mikrokontroléru využité pro připojení Raspberry Pi.



Obrázek 3.18: Zapojení konektoru pro připojení Raspberry Pi.

3.2.10.2 Usart2

Pro alternativní způsob řízení je možné přes USART2 připojit k desce např. Bluetooth modul. USART2 je vyveden na signálový konektor 3.17. Je potřeba dát si pozor na to, že je USART2 pouze 3,3 V kompatibilní! Na konektoru je zároveň vyvedeno napájení 3,3 V a zem.

Signál	Pin_MCU
Tx2	PA2
Rx2	PA3

Tabulka 3.9: Piny mikrokontroléru využité pro USART2.

3.2.10.3 SPI

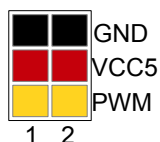
Pro komunikaci s deskami pro řízení motorů je na desce vyveden konektor s SPI sběrnici. Jelikož jsou moduly pro řízení motorů 3, tak je třeba vyvést i 3 piny procesoru pro CS (Chip Select) pro výběr které desce jsou data určena. Aby bylo možné jednoduše provádět broadcastové příkazy je na konektoru vyveden ještě jeden signál, který bude přiveden ke všem modulům pro řízení motorů. Zapojení konektoru 3.17) je popsáno na obrázku, který popisuje zapojení signálového konektoru.

Signál	Pin_MCU
K_MISO	PA6
K_MOSI	PA7
K_SCK	PA5
K_CS1	PC10
K_CS2	PC11
K_CS3	PC10
K_BRD	PA10

Tabulka 3.10: Piny mikrokontroléru využité pro SPI komunikující s moduly.

3.2.10.4 Servo

Pro případné využití servo motorů je k desce možné připojit dva servo motory. Servo motor je ovládán pomocí PWM signálu, které jsou připojeny k mikrořadiči dle tabulky 3.20. Pro připojení není třeba žádných dalších součástek, protože servo je možné ovládat i 3,3V napětovou úrovní. Napájení servo motoru je ale řešeno z 5 V. Na desce je tedy připraven 6 pinový konektor 3.11) pro dva servo motory.



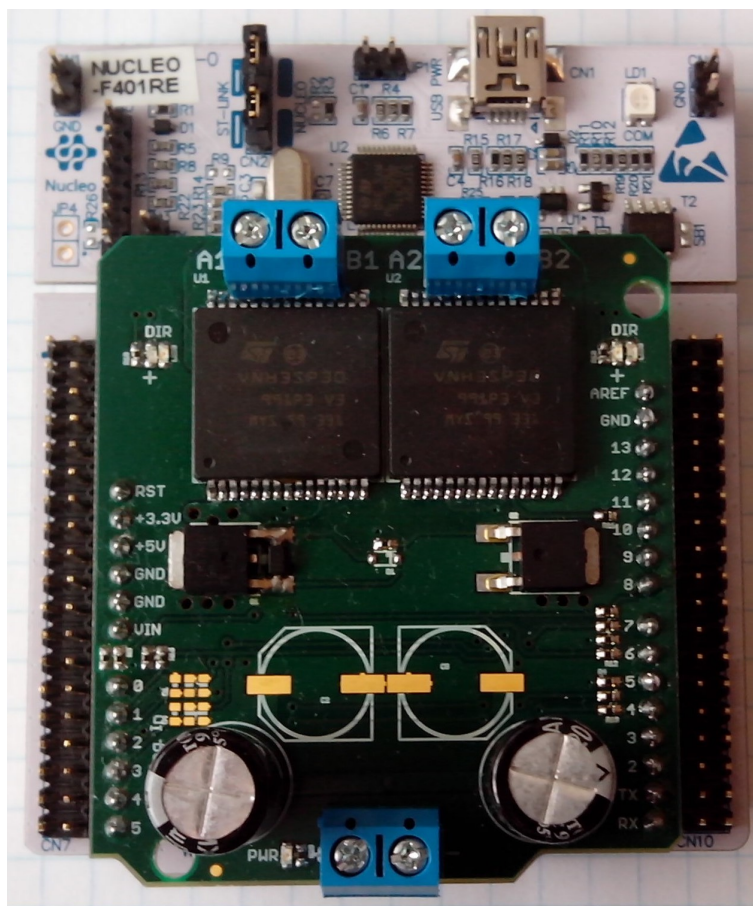
Obrázek 3.19: Zapojení konektoru pro připojení servo motorů.

Signál	Pin_MCU
Servo_1	PB4
Servo_2	PB5

Tabulka 3.11: Piny mikrokontroléru využité pro připojení Servo motorů.

3.3 Modul pro řízení motorů

Modul pro řízení motorů je stejně jako řídicí modul postaven na desce Nucleo, ke které je připojen modul MotorShield a výstupy z enkodéru, které jsou na motorech. Modul je napájen stejně jako řídicí modul z akumulátorů umístěných na robotovi. S řídicí deskou komunikuje modul prostřednictvím SPI sběrnice.



Obrázek 3.20: Osazený modul MotorShield na desce Nucleo.

3.3.1 SPI sběrnice

Pro komunikaci s řídicí deskou je využita sběrnice SPI1. Pro potřeby broadcast příkazů je vyčleněn jeden GPIO pin. Použité piny mikrořadiče jsou uvedeny v tabulce 3.12.

Signál	Pin_MCU
SCK	PA5
MISO	PA6
MOSI	PA7
CS	PA15
BRD	PC4

Tabulka 3.12: Piny využitě pro SPI sběrnici.

3.3.2 Enkodéry

Enkodéry použité u motorů mají napájení v rozsahu 3,5 - 20 V. Napájeny jsou z 5 V, proto je potřeba přidat do série na výstupy z enkodéru rezistor 1 k Ω , aby došlo ke snížení napěťové úrovně. Výstupy enkodéru jsou barevně označeny, popis jednotlivých barev je v tabulce 3.13. Piny využitě pro připojení k mikrořadiči jsou v tabulce 3.14. Využity jsou interní čítače v módu enkodér. Enkodér 1 je připojen k časovači 4 (TIM4_ch1, TIM4_ch2), enkodér 2 je připojen k časovači 5 (TIM5_ch1, TIM5_ch2).

Barva	Popis
Zelená	GND
Modrá	VCC(3.5 - 20 V)
Žlutá	A výstup enkodéru
Bílá	B výstup enkodéru

Tabulka 3.13: Barevné značení výstupu z enkodéru.

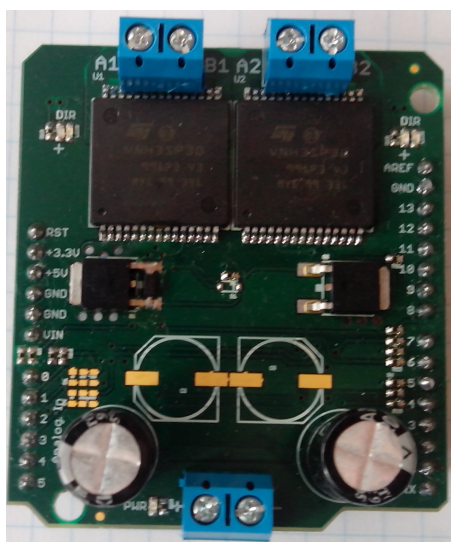
Signál	Pin_MCU
ENC1A_1	PB6
ENC1B_2	PB7
ENC2A_1	PA0
ENC2B_2	PA1

Tabulka 3.14: Piny mikrokontroléru využitě pro připojení enkodérů.

3.3.3 Drivery pro motory

Na trhu je k dispozici několik modulů s Driverem, který je navrhnut pro řízení motorů. V konstrukci je využít modul MotorShield, který je původně navržen pro Arduino. Po zakoupení

jednoho modulu na testování bylo ověřeno, že jeho zapojení je správné a modul je tak možné využít. Modul má na sobě osazeny LED diody pro indikaci směru otáčení motoru. MOS-Fet tranzistory umístěné na modulu zabraňují možnému přepólování napájecího napětí. Výrobce má na svých webových stránkách k dispozici podklady pro výrobu [31] modulu, bylo tedy možné nechat vyrobit a osadit DPS. Deska byla pájena přetavením při infračerveném ohřevu desky z obou stran.



Obrázek 3.21: Osazený MotorShield.

Signál	Pin_MCU
INA1	PA8
INA2	PB5
INB1	PA9
INB2	PC7
PWM1	PB4
PWM2	PB10
DIAG1	PPA4
DIAG2	PPB0

Tabulka 3.15: Piny mikrokontroléru využité pro připojení MotorShieldu.



Obrázek 3.22: Pohled na sestaveného robota.

Na obrázku výše nejsou úmyslně zapojeny všechny kabely, y důvodu přehlednosti fotografie.

Kapitola 4

SW Realizace

4.1 Vývojové prostředí

Pro programování byl využit projekt MBED[20], který je určen pro programování mikrořadičů ARM Cortex-M. Myšleno je na rychlý a efektivní vývoj koncových produktů. Jako programovací jazyk je zvolen C/C++. Projekt je šířen pod licencí Apache licence 2.0[19]. Prostředí je celé online, proto není nutné nic instalovat a konfigurovat. Jedinou podmínkou, aby bylo možné mikrořadič používat v projektu MBED je jeho podpora v MBED SDK. K dispozici je celá řada knihoven přímo v samotném SDK, ale i od uživatelů projektu. Další výhodou je možnost projekt verzovat přímo v prostředí bez dalších pomocných programů. Díky online prostředí je možné lehce vyvíjet v teamu. Zkompilovaný soubor se do mikrořadiče nahraje tak, že je uložen na emulovaný USB flash disk.

4.2 Ovládání motoru

Driver je ovládán mikrořadičem pomocí signálů INA, INB a PWM. Na základě těchto signálů Driver ovládá vnitřní H-můstek a generuje PWM signál pro motor. Popis konfigurace signálů INA a INB je v tabulce 4.1. Pro řízení motoru je navržena třída MOTOR, která je popsána v příloze (D).

INA	INB	Význam
0	0	Brzdění pomocí sepnutí dolních tranzistorů H-můstku(Do GND).
0	1	Otáčení motoru proti směru hodinových ručiček.
1	0	Otáčení motoru ve směru hodinových ručiček.
1	1	Brzdění pomocí sepnutí horních tranzistorů H-můstku(Do VCC).

Tabulka 4.1: Rozsah kanálů vysílačky.

Z Driveru je vyveden signál DIAG, který slouží pro potřeby diagnostiky. Signál je pomocí pull-up rezistoru trvale v log. 1. Driver umí detekovat přehřátí a zkrat na diagonále H-můstku. Při vzniku problému je nastaven signál DIAG na LOG nulu. V případě detekce log. 0 na signálu DIAG je robot zastaven, aby nedošlo k poškození Driveru.

4.2.1 Regulace otáček

Motor je ovládán pomocí P regulátoru, který zajistí, aby byl požadovaný výkon držen. Regulátor pro svoji správnou funkčnost potřebuje zpětnou vazbu. Zpětná vazba je v našem případě enkodér, který je přidělán na motoru. Naměřené otáčky z enkodéru jsou přepočteny na procenta. Procentuální hodnota je porovnána s požadovanou hodnotou. Rozdíl mezi požadovanou hodnotou a aktuální hodnotou je vynásoben konstantou a přičten k aktuální hodnotě, která stanoví střihu PWM signálu, který jde do Driveru. Pomocí konstanty můžeme ovlivnit jak rychle bude regulátor reagovat na potřebnou změnu. Pokud bude konstanta velká, budou se změny projevovat rychle, naopak pokud bude malá, tak se budou změny projevovat pomaleji. Menší konstanta může přispět k plynulosti regulace, ale pokud bude až moc malá, tak je to také špatně. Velká konstanta může způsobovat kmitání regulátoru.

