

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

NAVIGAČNÍ JEDNOTKA ROBOTICKÉHO VOZIDLA

Bc. Kamil Regner

Diplomová práce
2021

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Kamil Regner**
Osobní číslo: **I19305**
Studijní program: **N0714A150005 Automatické řízení**
Studijní obor: **Automatické řízení**
Téma práce: **Navigační jednotka robotického vozidla**
Zadávací katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace navigační sensorické jednotky na principu trilaterace, určené pro řízení mobilního robotického vozidla. Data z navigační jednotky budou použita k návrhu a implementaci řídicích algoritmů vybraného typu mobilního robota. Vhodným typem pro testování navigační jednotky může být např. mobilní robotická sekačka trávy. Jako řídicí jednotka navigační jednotky a robotického vozidla bude použita komerčně dostupná vývojová platforma s jednočipovým mikropočítačem (např. řady ATmega), doplněná o příslušné elektronické obvody. Pro testování navržených elektronických obvodů bude navržen a realizován model vybraného typu robotického vozidla s využitím technologie 3D tisku. Nedílnou součástí práce bude řešerše na dané téma, kompletní výrobní dokumentace jednotky a modelu robotického vozidla, včetně zdrojových kódů navrženého software.

Rozsah pracovní zprávy: **60**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4
EVERETT, H., R. Sensors for Mobile Robots, Theory and Applications. 1.vyd. A.K.Peters, Ltd. ISBN 1-568811-048-2.
NOVÁK, P. Mobilní roboty – pohony, senzory, řízení, BEN-technická literatura, Praha 2007, ISBN 80-7300-141-1

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: **6. listopadu 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2021**

L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 16. listopadu 2020

Prohlášení

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Bc. Kamil Regner

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za odborné vedení, veškerou pomoc a cenné rady při zpracování této diplomové práce a firmě DigTech za nezbytnou technickou pomoc.

Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za veškerou pomoc a podporu během studia.

V Pardubicích dne

Kamil Regner

ANOTACE

Práce se zabývá návrhem a realizací vlastní navigační jednotky robotického vozidla a jejím následným použitím pro navigaci a řízení pohybu modelu robotické sekačky. Byla provedena rešerše parametrů a funkcí současných komerčně vyráběných robotických sekaček a navržen a vyroben vlastní testovací model robotické sekačky. Byla provedena též rešerše vyráběných navigačních jednotek a vysvětleny jednotlivé principy určování polohy a navigace. Na základě výsledků rešerše byl navržen, vyroben a zprovozněn vlastní navigační systém robotického vozidla a následně implementován a použit k řízení testovacího modelu sekačky. Funkce navigační jednotky a celého modelu byla ověřena v praxi.

KLÍČOVÁ SLOVA

navigační jednotka robotického vozidla, DWM1000, robotická sekačka, autonomní robotická sekačka.

TITLE

ROBOTIC VEHICLE NAVIGATION UNIT

ANNOTATION

This thesis deals with the design and the and implementation of its own navigation unit for a robotic vehicle and its subsequent use for a robotic lawnmower model. Review of parameters and functions of currently commercially produced robotic lawnmowers was performed and my own test model of a robotic lawnmower was designed and made. Also was performed a review of manufactured navigation units and individual principles of positioning and navigation were explained. Based on the results of the review, the robotic vehicle's own navigation system was designed, made and put into operation, and subsequently implemented and used to control the mower's test model. The function of the navigation unit and the whole model was verified in practice.

KEYWORDS

robotic vehicle navigation unit, DWM1000, robotic lawnmower, autonomous robotic lawnmower.

OBSAH

	OBSAH.....	14
	SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK.....	17
	SEZNAM ILUSTRACÍ.....	18
	SEZNAM TABULEK.....	20
	ÚVOD.....	21
1	TEORETICKÁ ČÁST.....	22
1.1	Určování polohy.....	22
1.1.1	Úhломěrná měření.....	22
1.1.2	Dálkoměrná měření.....	23
1.1.3	Kombinace úhломěrných a dálkoměrných měření.....	24
1.2	Navigace.....	24
1.2.1	Navigace podle orientačních bodů.....	25
1.2.2	Navigace výpočtem.....	26
1.2.3	Astronomická navigace.....	27
1.2.4	Inerciální navigace.....	27
1.3	Radiová navigace.....	28
1.3.1	Principy měření vzdálenosti.....	28
1.4	Metody měření a vyhodnocování.....	29
1.4.1	Určení absolutní polohy v terénu.....	29
1.4.2	Určení relativní polohy v terénu.....	31
1.4.3	Určení polohy pomocí geodetických měření.....	32
1.5	Navigace robota.....	33
1.5.1	Triangulace.....	33
1.5.2	Trilaterace.....	34
1.6	Komerčně vyráběné robotické sekačky.....	35
1.6.1	Parametry robotických sekaček.....	36

1.6.2	Možné přídatné funkce.....	37
1.7	Navigace robotických sekaček	38
1.7.1	Vymezení hranic plochy sečení	39
1.7.2	Naplánování trasy sečení	40
2	REALIZACE MODELU MOBILNÍHO ROBOTY.....	41
2.1	Funkce a parametry vybrané pro testovací model	42
2.2	Součástky vybrané pro testovací model	43
2.2.1	Senzor nárazu.....	43
2.2.2	Senzor náklonu.....	43
2.2.3	Senzor zdvižení.....	44
2.2.4	Dešťový senzor	44
2.2.5	Alarm	45
2.2.6	Arduino nano R3 klon.....	45
2.2.7	Arduino Pro Mini klon.....	46
2.2.8	Motor pohánějící kola robota.....	47
2.2.9	Driver ovládající motory kol.....	48
2.2.10	Motor žacího systému	50
2.2.11	Driver motoru žacího systému	50
2.2.12	Akumulátor	52
2.2.13	Step-down měnič 5 V.....	52
2.2.14	Step-down měnič 3,3 V.....	53
2.2.15	Modul pro měření vzdáleností	54
2.3	Arduino komunikace	55
2.3.1	Arduino I2C komunikace.....	55
2.3.2	Arduino sériová komunikace	56
2.4	Model robota.....	58
2.4.1	Blokové schéma zapojení součástek modelu robota.....	58