4.3 RC přijímač

RC přijímač generuje PWM signál pro každý kanál na základě přijatého signálu od vysílačky. Výstupní PWM signál má periodu 20 ms. Maximální šířka PWM pulzu jsou 2 ms. PWM pulz má u všech kanálů rozsah v ideálním případě 1000 - 2000 us. V reálné situaci je ale nutné počítat s odchylkou vysílačky. Je důležité si proto vysílačku nejdříve nastavit tak, aby byl střed kanálu pokud možno na 1500 us. Toto lze přímo na vysílačce pomocí elektronických potenciometrů a doprovodné zvukové signalizace doladit. Jakmile máme nastavenou vysílačku je třeba zjistit rozsah jednotlivých kanálů. Naměřené rozsahy z vysílačky která je použita jsou v tabulce (4.2). Pro práci s přijímačem je vytvořena třída RCReceiver, která je popsána v příloze (D). Třída zpracovává příchozí PWM signály pomocí přerušení.

Kanál	Vlevo[us]	Střed[us]	Vpravo[us]
RUDD	1919	1499	1107
AILE	1919	1500	1122
	Nahoru[us]	Střed[us]	Dolu[us]
ELEV	1919	1517	1108
THRO	1920	1500	1312

Tabulka 4.2: Rozsah kanálů vysílačky.

4.4 Modul GY-80

Modul GY-80 komunikuje s mikrořadičem pomocí sběrnice I2C1 a připojených signálů pro potřeby přerušení. Všechny obvody na modulu jsou schopné komunikovat rychlostí 400 kHz. Pro ovládání modulu byla vytvořena třída, která je popsána v příloze (D)

4.4.1 Gyroskop

Osazený Gyroskop L3G4200D umožňuje pomocí pinu SDO nastavit jak bude adresován. Pin SDO připojen na 3,3 V (log. 1). Využívány jsou proto adresy uvedené v tabulce 4.3. K dispo-

zici je programovatelný interrupt T_INT1, který není v práci využit, ale je možné ho využít. V případě využití je ho nutné nastavit pomocí konfiguračních registrů. Hodnoty z registrů je možné vyčítat každých 10 ms. Rychlost lze měnit, možnosti jsou 100, 200, 400, 800 Hz.

Směr	Adresa
Read	D3h
Write	D2h

Tabulka 4.3: Adresy Gyroskopu.

Gyroskop má všechny hodnoty uložené v registrech. Každý registr má svoji adresu a pevně nastaveno, zda do něj lze zapisovat, číst ho, nebo oboje. Vybrané registry jsou popsány v tabulce. Naměřená úhlová rychlost je pro každou osu zvlášť uložena v registrech.

Název	R/W	Adresa
OUT_X_L	R	28h
OUT_X_H	R	29h
OUT_Y_L	R	2Ah
OUT_Y_H	R	2Bh
OUT_Z_L	R	2Ch
OUT_Z_H	R	2Dh

Tabulka 4.4: Vybrané registry Gyroskopu.

4.4.2 Akcelerometr

Akcelerometr také umožňuje volbu adres. Příslušný pin ALT ADDRESS je nastaven do log. 0. V tabulce 4.5 jsou vypsány adresy pro čtení a zápis. Vyvedené přerušení A_INT1 není využíváno. V případě využití je nutné nastavit konfigurační registry. Hodnoty je možné vyčítat každých 10 ms, lze ale nastavit rychlejší nebo i pomalejší měření. Rozsah je 0,1-3200 Hz (10 s -312 us). Vybrané adresy registrů jsou uvedeny v tabulce 4.6

Směr	Adresa
Read	A7h
Write	A6h

Tabulka 4.5: Adresy Akcelerometru.

Název	R/W	Adresa
DATA0	R	50h
DATA1	R	51h
DATAY0	R	52h
DATAY1	R	53h
DATAZ0	R	54h
DATAZ1	R	55h

Tabulka 4.6: Vybrané registry Akcelerometru.

4.4.3 Magnetometr

Magnetometr HMC5883L má pevně nastavené adresy pro komunikaci. Adresy jsou uvedeny v tabulce 4.7. Ve výchozím nastavení měří magnetometr 15 krát za vteřinu. K dispozici je přerušení `M_DRDY`, které je pomocí vnitřního pull-up rezistoru v log. jedničce, když jsou k dispozici nová naměřená data, je přerušení nastaveno na log. 0 na dobu 275 us. Adresy vybraných registrů jsou uvedeny v tabulce 4.8. Magnetometr měří s přesností $1,5^\circ$. Pro převod analogových změřených hodnot využívá 12 bitový AD převodník.

Směr	Adresa
Read	3Dh
Write	3Ch

Tabulka 4.7: Adresy Magnetometru.

Název	R/W	Adresa
Data Output X MSB Register	R	03h
Data Output X LSB Register	R	04h
Data Output Z MSB Register	R	05h
Data Output Z LSB Register	R	06h
Data Output Y MSB Register	R	07h
Data Output Y LSB Register	R	08h

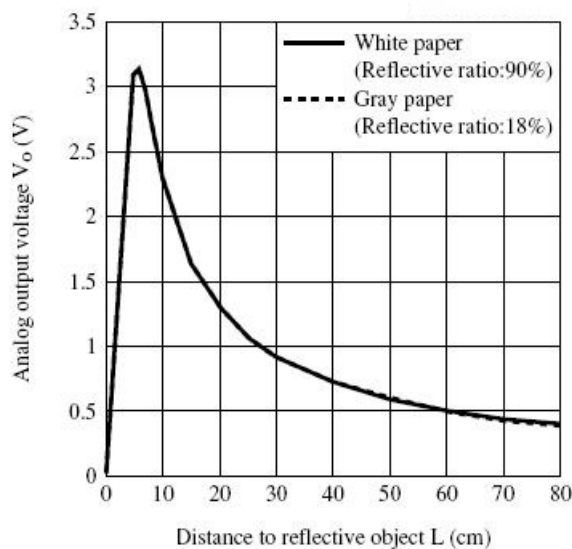
Tabulka 4.8: Vybrané registry Magnetometru.

4.5 Infračervený dálkoměr

Infračervený dálkoměr má napěťový výstup, který není přímo úměrný vzdálenosti. Z grafu závislosti výstupního napětí na vzdálenosti (obr.4.1) je patrné, že napětí se vzdáleností klesá. Výpočet naměřené vzdálenosti bude proveden pomocí převodní tabulky hodnot. Tabulka obsahuje 12 bitová čísla naměřených hodnot pro vzdálenost 10 - 80 cm s krokem 5 cm. Krok 5 cm bude pro naše účely postačující. Pokud v průběhu měření nebude hodnota odpovídat

přesně jedné z naměřených hodnot, bude pomocí Lineární interpolace mezi dvěma známými body [35] dopočtena hodnota vzdálenosti. Hodnota pro známé změřené napětí U a dva nejbližší body $A[d_0, u_0]$ a $B[d_1, u_1]$ z tabulky je vypočtena dle vzorce:

$$D = \left(\left(\frac{U - u_0}{u_1 - u_0} \right) * (d_1 - d_0) \right) + d_0 [cm] \quad (4.1)$$

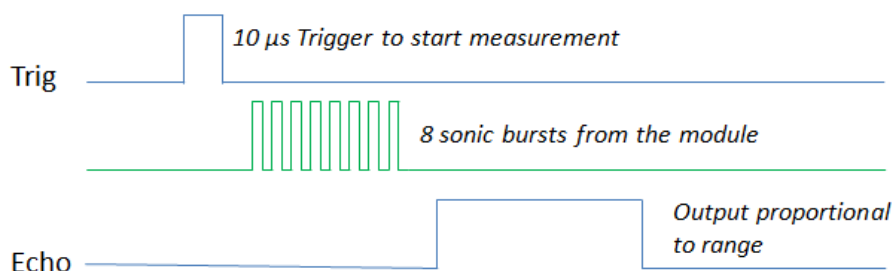


Obrázek 4.1: Závyslost výstupního napětí na vzdálenosti

Hodnota výstupního napětí z dálkoměru je měřena pomocí průměrování, aby bylo zamezeno nepřesnostem. Pro obsluhu dálkoměru je vytvořena třída, která je popsána v příloze (D).

4.6 Ultrazvukový dálkoměr

Ultrazvukový dálkoměr ElecFreaks HC-SR04[28] je ovládán pomocí signálu Trigger. Měření je odstartováno nastavením signálu Trigger na 10 us do logické jedničky. Na základě Triggeru modul odešle 8 ultrazvukových pulzů na kmitočtu 40 kHz pro změření vzdálenosti. Jakmile je měření hotové nastaví modul signál Echo do logické jedničky. Čas po který je signál Echo v logické jedničce je doba, po kterou putoval ultrazvukový signál od modulu k překážce a zpět. Pro názornost je průběh měření znázorněn na obrázku 4.2



Obrázek 4.2: Průběh měření modulu ultrazvukového dálkoměru

Pro výpočet vzdálenosti je potřeba znát rychlost zvuku. Rychlost zvuku je závislá na teplotě a je jí potřeba spočítat dle vzorce:

$$c = (331.57 + 0.607 * t) / 10000 [cm/us] \quad (4.2)$$

Kde c je vypočtená rychlost světla v cm/us a t je aktuální teplota. Vzdálenost objektu je vypočtena dle vzorce:

$$D = (Echo * c) / 2 [cm] \quad (4.3)$$

Vypočtenou vzdálenost musíme vydělit dvěma, protože naměřený čas zahrnuje čas, kdy ultrazvuk letí k překážce a když se od ní odrazí a letí zpět. Výrobce doporučuje provádět měření v minimálně 60 ms intervalech. Pro obsluhu ultrazvukového dálkoměru je napsána třída. Třída je popsána v příloze (D).

Listing 4.1: Obsluha ultrazvukového dálkoměru

```
#include "mbed.h"
#include "Sonar.h"

Serial pc (USBTX, ~USBRX);
Sonar Echo (PB_13, PC_14);

int main ()
{
    int iEcho = 0;
    while (1) {
        if ( Echo.getMeas (iEcho, ~25) == 1 ) {
            pc.printf ( "cm: %d\r\n", iEcho);
        } else {
            pc.printf ( "chyba echo\r\n");
        }
        wait_ms (60);
    }
}
```

4.7 Modul GPS

Použitý GPS modul využívá pro komunikaci protokol NMEA 0183[21], který odešle po sériové lince stav GPS modulu s periodou 1 sekundy. Rychlost sériové komunikace je 9600 baud. NMEA komunikuje v tzv. větách. Každá věta začíná znakem \$. Protokol umožňuje volbu, jaké věty se budou odesílat. Modul byl ponechán ve výchozí konfiguraci, ve které se odesílají věty \$GPGGA, \$GPGSA, \$GPGSV, \$GPRMC. Na obrázku (obr. 4.3) je ukázka jak vypadají přijatá data. Modul v danou chvíli nebyl připojen na žádnou družici.