2.4.2	Popis funkce jednotlivých vývojových desek.....	60
2.5	Model těla robota.....	65
2.5.1	Hlavní tělo robota	67
2.5.2	Víko robota	68
2.5.3	Zadní kola	68
2.5.4	Přední otočná kola.....	69
2.5.5	Nárazník	70
2.5.6	Trojzubec	70
2.5.7	Mulčovací hřeben.....	71
2.6	Model majáku	71
2.6.1	Blokové schéma zapojení modelu majáku.....	71
2.7	Model těla majáku	72
2.8	Instalace a zprovoznění modelu robota	73
3	ZHODNOCENÍ	74
4	ZÁVĚR	75
	POUŽITÁ LITERATURA	76
	PŘÍLOHY	78

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

2D	dvourozměrný prostor
3D	trojrozměrný prostor
ASCII	americký standardní kód pro výměnu informací
CPU	centrální procesorová jednotka
DC	stejnoseměrný
DPS	deska plošných spojů
EEPROM	elektricky mazatelná paměť typu ROM
GND	uzemnění
GPS	globální poziční systém
I2C	počítačová sériová sběrnice
LED	dioda emitující světlo
Li-Ion	Lithium-iont
PIN	osobní identifikační číslo
PSD	proporcionálně sumačně diferenční (regulátor)
RF	radiová frekvence
SMD	povrchová montáž
SPI	sériové periferní rozhraní
SRAM	statická paměť s libovolným přístupem
UART	univerzální asynchronní přijímač/vysílač
USART	univerzální synchronní/asynchronní přijímač/vysílač
USB	univerzální sériová sběrnice
UWB	ultra širokopásmové
VCC	napájení

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Určení polohy pomocí přímého měření (Rapant, 2002)	22
Obr. 1.2 – Úhломěrné měření (Rapant, 2002)	23
Obr. 1.3 – Dálkoměrné měření (Rapant, 2002)	24
Obr. 1.4 – Navigace podle orientačních bodů (Rapant, 2002)	26
Obr. 1.5 – Navigace výpočtem (Rapant, 2002)	27
Obr. 1.6 – Družice pohybující se na oběžné dráze (Rapant, 2002)	28
Obr. 1.7 – Trilaterace pomocí družic (Rapant, 2002)	30
Obr. 1.8 – Korekce získaných dat (Rapant, 2002)	31
Obr. 1.9 – Geodetické měření (Rapant, 2002)	32
Obr. 1.10 – Triangulace	33
Obr. 1.11 – Varianty trilaterace s různým počtem měřicích modulů	34
Obr. 1.12 – Komerčně vyráběná robotická sekačka	35
Obr. 1.13 – Robotická sekačka v nabíjecí stanici	36
Obr. 1.14 – Ovládací prvky robotické sekačky	38
Obr. 1.15 – Instalace obvodového vodiče	39
Obr. 1.16 – Různé řídicí algoritmy robotických sekaček (Kress-mission, nedatováno)	40
Obr. 2.1 – Koncový spínač (Laskarduino, nedatováno)	43
Obr. 2.2 – Modul MPU-6050 (Laskarduino, nedatováno)	43
Obr. 2.3 – Modul HC-SR 04 (Laskarduino, nedatováno)	44
Obr. 2.4 – Senzor pro detekci deště (Laskarduino, nedatováno)	45
Obr. 2.5 – Piezoelektrický reproduktor (Laskarduino, nedatováno)	45
Obr. 2.6 – Vývojová deska Arduino nano R3 klon (Laskarduino, nedatováno)	46
Obr. 2.7 – Vývojová deska Arduino Pro Mini klon (Laskarduino, nedatováno)	47
Obr. 2.8 – Krokový motor NEMA 17 (Laskarduino, nedatováno)	48
Obr. 2.9 – Driver krokových motorů DRV8825 (Laskarduino, nedatováno)	49
Obr. 2.10 – DC motor JGA25-370 (Laskarduino, nedatováno)	50
Obr. 2.11 – Driver DC motoru TB6612FNG (Laskarduino, nedatováno)	51
Obr. 2.12 – Li-ion akumulátor (Fenix, nedatováno)	52
Obr. 2.13 – Step-down měnič s LM2596 (Laskarduino, nedatováno)	53
Obr. 2.14 – SMD step-down měnič (Laskarduino, nedatováno)	54
Obr. 2.15 – Modul DWM1000 (Decawave, nedatováno)	54
Obr. 2.16 – Vývojový diagram komunikačního protokolu vysílače	57

Obr. 2.17 – Vývojový diagram komunikačního protokolu přijímače.....	58
Obr. 2.18 – Blokové schéma zapojení součástek robota	59
Obr. 2.19 – Souřadný systém použitý pro navigaci	61
Obr. 2.20 – Výpočet úhlu mezi dvěma body	62
Obr. 2.21 – Vývojový diagram pro určení směru otáčení	64
Obr. 2.22 – Ukázka vyrobeného a složeného těla robota	66
Obr. 2.23 – Návrh těla modelu testovacího robota	66
Obr. 2.24 – Návrh hlavního těla robota	67
Obr. 2.25 – Návrh víka robota	68
Obr. 2.26 – Návrh zadního kola.....	69
Obr. 2.27 – Návrh předního otočného kola	69
Obr. 2.28 – Návrh nárazníku	70
Obr. 2.29 – Návrh trojzubce	70
Obr. 2.30 – Návrh mulčovacího hřebene	71
Obr. 2.31 – Blokové schéma zapojení součástek modelu majáku.....	71
Obr. 2.32 – Návrh těla majáku.....	72
Obr. 2.33 – Ukázka možného umístění majáků a kalibrace robota	73

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Parametry komerčně vyráběných robotických sekaček (Vyskočilová, 2021).....	37
Tab. 2.1 – Kombinace pro nastavení rozlišení kroku (Texas Instruments, 2014)	49
Tab. 2.2 – Režimy driveru DC motoru (Toshiba, 2014).....	51