\$GPGGA - Věta obsahuje informace o aktuální globální poloze. Struktura věty:

\$-GGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx*hh

pořadí	struktura	význam
1	hhmmss.ss	čas UTC
2	llll.ll	Zeměpisná šířka
3	a	N nebo S
4	yyyyy.yy	Zeměpisná délka
5	a	E nebo W
6	x	GPS Quality indikátor
7	xx	Počet satelitů
8	x.x	Relativní přesnost horizontální pozice
9	x.x	Nadmořská výška
10	M	Jednotka nadmořské výšky (M = metr)
11	x.x	Geodetická výška
12	M	Jednotky geodetické výšky (M = metr)
13	x.x	Čas od poslední aktualizace dat
14	xxxx	ID diferenciální referenční stanice
15	*hh	Kontrolní součet

Tabulka 4.9: Význam jednotlivých bloků věty GPGGA.

\$GPGSA - Věta obsahuje informace o počtu viditelných družic a jejich geometrickém rozmístění (HDOP,VDOP,PDOP). Ukázka věty:

\$GPGSA,A,3,,,,16,18,,22,24,,3.6,2.1,2.2*3C

pořadí	význam
1	Mód (M - manual, A - automatic)
2	Mód (1 - Fix, 2 - 2D, 3 - 3D)
3-14	ID jednotlivých družic (0 = nezachyceno)
15	PDOP
16	HDOP
17	VDOP

Tabulka 4.10: Význam jednotlivých bloků věty GPGSA.

\$GPGSV - Věta obsahuje informace o počtu viditelných družic z aktuální polohy, informace o každé viditelné družici (identifikační číslo družice PRN, úhlová výška [°], azimut polohy družice, odstup signálu od šumu v dB). Protože je věta dlouhá, může být rozdělena do několika separátních vět, jinak by byl překročen povolený počet znaků. Věta proto obsahuje informaci, na kolik vět byla rozdělena a v jakém pořadí. Struktura věty:

\$GPGSV,1,1,13,02,02,213,,03,-3,000,,11,00,121,,14,13,172,05*67

pořadí	význam
1	Celkový počet zpráv.
2	Pořadí zprávy.
3	Celkový počet viditelných družic.
4	Číslo SV PRN.
5	Nadmořská výška ve stupních, 90° maximum
6	Azimut Severu ve stupních, 000 - 359
7	Odstup signálu od šumu v dB
8-11	Popis druhého satelitu (stejně pořadí informací jako c bodech 4-7)
12-15	Popis třetího satelitu (stejně pořadí informací jako c bodech 4-7)
16-19	Popis čtvrtého satelitu (stejně pořadí informací jako c bodech 4-7)

Tabulka 4.11: Význam jednotlivých bloků věty GPGSA.

\$GPRMC - Věta obsahuje základní informaci pro navigaci. Obsahuje aktuální čas UTC, souřadnice, status varování, rychlost v rovině (v uzlech), kurz pohybu ve stupních, datum, magnetickou deklinaci (°). Ukázka věty:

\$GPRMC,220516,A,5133.82,N,00042.24,W,173.8,231.8,130694,004.2,W*70

pořadí	význam
1	UTC čas.
2	Data status.
3	Zeměpisná šířka.
4	N nebo S.
5	Zeměpisná délka.
6	E nebo W.
7	Rychlost v uzlech.
8	Track made good in degrees True.
9	Datum.
10	Magnetic variation degrees.
11	E nebo W
12	Kontrolní součet.

Tabulka 4.12: Význam jednotlivých bloků věty GPRMC.

```

COM9 - PuTTY
$GPGGA,010338.038,,,,,0,0,,M,M,*4A
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,*1E
$GPGSV,1,1,00*79
$GPRMC,010338.038,V,,,,,0.00,0.00,060180,19.9,W,N*08

```

Obrázek 4.3: Ukázka přijatých vět z GPS modulu.

Přijatá data od GPS modulu jsou zpracována pomocí parseru a připravena k dalšímu použití. Pro obsluhu GPS modulu je připravena třída GPS, která je popsána v příloze (D).

4.8 Čidlo SHT15

Výrobce čidla nabízí již hotovou knihovnu, která je upravena pro zvolený mikrořadič. Třída je popsána v příloze (D). Čidlo komunikuje po dvou vodičové sběrnici připomínající I2C sběrnici. Po odeslání startovní sekvence následuje adresa (000) a příkaz. Dohromady tvoří 1 byte. Příkazy pro ovládání čidla jsou popsány v tabulce 4.13.

Příkaz	kód
Rezervováno	0000x
Měření teploty	00011
Měření vlhkosti	00101
Čtení Status reg.	00111
Zápis do Status reg.	00110
Rezervováno	0101x-1110x
SW reset	11110

Tabulka 4.13: Příkazy pro komunikaci s čidlem SHT15.

Pomocí konfigurace Status registru můžeme využívat další funkce čidla. Popsán je v tabulce 4.14.

Bit	Typ	Popis	Výchozí hodnota
7		Rezervován	0
6	R	End of Battery	x
5		Rezervován	x
4		Rezervován	0
3		Nepoužívat	0
2	R/W	Vyhřívání	0
1	R/W	Kalibrace před měřením	0
0	R/W	Rozlišení měření	0

Tabulka 4.14: Struktura Status registru čidla SHT15.

End of Battery - Detekce správného napájení čidla. Pokud je napájení větší než 2.47 V (log 0), nebo menší (log 1), přesnost měření je 0.05 V.

Vyhřívání - Funkce aktivní v log. 1. Při zapnutí vzroste teplota o 5-10 °C. Odběr čidla se zvýší o 8 mA.

Kalibrace před měřením - Vypnutím funkce urychlíme měření o 10 ms. Nepřehrávají se kalibrační data z paměti OTP do pracovní paměti.

Rozlišení měření - Ve výchozím nastavení 14b pro teplotu a 12b pro vlhkost. Nastavením do log. 0 změním rozlišení na 12b pro teplotu a 8b pro vlhkost.

4.8.1 Výpočet teploty

Je ponecháno výchozí nastavení, čidlo vrací 14b naměřenou hodnotu. Teplota se vypočte dle následujícího vzorce:

$$T = d_1 + d_2 * SO_t [^{\circ}C] \quad (4.4)$$

SO_t je hodnota, kterou jsme vyčetli z čidla, konstanty d_1 a d_2 jsou dány tabulkou.

VDD	d_1	d_2
3,3 V	-39,65	0,01

Tabulka 4.15: Konstanty pro výpočet teploty.

4.8.2 Výpočet vlhkosti

Hodnota je z čidla vyčtena jako 12 bitová hodnota. Výrobce doporučený vzorec pro kompenzaci nelinearit je:

$$RH_{lin} = c_1 + c_2 * SO_{rh} + c_3 * SO_{rh}^2 [\%] \quad (4.5)$$

SO_{rh} je hodnota vlhkosti vyčtená z čidla, konstanty jsou v následující tabulce.

SO_{rh}	c_1	c_2	c_3
12 bit	-2.0468	0.0367	$-1.5955E^{-6}$

Tabulka 4.16: Konstanty pro výpočet vlhkosti RH_{lin} .

Pokud je teplota odlišná od 25 °C je potřeba kompenzovat relativní vlhkost podle vztahu:

$$RH_{true} = (T[^{\circ}C] - 25) * (t_1 + t_2 * SO_{rh}) + RH_{lin} [\%] \quad (4.6)$$

T je vypočtená hodnota teploty, konstanty jsou v následující tabulce.

SO_{rh}	t_1	t_2
12bit	0,01	0,00008

Tabulka 4.17: Konstanty pro výpočet vlhkosti RH_{true} .

4.9 Měření akumulátorů

Aby nedošlo k poškození akumulátorů je nutné měřit jejich napětí. Akumulátory jsou měřeny pomocí AD převodníku. Měřen je první článek a celá Akumulátor. Při měření prvního článku je třeba pamatovat na to, že je připojen přes dělič 1:2 a proto je nutné naměřenou hodnotu vynásobit dvěma. Obdobné pravidlo platí i pro měření celého akumulátoru, ale s tím rozdílem, že se jedná o dělič 1:3. Plně nabitá akumulátor má napětí 8,38 V, první článek má 4,18 V. Napětí na druhém článku akumulátoru je vypočteno odečtením napětí prvního článku od celkového napětí akumulátoru. Minimální napětí, na které se smí akumulátor vybit je 7,4 V. Pro potřeby měření akumulátoru je vytvořena třída Akumulátor, která je popsána v příloze (D). Měření je vždy prováděno pomocí průměrování, aby bylo zamezeno chybám.

Listing 4.2: Měření Akumulátoru

```
#include "mbed.h"
#include "Akumulator.h"

int main ()
{
    Akumulator baterie (PC_1,PC_0);
    float fClanek;
    while (1)
    {
        if (!baterie.getFirst (fClanek))
        {
            pc.printf ("Měření se nezdařilo");
        }
        wait_ms (500);
    }
}
```

4.10 Demo aplikace

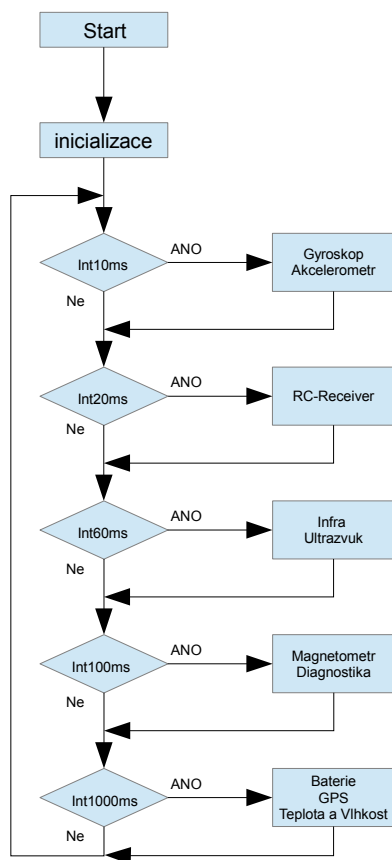
Demo aplikace využívá všechny periférie připojené k robotovi. Po naprogramování odesílá aplikace diagnostické informace z čidel po sériové lince USART2 rychlostí 115200 baud. Sériová komunikace probíhá pouze jednostranně. Data jsou odesílána v jedné dlouhé větě oddělená středníkem.

Počátečním znakem věty je \$START. V demo aplikaci jsou využity třídy napsané pro každou periférii. Data jsou odesílána v následujícím pořadí:

- Gyroskop - X;Y;Z
- Akcelerometr - X;Y;Z
- Magnetometr - X;Y;Z
- GPS - Latitude;Longitude;UTC
- Infračervené detektory - Infra1;Infra2;Infra3;Infra4
- Ultrazvukový detektor - Sono
- Akumulátory - Bat11;BAT12;BAT21;BAT22
- Rychlost motorů - LSpeed1;RSpeed1;LSpeed2;RSpeed2;LSpeed3;RSpeed3

- **Teplota** - Temp
- **Vlhkost** - Humi

Základem demo aplikace je smyčka, kde jsou prováděny jednotlivé obsluhy periférií. Obsluhy se provádějí v pevně daných časových intervalech, které jsou měřeny pomocí 1 ms čítače. Na základě hodnoty čítače jsou nastaveny jednotlivé příznaky intervalů. Intervaly obsluhy jsou 10, 20, 60, 100 a 1000 ms.