ÚVOD

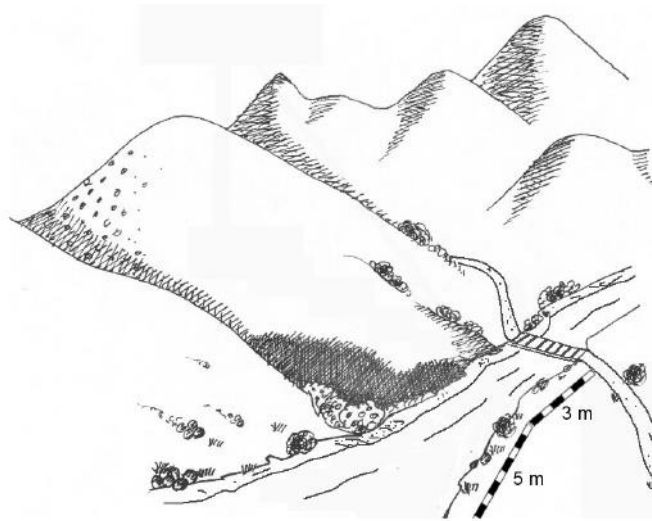
V současné době jsou roboty využívány ve všech odvětvích průmyslu i v mnoha domácnostech. Jejich úkolem je dělat práci, která je pro lidi nebezpečná, fyzicky náročná či nudná. Postupem času jsou roboty pro použití v domácnosti neustále zlepšovány a zlevňovány, a proto dochází k jejich masovému používání. Mobilními roboty pro použití v domácnostech může být například automatický robotický vysavač či robotická sekačka trávy. Na trhu existuje nepřeberné množství různých typů robotických vysavačů a sekaček s různými parametry a funkcemi. Každý mobilní robot se musí být schopen orientovat v prostředí, kde se nachází. U robotických sekaček se schopnost orientace a navigace v prostoru liší často na základě ceny daného modelu. U levnějších modelů bývá pro orientaci využito obvodového vodiče, kterým prochází elektrický proud a robotická sekačka pouze nahodile jezdí v prostoru vodičem ohraničeném. U dražších modelů může být využito obvodového vodiče, ale často se lze navíc setkat s algoritmy, které pohyb robota při sekání řídí. Algoritmy jsou opět více či méně efektivní a pro svou funkci využívají například odometrii či GPS navigaci.

Cílem práce je navržení navigační jednotky robotického vozidla, která bude následně použita pro navigaci a řízení pohybu modelu robotické sekačky. Musí být zvoleny a správně naprogramovány všechny součástky sloužící pro funkci navigační jednotky i pro funkci modelu robotické sekačky. Model musí být navržen a vyroben s pomocí technologie 3D tisku. Celková funkčnost modelu bude ověřena v praxi, kdy bude model testován v reálných podmínkách.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Určování polohy

Určováním polohy se nazývá proces, při kterém je stanovena poloha bodu v prostoru. Výsledkem bývá souřadnice, označující polohu bodu v daném souřadném systému. Polohu lze určit pomocí přímého a nepřímého měření. V prvním případě je přímo změřena vzdálenost od referenčního bodu.



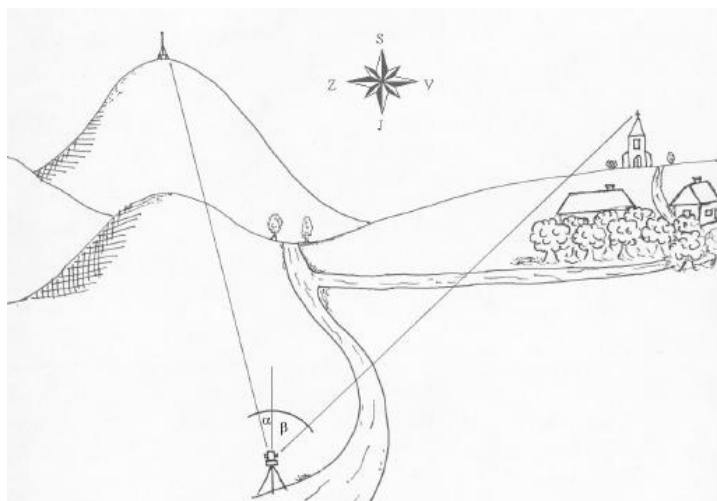
Obr. 1.1 – Určení polohy pomocí přímého měření (Rapant, 2002)

Tento způsob měření je obtížný, proto je využíváno nepřímého měření, kdy jsou měřeny jiné veličiny a na základě vyhodnocení získaných údajů je možné určit polohu pozorovatele. Obvykle jsou pro nepřímé měření využívány tři metody:

- úhломěrná měření,
- dálkoměrná měření,
- kombinace úhломěrných a dálkoměrných měření (Rapant, 2002).

1.1.1 Úhломěrná měření

Úhломěrná měření jsou založena na změření azimutu nejméně dvou míst, která je možné přesně lokalizovat na mapě. Následně je pak na mapě danými místy proložena přímka, která s přímkou směřující k severu svírá úhel, jenž je rovný změřenému azimutu a hledaný bod se nachází v průsečíku těchto dvou přímek (Rapant, 2002).

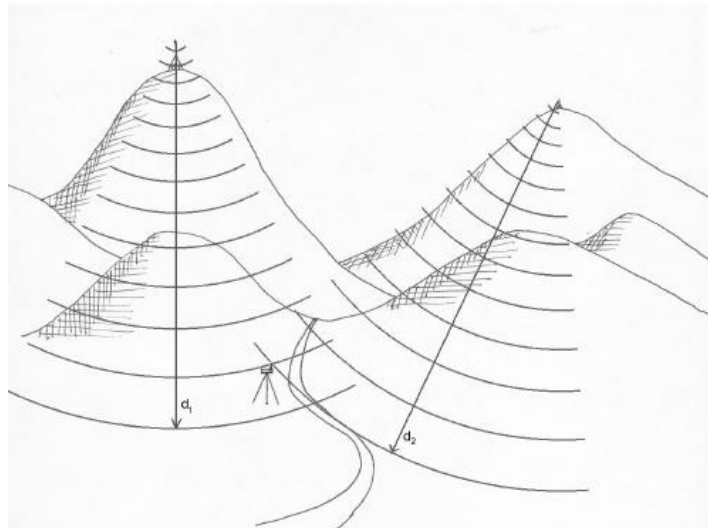


Obr. 1.2 – Úhloměrné měření (Rapant, 2002)

V praxi se tato měření provádí pomocí kompasu či směrovými anténami a výsledná poloha poté může být určena graficky nebo výpočetně. Nevýhodou této metody je chyba úměrně rostoucí se zvětšující se měřenou vzdáleností.

1.1.2 Dálkoměrná měření

Dálkoměrná měření jsou v případě použití běžných mechanických a optických prostředků méně častá. Pro zjišťování polohy pomocí rádiových vln jsou však hojně využívána. Pro zjednodušení je při popisu této metody brán v potaz pouze dvourozměrný prostor. Základem této metody je změření vzdálenosti vysílače a přijímače. Pokud je uvažován dvourozměrný prostor, přijímač se musí nacházet v kterémkoliv bodu kružnice, se středem v místě vysílače a poloměrem rovným změřené vzdálenosti (Rapant, 2002).



Obr. 1.3 – Dálkoměrné měření (Rapant, 2002)

Pokud je změřena vzdálenost ke dvěma vysílačům, bude se hledaný bod nacházet na průsečíku dvou kružnic, které mají střed v místě vysílačů a poloměr rovný vzdálenosti přijímače od vysílačů. V případě, že se přijímač nachází přesně na přímce protínající středy kružnic, dotýkají se tyto kružnice pouze v bodě, kde je přijímač. Pokud tedy přijímač na dané přímce neleží, jsou získány dva průsečíky – dva body, kde se může daný přijímač nacházet. Aby bylo měření zpřesněno, je třeba do měření zavést další informace. Může tím být změřeni vzdálenosti k dalšímu vysílači. Tím jsou získány tři kružnice, které mají ve 2D prostoru průsečík pouze v jednom bodě. Předpokladem pro správné určení polohy pomocí dálkoměrného měření je přesná synchronizace všech součástí měřicího řetězce.

1.1.3 Kombinace úhломěrných a dálkoměrných měření

Při kombinaci úhломěrných a dálkoměrných metod měření je možné postupovat dvěma způsoby. V prvním případě je třeba z bodu se známými souřadnicemi provést odměření azimutu a vzdálenosti k bodu s neznámou polohou, nebo z bodu s neznámou polohou provést změřeni azimutu a vzdálenosti k bodu se známou polohou. Pomocí obou metod pak jsou získány přesné souřadnice neznámého bodu výpočtem či geometrickou konstrukcí (Rapant, 2002).

1.2 Navigace

Termínem navigace je označováno vedení osob či dopravních prostředků z počátečního do cílového bodu po předem naplánované trase. V dřívějších dobách se termín navigace

používal hlavně v námořní dopravě. V průběhu let bylo vymyšleno mnoho způsobů navigace založených na různých fyzikálních a matematických principech. Je to například:

- navigace podle orientačních bodů,
- navigace výpočtem,
- astronomická navigace,
- inerciální navigace,
- radiová navigace.

Navigační metody se též různí podle druhu dopravy, pro kterou jsou používány:

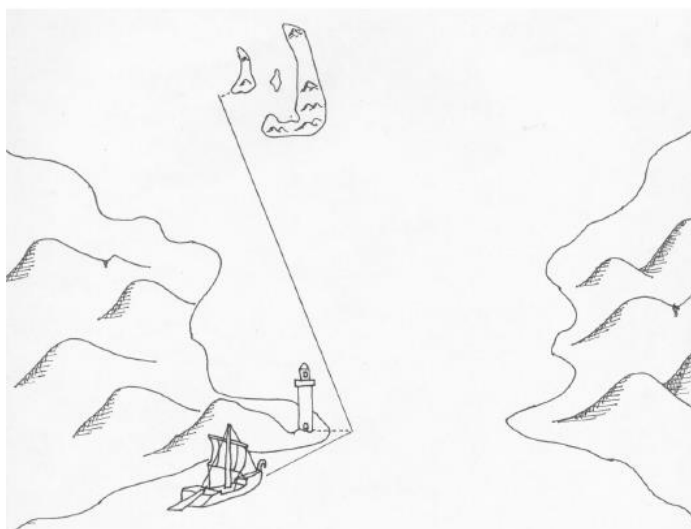
- námořní navigace,
- navigace pod vodní hladinou,
- pozemní navigace,
- kosmická navigace.

Každé prostředí má svá specifika. Liší se například:

- prostředím, ve kterém se objekty pohybují, kdy se bude například podvodní navigace lišit od té pozemní,
- rychlostí pohybu, kdy rychlosti v kosmu jsou řádově vyšší než rychlosti na zemském povrchu,
- rozměrností prostoru, ve kterém se pohyb odehrává (zda stačí pro navigaci uvažovat jen dvourozměrný prostor, nebo je třeba uvažovat prostor trojrozměrný),
- volností pohybu, kde může být například pozemní navigace omezena pouze na existující pozemní komunikace (Rapant, 2002).

1.2.1 Navigace podle orientačních bodů

Při navigaci podle orientačních bodů jsou využity význačné body v terénu. Mohou to být buď přírodní útvary (hora, útes, jezero, strom), nebo uměle vytvořené orientační body (maják, bóje, stavba). Při navigaci podle těchto orientačních bodů se dopravní prostředek vždy pohybuje nějakou část trasy směrem k vybranému orientačnímu bodu, dokud se k němu nepřiblíží na danou vzdálenost, poté je zvolen další orientační bod a pohyb takto pokračuje, dokud dopravní prostředek nedosáhne cíle (Rapant, 2002).



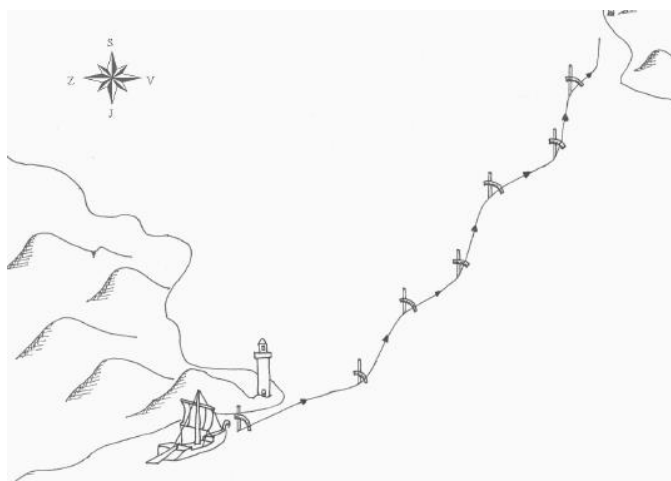
Obr. 1.4 – Navigace podle orientačních bodů (Rapant, 2002)

Pokud se orientační bod nenachází ve směru plánovaného pohybu, může se dopravní prostředek pohybovat pod nějakým úhlem vzhledem k tomuto bodu. Díky tomuto způsobu je možno dosáhnout jakéhokoli směru pohybu.