Obrázek 4.4: Diagram hlavní smyčky demo aplikace.

Listing 4.3: Nastavení příznaku intervalu

```

void tiktak(void)
{
    iTick++;
    //10 ms
    if((iTick % 10) == 0) iTick10ms = 1;
    //20 ms
    if((iTick % 20) == 0) iTick20ms = 1;
    //60 ms
    if((iTick % 60) == 0) iTick60ms = 1;
    //100 ms
    if((iTick % 100) == 0) iTick100ms = 1;
    //1000 ms
    if((iTick % 1000) == 0) iTick1000ms = 1;
}

```

Jednotlivé intervaly jsou popsány v následujícím seznamu:

10 ms - V intervalu 10 ms jsou vyčteny aktuální data z gyroskopu a akcelerometru.

20 ms - Každých 20 ms jsou zpracovávány naměřená data z RC přijímače, vypočteny potřebné hodnoty pro jednotlivé motory a odeslány po SPI sběrnici do modulů pro ovládání motorů.

60 ms - V intervalu 60 ms jsou obsluhovány infračervené detektory a ultrazvukový dálkoměr

100 ms - V tomto intervalu jsou vyčtena aktuální data z magnetometru a je odesílána diagnostika po sériové lince.

1000 ms - V intervalu 1 sekundy jsou měřeny akumulátory robota, teplota a vlhkost. Zpracovány jsou dále informace z GPS modulu, který odesílá aktuální data jednou za sekundu.

4.10.1 Modul pro ovládání motorů

Demo aplikace má opět jednu hlavní smyčku, ve které jsou nastavovány každých 10 ms motory na danou rychlost, která je přijata od řídicího modulu. Data jsou pomocí přerušování přijata každých 20 ms, pokud data nepřijdou dojde k zastavení motoru. Když jsou přijata nová data pro nastavení rychlosti, je odeslána zpět informace o aktuální rychlosti jednotlivých motorů.

Řídicí modul odesílá po SPI sběrnici 6B, první 3B jsou určeny pro nastavení rychlosti levého kola a druhé 3B pro nastavení pravého kola. Rychlost, kterou má modul nastavit je odesílána jako 1B číslo od 0 do 200, které je třikrát zopakováno. Pokud je odesílané číslo menší než sto, jedná se o jízdu směrem vpřed a rychlost 0 - 100%. Pokud je přijaté číslo větší než 100, jedná se o jízdu směr vzad, rychlost je určena odečtením čísla 100 od přijaté hodnoty.

Modul pro ovládání motorů odesílá zpět aktuální rychlost motorů ve stejném formátu jako jsou přijímaná data od řídicího modulu.

Kapitola 5

Testování a oživení

5.1 Oživení

Oživení robota probíhalo nejprve kontrolou DPS, zda je vše dobře zapájené a nikde nenastal zkrat. Po základní kontrole byli postupně připojovány jednotlivé moduly a periférie. U modulů a periférií byla vždy vyzkoušena správná funkčnost. První zkouška připojení motorů probíhala při napájení z externího zdroje, aby se zamezilo případnému poškození akumulátoru zkratem.

5.2 Testování podvozku

Při testování byl podvozek podroben testům na různých typech povrchu. Podvozek nebyl testován za mokra, protože nebyl do toto prostředí stavěn. Během testování se projevilo také zahřívání motorů. Teplo je částečně odvedeno díky mědi použité na výrobu pouzdra motoru. Zahřívání je tak menší než u originálních plastových T-profilů. Motor se zahřívá vlivem ztrát vznikajících v ohmickém odporu vynutí motoru. Protože v motoru dochází k jiskření není možné provozovat robota ani v prostoru, kde uniká plyn, který by mohl explodovat.

5.2.1 Tlumiče

Nejprve bylo nutné naplnit tlumiče olejem, aby nedocházelo k velkému přenášení nárazu, protože vzduchové tlumení nepostačuje. To se ukázalo jako menší problém, protože k tlumičům byl objednan silikonový olej s viskozitou [23] 3000. Prodejce nabízel oleje s viskozitou 300 až 6000, vlivem nedokonalé znalosti byla zvolena střední cesta a to viskozita 3000. Zvolená viskozita se ukázala jako příliš vysoká, olej byl pro tlumiče moc hustý a nedocházelo k tlumení nárazů jak by mělo. Proto byl olej vyměněn za hydraulický olej, který již svou viskozitou postačuje.

Po naplnění tlumičů olejem, bylo nutné ještě nastavit tuhost tlumičů. Tuhost lze snadno změnit buď výměnou pružin (v tomto případě je nutné odšroubovat horní část tlumiče), nebo povolením/přitažením matky na těle tlumiče, čímž se pružina buď stáhne nebo roztáhne.

Když byli tlumiče nastaveny jak měli, ukázalo se v provozu, že plní svoji funkci a kopírují při jízdě terén jak mají. Ve spojení s použitými koly, která nejsou pevně nafouknutá vzduchem (jsou vyplněna molitanem) tvoří téměř ideální odpružení.

5.2.2 Pevné neprašné povrchy

Při jízdě na pevném povrchu (beton, asfalt) se ukázalo, že nebude možné provést vlivem tření povrchu a kol provést otočení kolem své osy na místě. V demo aplikaci je použit pouze jednoduchý algoritmus pro zatáčení, který přibrzdí stranu na kterou chceme zatočit. Dále v případě požadavku pro maximální zatočení (otočení na místě kolem osy robota) se motory točí na plný výkon, strana kam chceme zatočit se točí vzad, druhá strana vpřed. Zatáčení proto nebylo úplně ideální. Při testování na hladkém pevném povrchu bylo zatáčení plynulejší a i otáčení kolem své osy na místě bylo proveditelné. Aby bylo zatáčení co možná nejlepší, je třeba naprogramovat elektronický diferenciál.

5.2.3 Prašné prostředí

Pohyb v prašných, nebo alespoň částečně prašných prostředích se při testování ukázal pro robota sice horší ve smyslu zanesení DPS s elektronikou prachem, ale zatáčení probíhalo mnohem lépe. V prašném prostředí se již robot bez větších problémů otočil kolem své osy na místě, toto na pevném povrchu vlivem tření možné nebylo. Do budoucna bude potřeba doplnit kryty proti prachu pro DPS s elektronikou.

5.2.4 Travnaté povrchy a terén

Při jízdě na travnatém povrchu a v terénu se naplno ukázala výhoda dobrého odpružení podvozku a jeho odolnost vůči odletujícím kamenům a nepořádku. Podvozek byl testován na zrytém záhonu, kde byli potřebné nerovnosti. Pro testy na travním povrchu byla zvolena louka, kde byla vyšší tráva a mohutnější místy vystouplé drny, než na domácí zahradě.

5.2.5 Ostatní testy

Robot byl dále testován, jak bude vyjíždět schody a jak se bude chovat při vyjíždění svahů.

Pro vyjíždění schodů je třeba mít v řízení robota trochu citu, aby nedošlo k převrácení robota. Zkušený modelář v řízení takovýchto robotů by pravděpodobně dosáhl lepších výsledků. Testování jízdy na schodech bylo prováděno na malém schodišti s výškou schodu 10-12 cm. Při kolmém najetí došlo občas k převrácení robota vlivem vysoké rychlosti, naštěstí konstrukce je pevná a nevznikl žádný problém. Druhou možností jak vyjíždět schody je metodou "cik-cak", kdy robot najede mírně z boku a po vyjetí jednoho schodu se otočí a další schod opět vyjede bokem, i při této metodě docházelo k převrácení robota. Testování vyjíždění schodů můžeme zhodnotit jako úspěšné z 90%, protože jednou z deseti pokusů došlo k převrácení robota.

Při testování robota, jaký je schopný robot vyjet svah byli testovány tři svahy. První testovaný svah měl sklon zhruba 35-40° a byla na něm větší tráva a vystouplé drny. Druhý

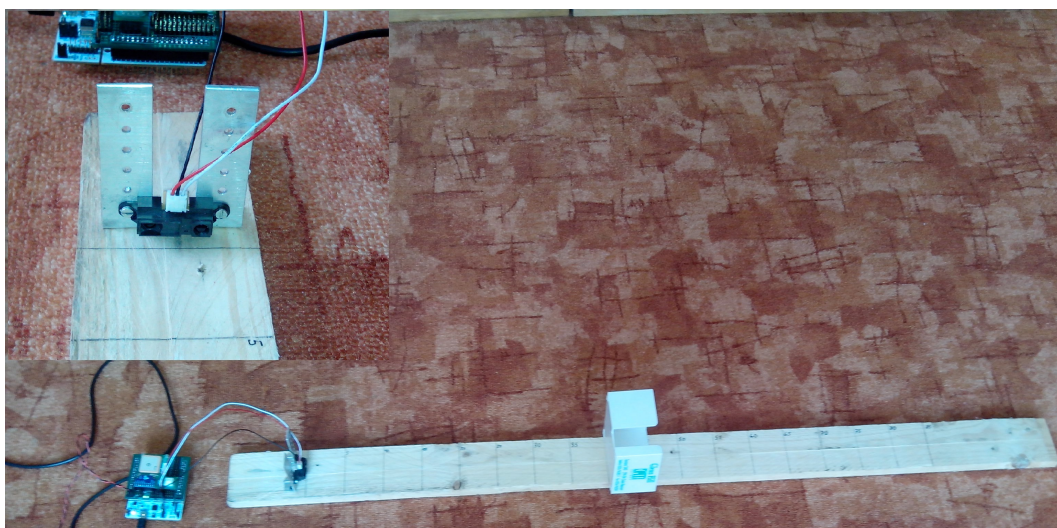
svah měl sklon zhruba 45-50°, povrchem byla čerstvě posekaná tráva. Třetím svahem byl svah se sklonem 60°, místy o něco vyšší s mírně vzrostlou trávou. První dva svahy zvládl robot bez sebemenších problémů. U třetího svahu, ale nastal občas již problém, bylo nutné se více rozjet před kopcem a místa, kde byl sklon vyšší občas robot nezvládl.

5.3 Výdrž Akumulátorů

Výdrž akumulátorů je hodně závislá na stylu jízdy s robotem. Rozdíl je když robot jede v terénu, nebo po rovném hladkém povrchu. Průměrná výdrž akumulátorů se pohybovala kolem jedné hodiny a 15 minut.

5.4 Infračervený dálkoměr

Vlivem nepřímé úměry mezi měřeným napětím a vzdáleností bylo nutné vytvořit pro dálkoměr vhodnou metodu, jak vypočítat správně vzdálenost překážky. Všechny ostatní senzory mají digitální výstup a nebylo je třeba podrobovat testování. Na internetu je nespočet návodů, v každém se píše něco jiného. Po testování různých konstant pro přepočítání napětí, byla nakonec zvolena metoda převodu pomocí tabulky a lineární interpolace, která je popsána v kapitole SW návrh. Pro měření hodnot do tabulky byla sestavena konstrukce, kde je dálkoměr uchycen na podložce s měřítkem 10 - 80 cm a krokem 5 cm.