Postupem času se s dostupností lepších technologií začalo využívat hlavně odměření úhlu od jediného orientačního bodu – severního pólu a odměřené úhly se nazývají azimuty. Ke zjištění polohy tímto způsobem lze použít úhломěrná měření (Rapant, 2002).

1.2.2 Navigace výpočtem

Princip této metody spočívá v průběžném odměření směru a vzdálenosti aktuálního pohybu. Z těchto informací je možné dopočítat polohu dopravního prostředku od výchozího bodu (Rapant, 2002).



Obr. 1.5 – Navigace výpočtem (Rapant, 2002)

Tento způsob navigace byl využíván nejvíce v námořní dopravě, kde však nebylo technicky možné přesně změřit směr pohybu lodi. Bylo možné změřit pouze směr natočení lodi, ale tento směr nemusel vždy odpovídat skutečnému směru pohybu, který byl ovlivněn mořskými proudy a větry. Proto nesla vynášená navigační linie pouze informaci o teoretické poloze a skutečná poloha byla zjišťována podle orientačních bodů, při jejichž dosažení začala navigace výpočtem znovu (Rapant, 2002).

1.2.3 Astronomická navigace

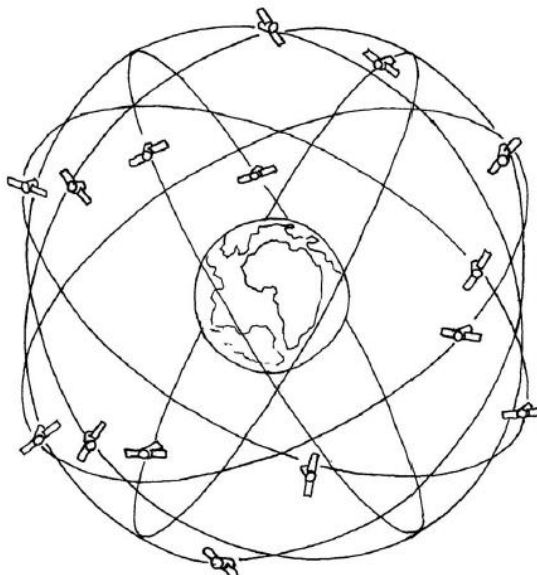
Astronomická navigace je založena na pozorování hvězd, Slunce a Měsíce. Metoda spočívá ve změně polohy astronomických těles v závislosti na čase a na poloze pozorovatele na Zemi. Pokud se v nadhlavníku pozorovatele nachází hvězda, jejíž deklinace je známa, je možné jednoduše určit polohu dopravního prostředku. Deklinace vesmírného tělesa udává úhlovou vzdálenost rovnoběžky, na níž se těleso nachází, od zemského rovníku. Pokud je tedy známa deklinaci hvězdy, která je pozorována v nadhlavníku, je zeměpisná šířka dopravního prostředku stejná jako její deklinace (Rapant, 2002).

1.2.4 Inerciální navigace

Při inerciální navigaci jsou využívány gyroskopy, které dlouhodobě udržují zadaný směr. Soustava gyroskopů je spojena s vyhodnocovací jednotkou, která na základě integrace signálu ze soustavy dopočítá polohu dopravního prostředku (Rapant, 2002).

1.3 Radiová navigace

Radiová navigace je v dnešní době nejpoužívanějším typem navigace. Při této navigaci je často využíváno umělých družic, pohybujících se na zemské oběžné dráze po známých a přesně definovaných drahách.



Obr. 1.6 – Družice pohybující se na oběžné dráze (Rapant, 2002)

Přesné informace o poloze družic a o případných odchylkách systémového času a hodin družic jsou zjišťovány sadou pozemních stanic a vysílány zpět na družice. V případě potřeby mohou být družice těmito pozemními stanicemi i ovládány. Uživatelé musejí disponovat přijímači, které dokážou informace z družic přijímat a zpracovávat. Na základě požadavků uživatelů je specifikována přesnost určování polohy, dostupnost signálu a jeho kontinuita (Rapant, 2002).

1.3.1 Principy měření vzdálenosti

Při radiové navigaci je určována vzdálenost přijímače vzhledem k více družicím navigačního systému. Vlastní poloha přijímače je určena průnikem. Vzdálenost přijímače od družice je možno změřit pomocí kódových měření, fázových měření a dopplerovských měření.

Kódová měření jsou založena na dálkoměrných kódech, které jsou vysílány jednotlivými družicemi. Díky dálkoměrným kódům je přijímač schopen určit přesný čas, kdy byla kterákoli část kódu družicí odeslána a na základě rozdílu času odeslání a přijetí zprávy je možno dopočítat vzdálenost družice od přijímače pomocí vzorce

$$d = \Delta t \cdot c, \tag{1.1}$$

kde d – vzdálenost přijímače od družice,
 Δt – rozdíl času odeslání a přijetí zprávy,
 c – rychlost šíření radiových vln (Rapant, 2002).

Z důvodu případné neúplné synchronnosti hodin vysílače a přijímače může být určení rozdílu času odeslání a přijetí zprávy zatíženo chybou. Z tohoto důvodu je spočtena pouze zdánlivá vzdálenost. Korekce této nepřesnosti závisí na daném řešení navigačního systému (Rapant, 2002).