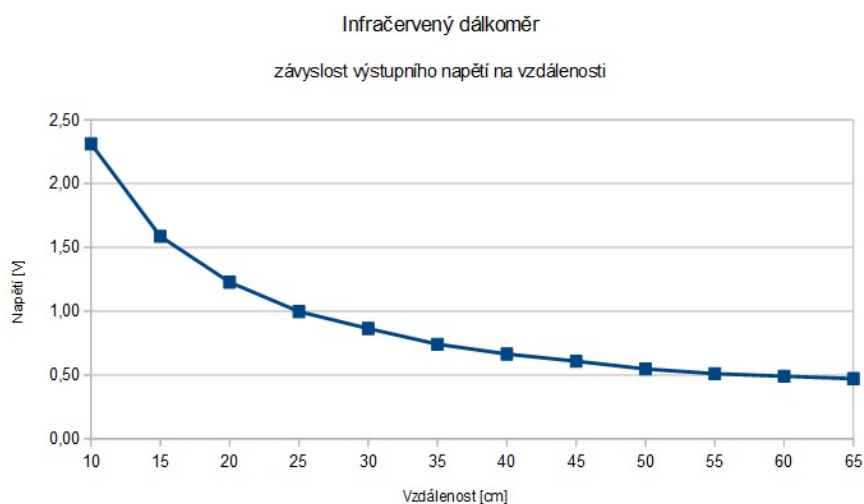


Obrázek 5.1: Přípravek pro měření převodní tabulky.

Při měření převodní tabulky se nepodařilo změřit vzdálenost větší jak 65 cm. Od cca 66 cm se naměřená hodnota již neměnila, nepomohla ani změna překážky. Měřeno bylo pomocí průměrování, kde bylo vždy změřeno 1000 vzorků. Naměřené hodnoty jsou v tabulce. Při měření byla použita plastová bílá překážka.

Vzdálenost [cm]	Hodnota AD převodníku	napětí [V]
10	2868	2,31
15	1969	1,58
20	1523	1,23
25	1238	1,00
30	1073	0,86
35	920	0,74
40	825	0,66
45	755	0,61
50	680	0,54
55	634	0,51
60	609	0,49
65	585	0,47

Tabulka 5.1: Převodní tabulka infračerveného dálkoměru.

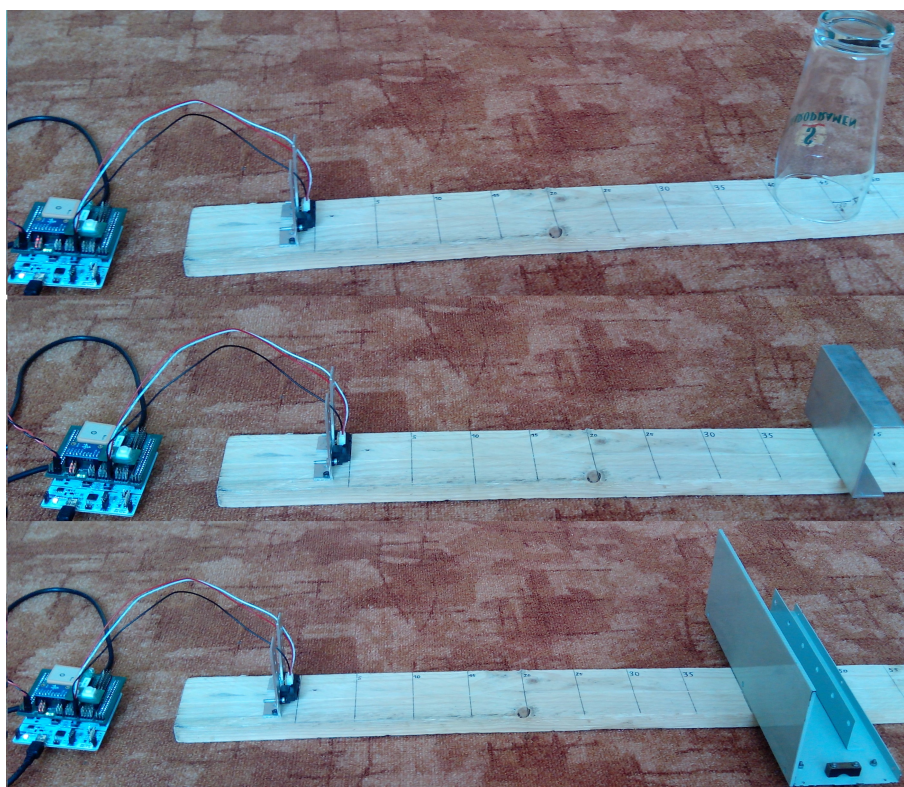


Obrázek 5.2: Změřená závislost výstupního napětí na vzdálenosti.

Pro porovnání byly změřeny i jiné překážky a to sklenice, hliníkový plech a plast nastříkaný světle šedivou barvou. Měření bylo provedeno pro vzdálenost 40 cm. Výsledky měření jsou v tabulce.

Materiál	Hodnota AD převodníku	napětí [V]
Bílý plast	825	0,66
Hliník	849	0,68
Sklo	777	0,62
Nabarvený plast	1002	0,8

Tabulka 5.2: Porovnání naměřených hodnot při různých překážkách.



Obrázek 5.3: Různé měřené překážky.

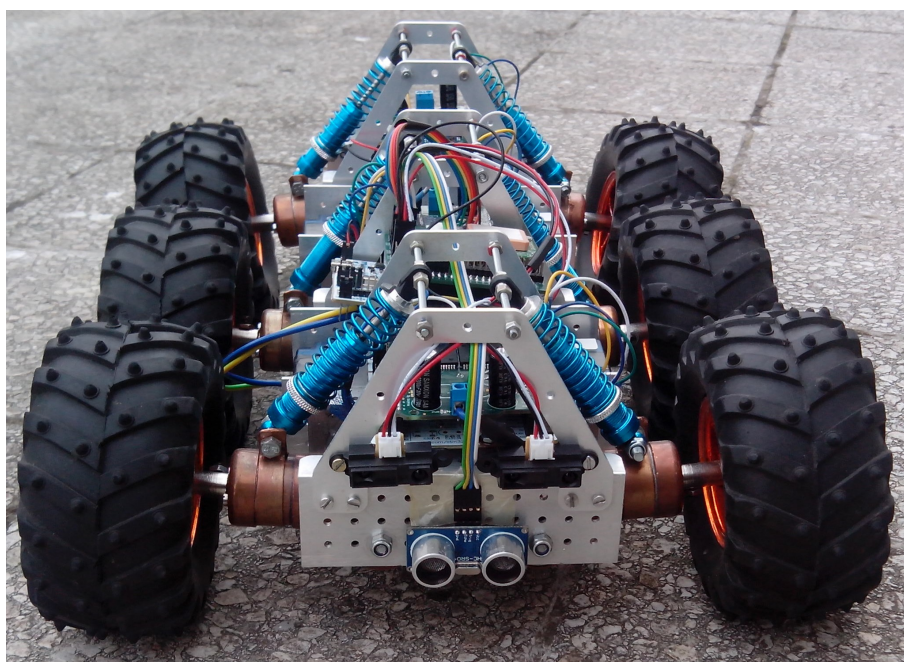
Kapitola 6

Závěr

V rámci práce se podařilo navrhnout a zrealizovat robota, který je schopen pohybu ve venkovním prostředí. Podvozek robota se podařilo navrhnout tak, aby ho bylo možné snadno rozšířit i o další senzory. Robot je připraven pro připojení alternativního řízení v podobě Raspberry Pi. K Raspberry Pi je možné připojit kameru a wi-fi modul, díky čemuž se značně rozšíří možnosti robota, jak o další možnost ovlávaní, ale i o možnost orientace v prostoru podle kamery.

Při testování bylo ověřeno, že robot je schopen pohybu v různých venkovních prostředích, ať už se jedná o pevné (asfalt, beton), nebo jiné plochy (tráva, hlína, prach). Otestována byla dále i schopnost vyjet různé svahy, kde byl úspěšně překonán svah se sklonem cca 60°. Při testování infračerveného dálkoměru s objevil problém při měření vzdálenosti nad 65 cm. Tento problém se do odevzdání diplomové práce nepodařilo vyřešit.

Naprogramovaná demoaplikace ověřila funkčnost všech systémů umístěných na robotovi.



Obrázek 6.1: Přední část robota.

Literatura

- [1] ARDUINO *Arduino*, 27.4.2014.
<http://www.arduino.cc/>.
- [2] NUCLEO *STM Nucleo-F401RE*, 27.4.2014.
<http://www.st.com/>.
- [3] ARDUPILOT *ArduPilot*, 27.4.2014.
<http://www.ardupilot.com/>.
- [4] ROBOTNIK *Summit 4WD High Mobility All Terrain Robot*, 27.4.2014.
<http://www.robotnik.es/>.
- [5] PLAYER/STAGE *Software tools Player/Stage*, 27.4.2014.
<http://www.sourceforge.net/>.
- [6] ARDUROVER *ArduRover*, 27.4.2014.
<http://www.ardupilot.com>.
- [7] ATMEGA *ATMega2560*, 27.4.2014.
<http://www.atmel.com>.
- [8] AR400 *Spektrum AR400*, 27.4.2014.
<http://www.spektrumrc.com>.
- [9] DX5E *Spektrum DX5e*, 27.4.2014.
<http://www.spektrumrc.com>.
- [10] DX5E *Sensirion SHT15*, 27.4.2014.
<http://www.sensirion.com>.
- [11] GY80 *Modul GY80*, 27.4.2014.
<http://www.dx.com>.
- [12] GYRODAT *Gyroskop L3G4200D*, 27.4.2014.
<http://www.st.com>.
- [13] ACCDAT *Akcelerometr ADXL345*, 27.4.2014.
<http://www.analog.com>.
- [14] MAGDAT *Magnetometr HMC5883L*, 27.4.2014.
<http://www.honeywell.com>.

- [15] BARODAT *Barometr BMP085, 27.4.2014.*
<http://www.cloudfront.net>.
- [16] ARDUINOMEGA *ArduinoMega, 27.4.2014.*
<http://www.arduino.cc>.
- [17] STLINK *STLink v2.1 27.4.2014.*
<http://www.st.com>.
- [18] GLONASS *navigační systém Glonass, 27.4.2014.*
<http://www.wikipedia.org>.
- [19] APACHELIC *Apache Licence 2.0, 27.4.2014.*
<http://www.apache.org>.
- [20] MBED *Projekt MBED, 27.4.2014.*
<http://www.mbed.org>.
- [21] NMEA *NMEA 0183, 27.4.2014.*
<http://www.wikipedia.org>.
- [22] MOTORSHIELDSHEMA *Schéma zapojení MorotShield, 27.4.2014.*
<http://www.cloudfront.net>.
- [23] VISKOZITA *Viskozita, 27.4.2014.*
<http://www.wikipedia.org>.
- [24] DAGU *Dahu Wild Thumper 6WD, 27.4.2014.*
<http://www.pololu.com>.
- [25] MMP-8 *MMP-8 Mobile Robot Platform, 27.4.2014.*
<http://www.themachinelab.com>.
- [26] GPS *GPS modul, 27.4.2014.*
<http://www.sectron.cz>.
- [27] GINFRAPS *Sharp GP2YOA21, 27.4.2014.*
<http://www.sharpsma.com>.
- [28] SONO *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04, 27.4.2014.*
<http://www.micropik.com>.
- [29] MOTOR *34:1 Metal Gearmotor , 27.4.2014.*
<http://www.pololu.com>.
- [30] VYKRESY *Výkresy podvozku , 27.4.2014.*
<http://www.grabcad.com>.
- [31] MATERIALYSHILED *Podklady pro výrobu Motor shieldu , 27.4.2014.*
<http://www.sparkfun.com>.

- [32] VNH3SP30 *Driver STM VNH3SP30*, 27.4.2014.
<http://www.st.com>.
- [33] STM32CUBEMX *STM32cubeMX*, 27.4.2014.
<http://www.st.com>.
- [34] MOTORSHIELD *MotorShield*, 27.4.2014.
<http://www.sparkfun.com>.
- [35] INTERPOLACE *Lineární interpolace*, 27.4.2014.
<http://cs.wikipedia.org>.
- [36] RASPBERRYPI *Raspberry Pi*, 27.4.2014.
<http://cs.wikipedia.org>.
- [37] CETL, TOMÁŠ. *Aplikace elektrochemických zdrojů*. Vydavatelství ČVUT 2004.
- [38] OBRROBOTNIK *Summit 4WD High Mobility All Terrain Robot, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.robotshop.com/>.
- [39] ARDUROVER *ArduRover, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.ardupilot.com>.
- [40] GY80 *Modul GY80, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.electropark.pl>.
- [41] MEGA Obr *ArduinoMega, obrázek* 27.4.2014.
<http://www.wikimedia.org>.
- [42] NUCLEO Obr *ST Nucleo F401RE, obrázek* 27.4.2014.
<http://www.sparkfun.com>.
- [43] PLASTMOTOR Obr *Plastové uchycení motoru, obrázek* 27.4.2014.
<http://www.rarecomponents.com>.
- [44] H-MŮSTEK *H-můstek, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.sps.hranet.cz>.
- [45] DP-DRIVERBLOK *Blokové schéma vybraného obvodu VNH2SP30, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.seminews.ru>.
- [46] OBRPLASTMOTOR *Plastové pouzdro pro uchycení motoru, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.sparkfun.com>.
- [47] OBRMOTORSHIELD *Motor shield, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.sparkfun.com>.
- [48] ENKODER *Enkodér umístěný na motoru, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.pololu.com>.
- [49] PRIJÍMAČ *Spektrum AR400, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.spektrumrc.com>.

- [50] VYSÍLAČKA *Spektrum DX5e, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.spektrumrc.com>.
- [51] DP-SHT *Čidlo Sensirion SHT15, obrázek*, 27.4.2014.
<http://www.soselectronic.cz>.
- [52] ZÁHLAVA, V. *OrCAD 10*. Grada Publishing, Praha 2004.
- [53] ZÁHLAVA, V. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2005.
- [54] VOBECKÝ, J. a ZÁHLAVA, V. *Elektronika - součástky a obvody, principy a příklady*. Třetí rozšířené vydání Grada Publishing, Praha 2005.
- [55] *Latexdocweb - online manuál*, 27.4.2014.
<http://cstug.cz>.
- [56] *Info BP -K336 Info — pokyny pro psaní bakalářských prací*, 27.4.2014.
<http://info336.felk.cvut.cz>.
- [57] *Popis čidla SHT15*, 27.4.2014.
<http://sensirion.com>.
- [58] *TME, obchod s elektronickými součástkami*, 27.4.2014.
<http://www.tme.cz>.
- [59] *Pragoboard a.s., výrobce plošných spojů*, 27.4.2014.
<http://www.pragoboard.cz>.

Kapitola 7

Seznam použitých zkratek

USART Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter

SPI Serial Peripheral Interface

TWI Inter-IC-bus

RTC Real-Time Clock

FAT File Allocation Table

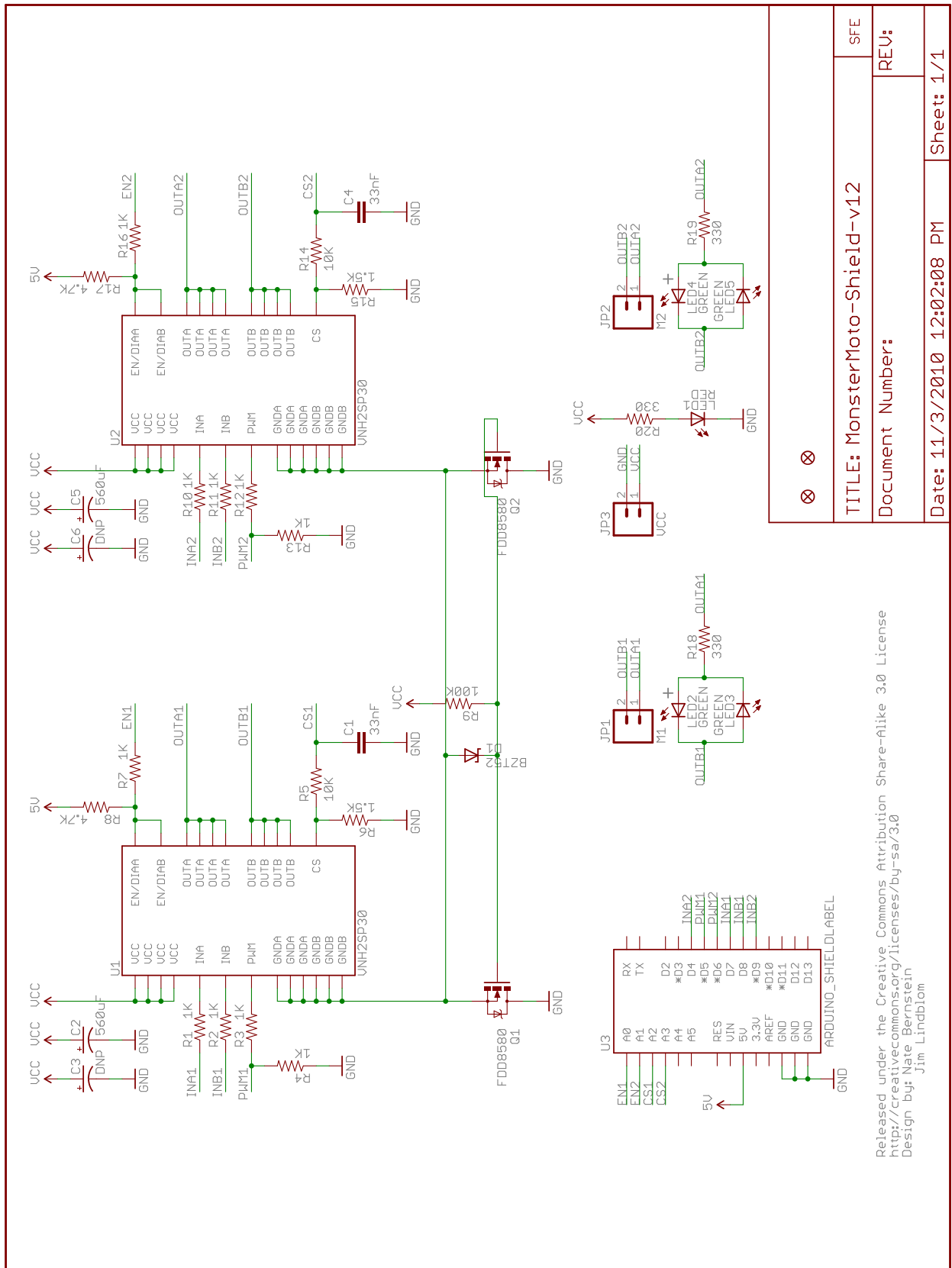
DPS Deska plošného spoje

GPS Global Positioning System

PWM Pulzně šířková modulace

Příloha A

Schéma MotorShieldu



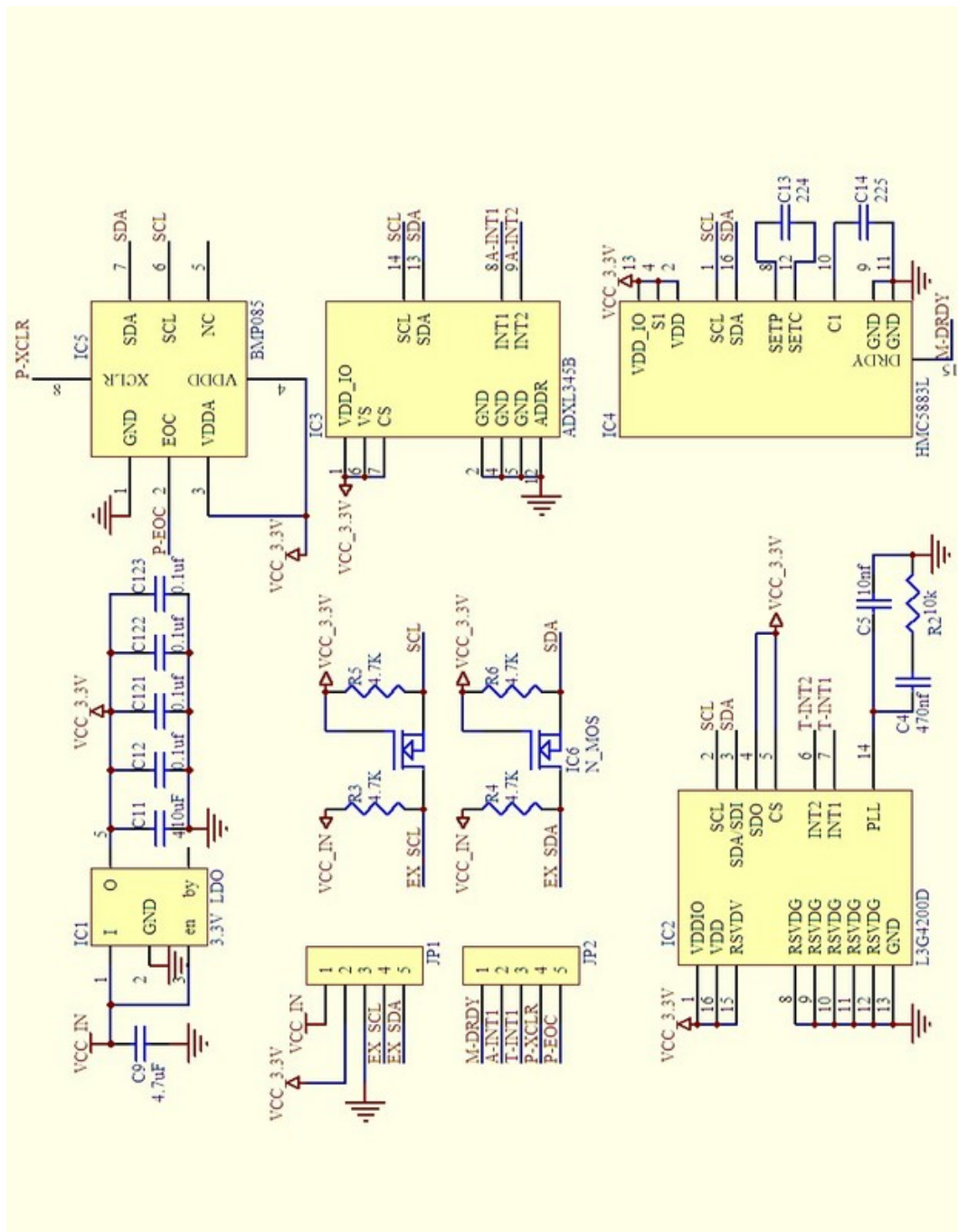
⊗			
⊗			
TITLE: MonsterMoto-Shield-v12		SFE	
Document Number:		REV:	
Date: 11/3/2010 12:02:08 PM		Sheet: 1/1	

Released under the Creative Commons Attribution Share-Alike 3.0 License
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>
 Design by: Nate Bernstein
 Jim Lindblom