Fázová měření jsou založena na zpracování nosné vlny. Principem této metody je určení počtu vlnových délek nosné vlny mezi přijímačem a družicí. Tento údaj se skládá z celočíselného násobku nosné vlny a z desetinné části. Desetinnou část je schopen přijímač určit relativně přesně, nejednoznačnost však může nastat v případě určení celočíselného násobku nosných vln. Proto bylo vymyšleno mnoho způsobů, jak tuto nejednoznačnost odstranit. Pokud se přijímači podaří určit počet celých vln i jejich desetinnou část, je jednoduché sledovat jejich změnu a tím i změnu vzdálenosti přijímače od družice. Přijímač si tedy pamatuje hodnotu původního celočíselného násobku, ke kterému pouze přičítá či odečítá celé části vlnových délek, o které se vzdálenost změnila, i jejich desetinné části. V případě, že je spojení s družicí ztraceno, je tento proces měření znovu započat. Přesnost určení polohy dopravního prostředku závisí na vlnové délce nosné vlny (Rapant, 2002).

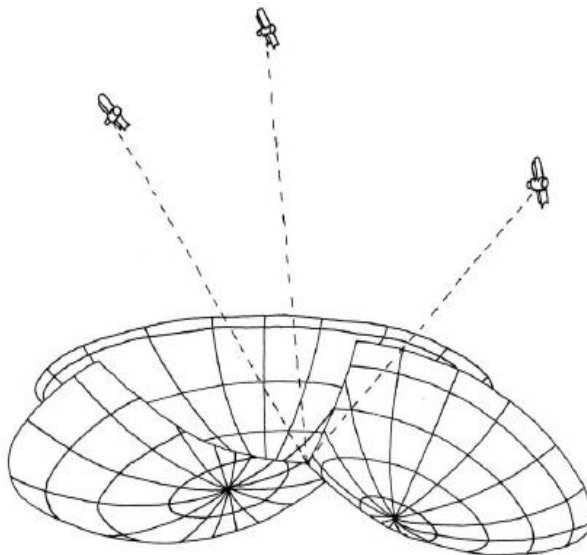
Dopplerovská měření se používají hlavně pro určení rychlosti pohybujících se dopravních prostředků. Tato měření jsou založena na Dopplerově jevu, kdy se frekvence přijímané vlny průběžně mění na základě pohybu družice vůči přijímači. Změna frekvence je průběžně měřena a z výsledku měření je spočtena změna vzdálenosti mezi družicí a přijímačem (Rapant, 2002).

1.4 Metody měření a vyhodnocování

1.4.1 Určení absolutní polohy v terénu

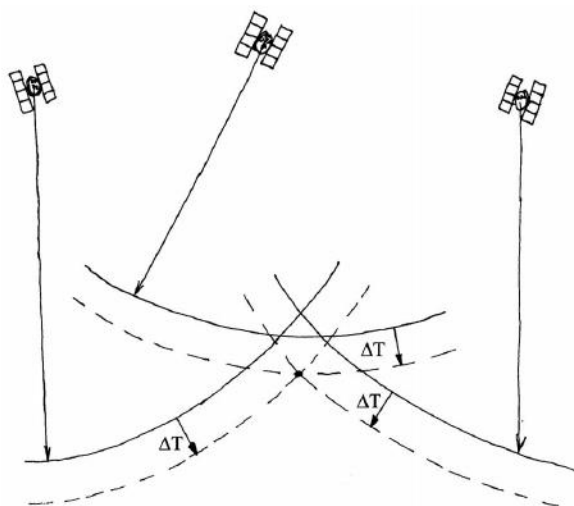
Za předpokladu, že jsou hodiny přijímače a družice plně synchronní, jsou zanedbány vlivy prostředí na šíření signálu a neexistují ani žádné další vlivy, které by ovlivnily výsledek měření, lze absolutní polohu přijímače určit pomocí zdánlivých vzdáleností, získaných kódovými měřeními. Pokud je změřena vzdálenost přijímače od družice, musí se přijímač

nacházet někde na povrchu pomyslné koule se středem v místě družice a poloměrem rovným změřené vzdálenosti. Pokud je vzdálenost změřena k druhé družici, je získána další kulová plocha se středem v druhé družici, na jejíž ploše se musí přijímač nacházet. Průnikem těchto dvou kulových ploch je kružnice. Toto však k přesnému určení polohy přijímače nestačí, protože je tímto způsobem získána pouze kružnice, na které se přijímač může nacházet v kterémkoli bodě. Proto je potřeba, aby byla změřena vzdálenost ke třetí družici. Tímto způsobem je získána třetí kulová plocha označující možnou polohu přijímače. Průnikem těchto třech kulových ploch jsou dva body. Jeden z nich leží na povrchu Země a druhý bod se nachází ve vesmíru. Pokud je známo, že se daný objekt nachází na povrchu Země, může být druhý bod zanedbán, a je získána přesná poloha přijímače (Rapant, 2002).



Obr. 1.7 – Trilaterace pomocí družic (Rapant, 2002)

Tímto způsobem by bylo možné určit přesnou polohu přijímače pouze za ideálních podmínek. Ve skutečnosti nejsou hodiny družice a přijímače plně synchronní se systémovým časem. Na základě znalosti odchylky mezi hodinami družice a systémovým časem je možné provádět korekce informací odesílaných družicemi. Časový posun mezi hodinami přijímače a systémovým časem Δt je však stále neznámý. Tento posun se však při měření projeví tím, že změřené zdánlivé vzdálenosti přijímače od družic nejsou správné a liší se od správně hodnoty o vzdálenost, kterou urazí vlna za čas Δt . Pokud je problém pro zjednodušení převeden do dvourozměrného prostoru, projeví se tato odchylka tím, že průsečíkem tří kružnic není jeden bod, ale zdánlivý trojúhelník. Pokud jsou ale změřené zdánlivé vzdálenosti upraveny o hodnotu $c \cdot \Delta t$, jsou získány správné vzdálenosti, a i přesná poloha přijímače (Rapant, 2002).