Obrázek A.1: Schéma zapojení MotorShieldu [22]

Příloha B

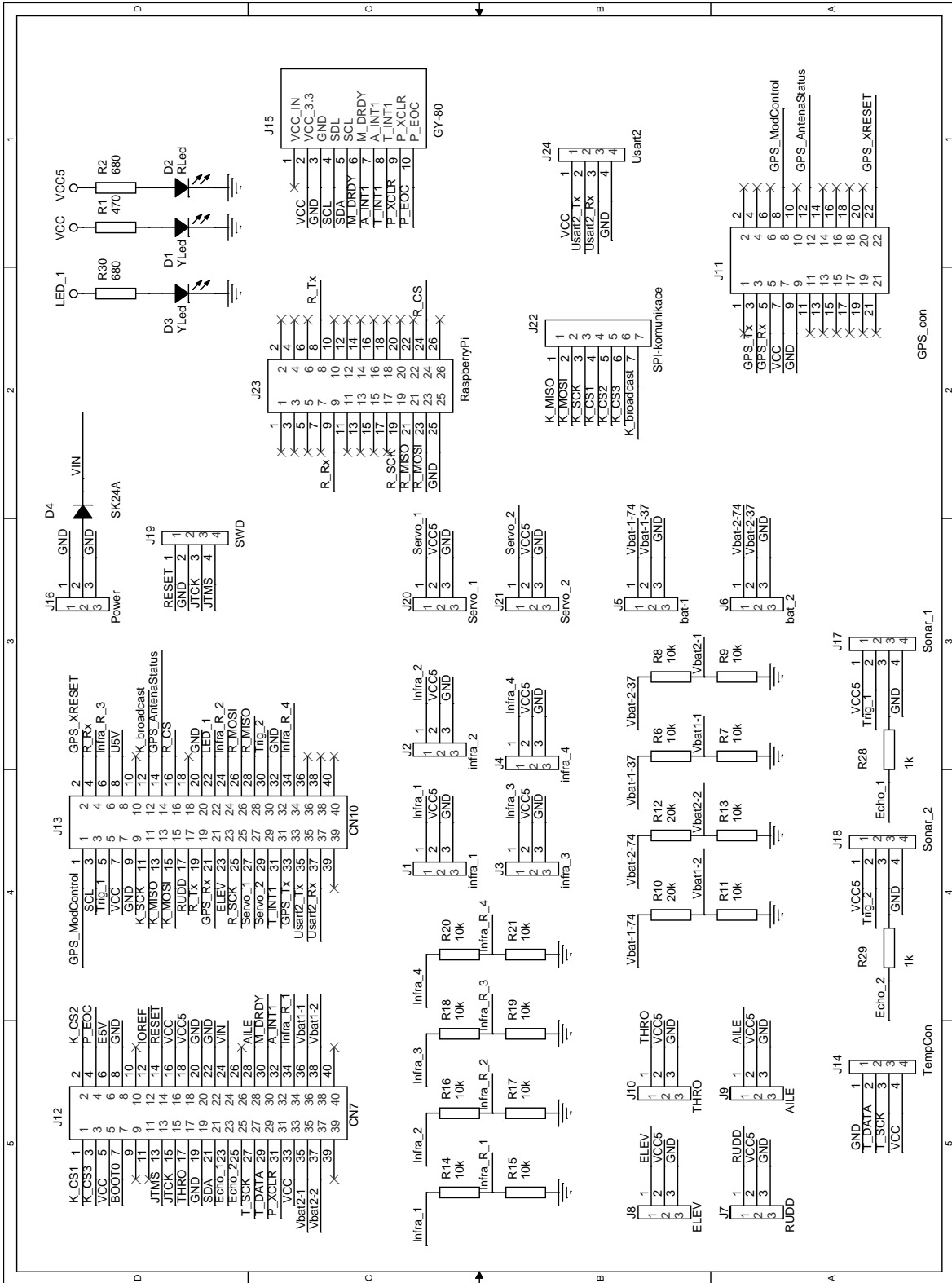
Schéma Modulu GY-80



Obrázek B.1: Schéma zapojení modulu GY-80 [40]

Příloha C

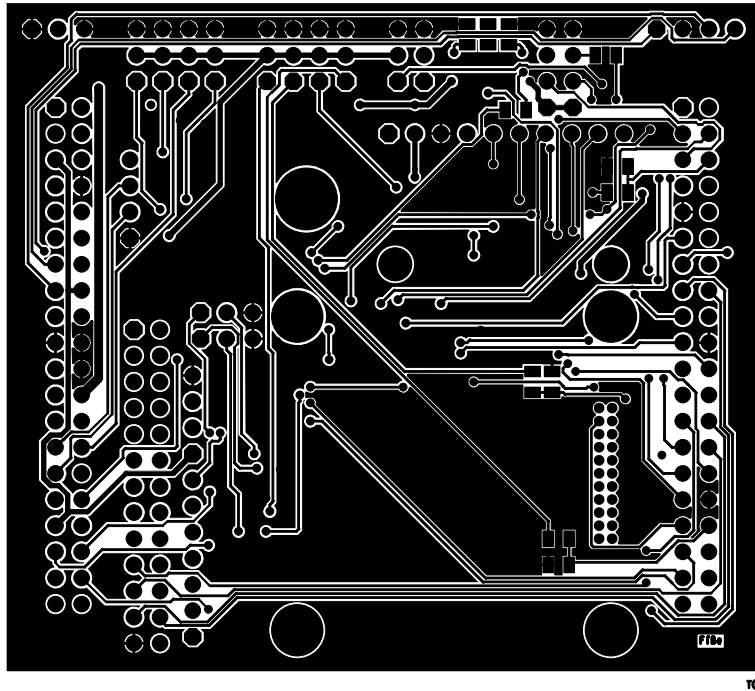
Schéma řídicího modulu



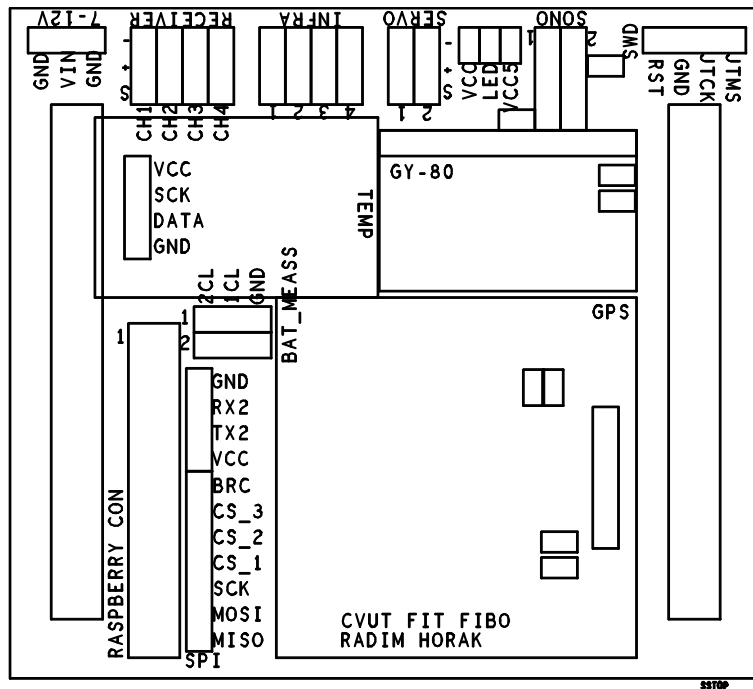
Obrázek C.1: Schéma zapojení modulu připojeného k řídicí desce.