Obr. 1.8 – Korekce získaných dat (Rapant, 2002)

Tímto je získána soustava tří rovnic o čtyřech neznámých, kdy neznámými jsou souřadnice přijímače X, Y a Z a časový posun Δt . Pro vyřešení tohoto problému je třeba provést změření vzdálenosti ke čtvrté družici, z čehož vzejde soustava rovnic

$$\begin{aligned}
 r_1 &= \sqrt{(X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2 + (Z - z_1)^2} - c \cdot \Delta t, \\
 r_2 &= \sqrt{(X - x_2)^2 + (Y - y_2)^2 + (Z - z_2)^2} - c \cdot \Delta t, \\
 r_3 &= \sqrt{(X - x_3)^2 + (Y - y_3)^2 + (Z - z_3)^2} - c \cdot \Delta t, \\
 r_4 &= \sqrt{(X - x_4)^2 + (Y - y_4)^2 + (Z - z_4)^2} - c \cdot \Delta t,
 \end{aligned}
 \tag{1.2}$$

kde r_1, r_2, r_3, r_4 – zdánlivé vzdálenosti mezi přijímačem a družicemi,
 X, Y, Z – souřadnice přijímače,
 x_i, y_i, z_i – souřadnice jednotlivých družic,
 Δt – časový posun mezi systémovým časem a hodinami přijímače,
 c – rychlost šíření radiových vln (Rapant, 2002).

Řešením těchto rovnic jsou získány geocentrické souřadnice přijímače, které mohou být převedeny na geografické.

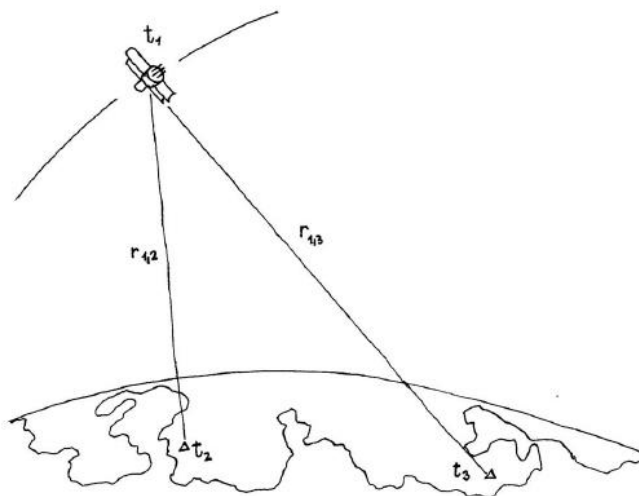
1.4.2 Určení relativní polohy v terénu

Tato metoda může být použita k měření v reálném čase i pro následné zpracování naměřených hodnot. Je opět založena na kódových měřeních, která jsou následně upravována. Je předpokládáno, že z měření polohy předem známého bodu je možno vypočítat chyby,

kterými je měření zatíženo. Za předpokladu, že jsou chyby pro měření v obou případech stejné, je třeba k těmto chybám přihlídnout při zjišťování polohy neznámého bodu a výsledky měření korigovat. Touto metodou je dosaženo výrazně vyšší přesnosti než metodou určení absolutní polohy. Přesto se však přesnost pohybuje v řádu desítek či stovek centimetrů (Rapant, 2002).

1.4.3 Určení polohy pomocí geodetických měření

Pro geodetická měření je požadována přesnost v řádu centimetrů, proto jsou metody určení polohy založené na sledování dálkoměrných kódů nevhodné a musí být použito fázových měření. Princip tohoto způsobu měření je obdobný jako pro určení relativní polohy v terénu pomocí dálkoměrných kódů. Při geodetických měřeních je použito již existujících označených bodů s danou přesnou polohou. Měření probíhá simultánně pomocí dvou přijímačů, kdy se jeden z nich nachází na místě se známou polohou a druhý na místě, jehož polohu je třeba určit. Měření je prováděno vždy v definovaných intervalech a naměřená data jsou uložena a později zpracována. Pro eliminaci vlivu chyby hodin družice jsou určeny difference mezi fázovými měřeními v jednotlivých intervalech (Rapant, 2002).



Obr. 1.9 – Geodetické měření (Rapant, 2002)

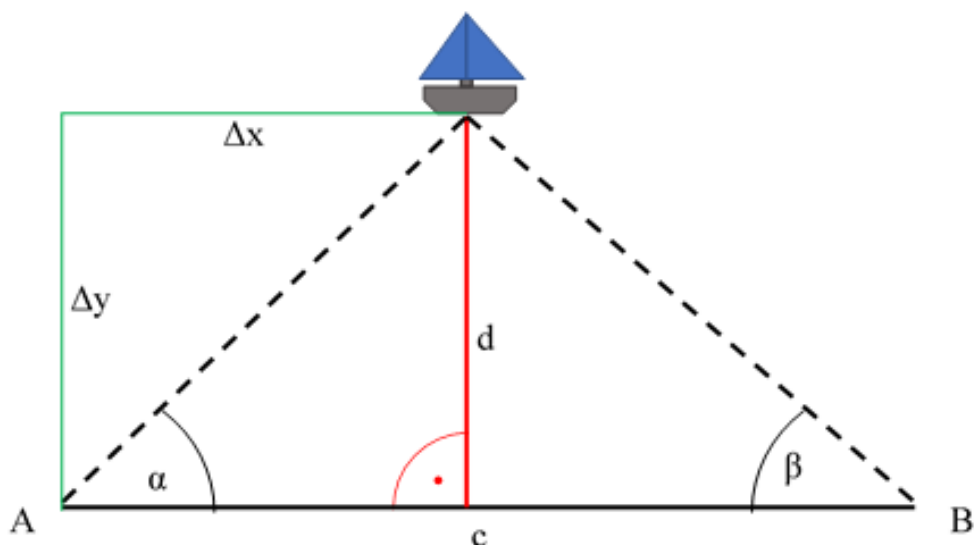
Dále jsou z těchto diferencí dopočítány dvojité difference, kdy jsou do výpočtu zahrnuty informace o fázovém měření vzhledem k druhé družici. Pomocí spočtení dvojitých diferencí je téměř odstraněna chyba hodin družice a je docíleno požadované přesnosti (Rapant, 2002).