Příloha D

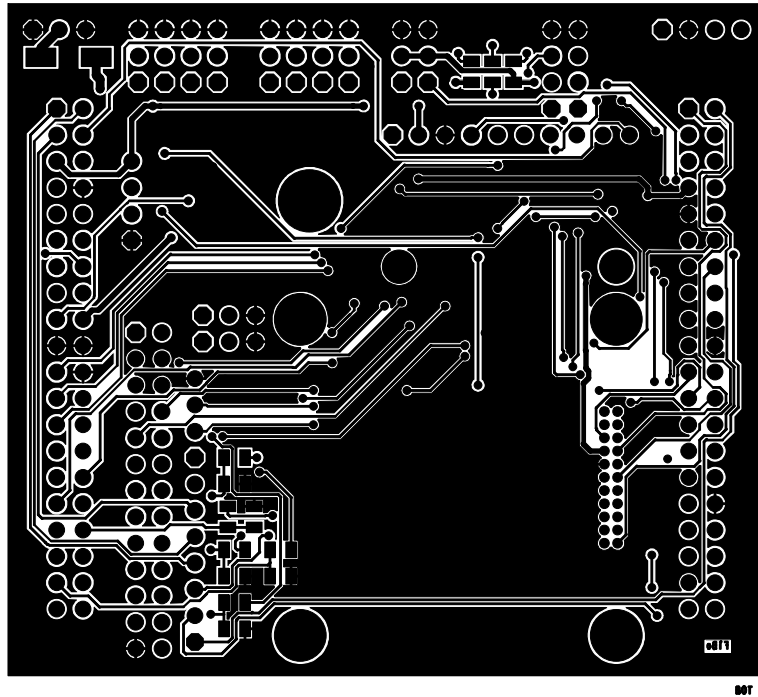
DPS a rozmístění součástí



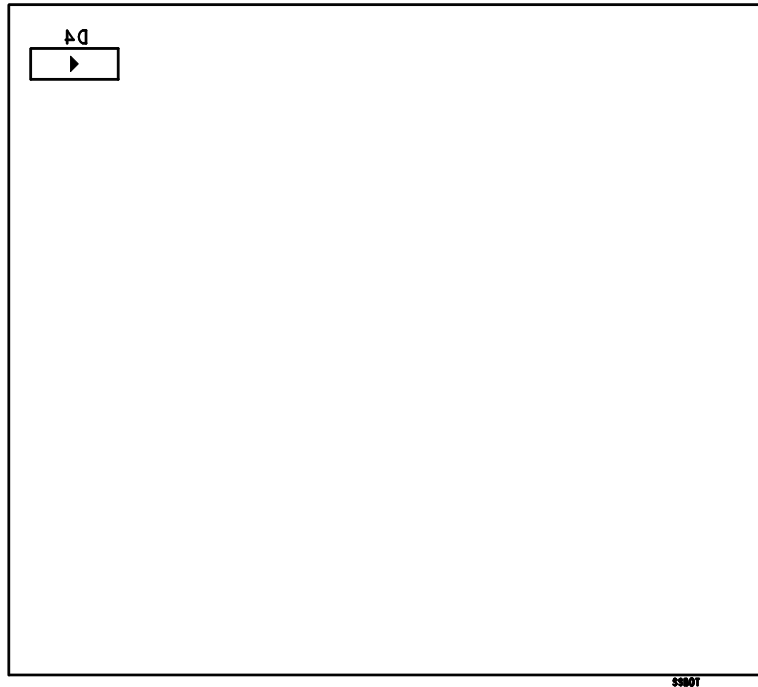
Obrázek D.1: Vrstva TOP



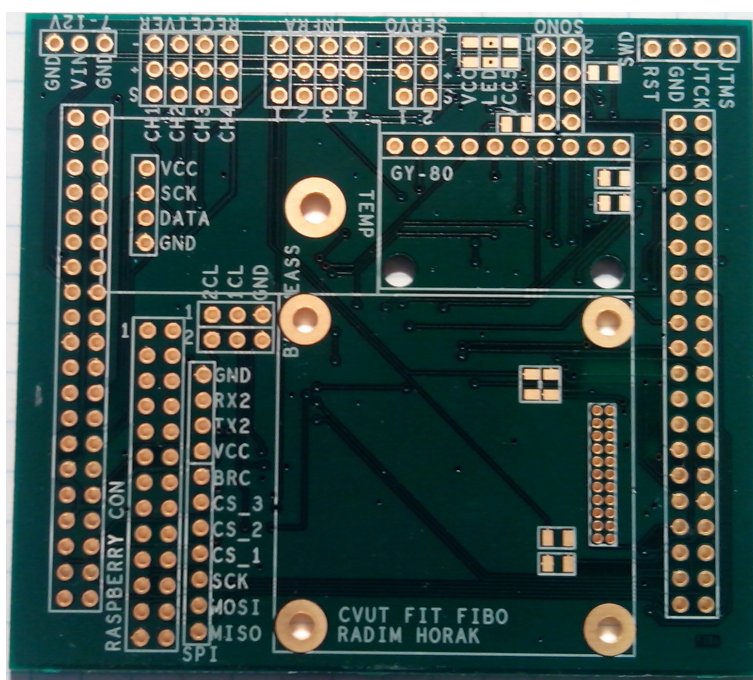
Obrázek D.2: Rozmístění součástek TOP



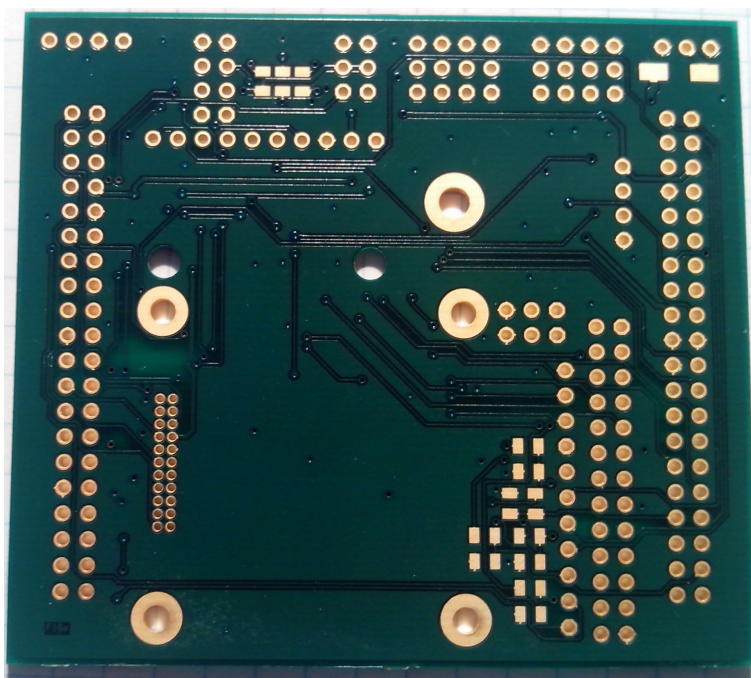
Obrázek D.3: Vrstva BOT



Obrázek D.4: Rozmístění součástek BOT



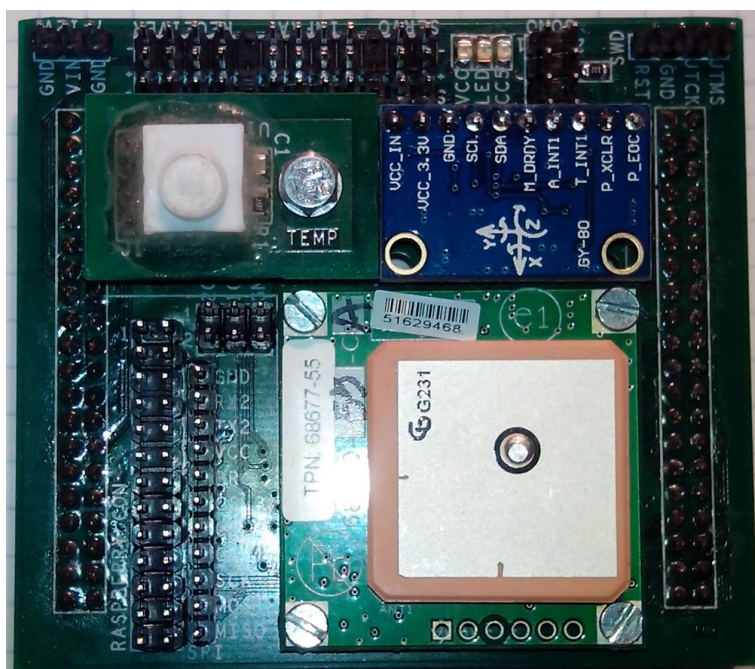
Obrázek D.5: Neosazená deska vrstva TOP



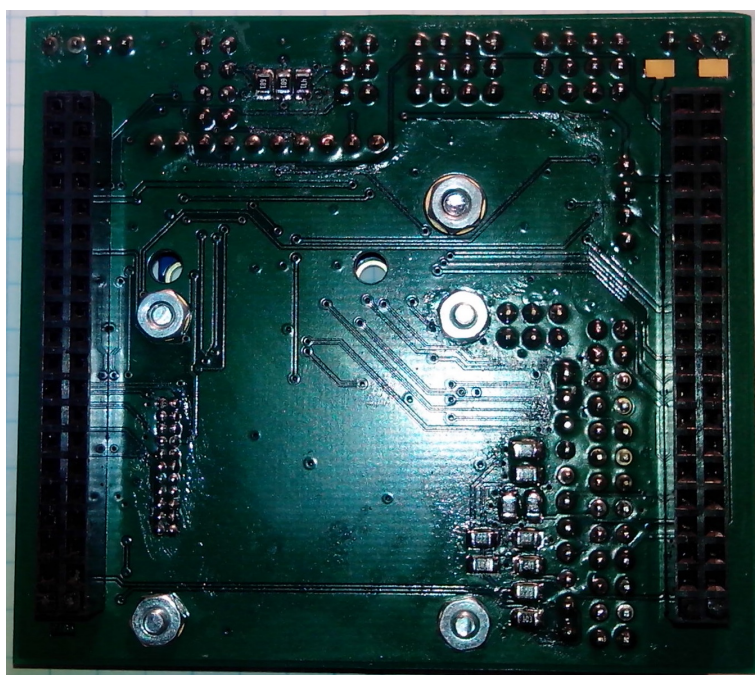
Obrázek D.6: Neosazená deska vrstva BOT

Příloha E

Osazená deska



Obrázek E.1: Osazená deska vrstva TOP



Obrázek E.2: Osazená deska vrstva BOT

Příloha F

Třídy

V této příloze jsou popsány jednotlivé třídy, které byly vytvořeny pro potřeby obsluhy periférií. Popisovány budou pouze mnou vytvořené třídy. Třídy, které obsahuje SDK popisovány nebudou.

F.1 Třída Akumulator

Akumulator (PinName pinFirstCell, PinName pinBattery) - konstruktor třídy, vstupními parametry jsou pin, kam je připojen první clánek akumulátoru a pin kam je připojena celý akumulátor.

int getFirstCell (float &fVoltage) - Metoda uloží do proměnné fVoltage naměřenou hodnotu prvního článku akumulátoru. Návrátová hodnota funkce je 1 (měření proběhlo v pořádku), nebo 0 (měření se nezdařilo).

int getSecondCell (float &fVoltage) - Metoda uloží do proměnné fVoltage naměřenou hodnotu druhého článku akumulátoru. Návrátová hodnota funkce je 1 (měření proběhlo v pořádku), nebo 0 (měření se nezdařilo).

int getVoltage (float &fVoltage) - Metoda uloží do proměnné fVoltage naměřenou hodnotu napětí akumulátoru. Návrátová hodnota funkce je 1 (měření proběhlo v pořádku), nebo 0 (měření se nezdařilo).

F.2 Třída SHT15

SHT15 (PinaName pinSck, PinaName pinData) - Konstruktor třídy, vstupními parametry jsou piny mikrořadiče, kam je čidlo připojeno.

float measTemp (void) - Metoda vrací naměřenou teplotu.

int measHumi (float fTemp) - Metoda vrací naměřenou vlhkost. Vstupním parametrem je teplota, která je potřebná pro výpočet vlhkosti.

F.3 Třída INFRA

INFRA (PinaName pinInfra) - Konstruktor třídy, vstupním parametrem je pin AD převodníku, kam je senzor připojen.

int getDistanceCm(void) - Metoda vrací naměřenou vzdálenost v centimetrech. Pokud je naměřená hodnota menší než 10 cm, je návratová hodnota -1. pokud je větší než 80 cm, vrací metoda 0.

F.4 Třída RCreceiver

RCreceiver (PinaName pinPwmIn) - Konstruktor třídy, vstupním parametrem je pin, kam je připojen káňál přijímače.

int getValue(void) - Metoda vrací naměřenou šířku PWP signálu v us.

F.5 Třída GPS

SHT15 (PinaName pinGpsTx, PinaName pinGpsRx) - Konstruktor třídy, vstupními parametry jsou piny, které jsou využity pro sériovou komunikaci.

float getLongitude (void) - Metoda vrací zeměpisnou délku.

float getLatitude (void) - Metoda vrací zeměpisnou šířku.

float getSpeed (void) - Metoda vrací rychlost v km/h.

float getUTC (void) - Metoda vrací čas ve formátu UTC.

float getNorth (void) - Metoda vrací směr k severu ve stupních.

F.6 Třída GY-80

GY80 (PinaName pinSDA, PinaName pinSCL) - Konstruktor třídy, vstupními parametry jsou piny I2C sběrnice, na kterou je modul připojen.

void readGyro(float* fGyroXYZ) - Metoda vyčte z Gyroskopu aktuální hodnoty a uloží je do pole, které je vstupním parametrem.

void readAccel(float* fAccelXYZ) - Metoda vyčte z Akcelerometru aktuální hodnoty a uloží je do pole, které je vstupním parametrem.

void readMagn(float* fMagnXYZ) - Metoda vyčte z Magnetometru aktuální hodnoty a uloží je do pole, které je vstupním parametrem.

F.7 Třída MOTOR

MOTOR (char cPosition) - Konstruktor třídy, pomocí cPosition je nastaveno, zda se motor nachází nalevo, nebo napravo ve směru jízdy.

void goLeft(void) - Metoda pro nastavení otáčení motoru vlevo.

void goRight(void) - Metoda pro nastavení otáčení motoru vpravo.

void stop(void) - Metoda pro zastavení motoru.

int getSpeed(void) - Metoda pro zjištění rychlosti motoru.

void setSpeed(int iPercent) - metoda pro nastavení rychlosti motoru v procentech (0 až 100%).

Příloha G

Obsah přiloženého CD

Na přiloženém CD jsou přiloženy zdrojové kódy, katalogové listy použitých obvodů a projekty z programu OrCad 16.3.

- Adresář Firmware
Adresář obsahuje kompletní zdrojové kódy.
- Adresář Datasheet
V adresáři jsou uloženy katalogové listy použitých obvodů.
- Adresář PCB
Adresář obsahuje všechny potřebné podklady pro výrobu desek, včetně knihoven se součástkami pro potřeby programu OrCAD.