1.5 Navigace robota

Pro přesnou navigaci robota v terénu je z důvodu rostoucí chyby nevhodné používat metody obdobné inerciální navigaci či navigaci výpočtem. Pro navigaci robota s požadovanou přesností v řádu centimetrů by bylo možné využít metod odpovídajících přesným geodetickým měřením. Pokud se však bude robot pohybovat pouze v omezeném prostoru, je toto řešení zbytečně nákladné a složité. Pro navigaci robota v omezeném prostoru je možné vytvořit vlastní lokální navigační systém. Pokud je celý prostor možného pohybu robota brán jako souřadný systém, musejí být na přesně daných souřadnicích umístěny moduly, které jsou schopny komunikovat s robotem a měřit potřebné veličiny. Tyto moduly mohou být označovány jako majáky. Počet a umístění majáku závisí na volbě metody pro výpočet polohy robota. Nejčastěji využívanými metodami je triangulace a trilaterace.

1.5.1 Triangulace

Tento proces zjištění polohy neznámého bodu je založen na změření úhlů α a β ze známých bodů A a B, umístěných na počátku a na konci základní linie c . Neznámý bod je poté brán jako třetí vrchol trojúhelníku s jednou známou stranou a dvěma známými úhly, k základně přilehlými. Pokud je zvolen jako referenční bod bod A je možné pomocí získaných údajů dopočítat hodnoty Δx a Δy , a získat tak polohu neznámého bodu (GISGeography, 2021).



Obr. 1.10 – Triangulace

Při výpočtu budou použity goniometrické vzorce

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}, \\ \sin(\alpha + \beta) &= \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta. \end{aligned} \tag{1.3}$$

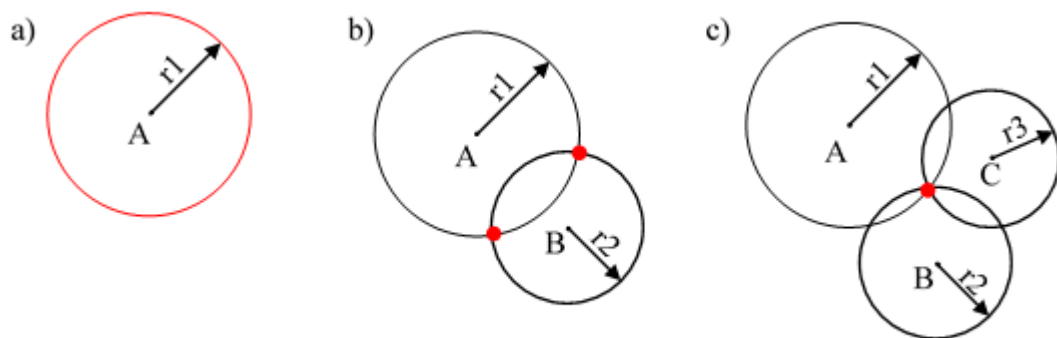
Výsledné hodnoty Δx a Δy spočítám pomocí vzorců

$$\begin{aligned} c &= \frac{d}{\tan \alpha} + \frac{d}{\tan \beta} = d \cdot \left(\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} + \frac{\cos \beta}{\sin \beta} \right) = d \cdot \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta}, \\ d &= \Delta y = c \cdot \frac{\sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}, \\ \Delta x &= \cot g(\alpha) \cdot d. \end{aligned} \tag{1.4}$$

1.5.2 Trilaterace

Trilaterace je na rozdíl od triangulace založena na měření vzdáleností a je využívána v mnoha případech, například při zjišťování polohy pomocí globálního pozičního systému. Nyní bude vysvětlen princip použití trilaterace pro lokální navigační systém (GISGeography, 2021).

Pro lokální navigační systém není třeba využívat jako majáků umělých družic Země. Stačí použít moduly, které jsou schopny změřit svou vzdálenost k robotu v potřebném dosahu. Pokud stačí navigovat robota ve dvourozměrném prostoru, může být osa Z úplně zanedbána. Principem této metody je vytvoření pomyslných kružnic, jejichž poloměr odpovídá změřené vzdálenosti modulu od robota, a z jejich průniku určit polohu robota. Na Obr. 1.11 jsou znázorněny varianty trilaterace s různým počtem měřicích modulů.



Obr. 1.11 – Varianty trilaterace s různým počtem měřicích modulů

V případě použití pouze jednoho měřicího modulu je získána pouze kružnice, na které se musí robot nacházet. Přesnou polohu robota však získat nelze. Z obrázku je patrné, že přesnou polohu nelze získat ani v případě použití dvou měřicích modulů, protože jsou tímto způsobem získány dvě kružnice, které se protínají ve dvou bodech. K získání přesné polohy robota je tedy za potřeby použít tři měřicí moduly s pevně danou a známou polohou. Pokud jsou nakresleny pomyslné kružnice se středem v místě modulu a s poloměrem rovným změřeným vzdálenostem a pokud je uvažován jen dvourozměrný prostor, protínají se tyto tři kružnice jen v jednom bodě, který odpovídá přesné poloze robota. Pokud má bod A souřadnice x_1 a y_1 , bod B souřadnice x_2 a y_2 a bod C souřadnice x_3 a y_3 , může být poloha robota označená souřadnicemi x a y spočtena vyřešením soustavy rovnic

$$\begin{aligned} r_1^2 &= (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2, \\ r_2^2 &= (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2, \\ r_3^2 &= (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \text{ (GISGeography, 2021)}. \end{aligned} \tag{1.5}$$

1.6 Komerčně vyráběné robotické sekačky

Pojmem automatické robotické sekačky jsou nazývány stroje, které dokážou bez lidské pomoci udržovat trávník posekaný.



Obr. 1.12 – Komerčně vyráběná robotická sekačka

Lidský faktor je pro jejich funkci nutný pouze na začátku, kdy je třeba instalovat potřebné komponenty a inicializovat funkci sekačky, a při provozu, kdy se robot může dostat do nepředvídatelných situací. Jinak jsou všechny úkony prováděny autonomně. Mnoho firem

se vývojem a výrobou automatických robotických sekaček zabývá. Proto na trhu najdeme nepřeberné množství robotických sekaček s různými komponenty a parametry, které jim umožňují specializaci na určité požadavky, nebo jim naopak zajistí co největší univerzálnost. Jednotlivé komerčně vyráběné automatické robotické sekačky se navzájem liší ve velkém množství parametrů, ať je to minimální výška sečení, maximální plocha sečení, nebo způsob navigace. Na různost parametrů a funkcí jednotlivých komerčně vyráběných robotických sekaček jsem se zaměřil v následujících kapitolách.

1.6.1 Parametry robotických sekaček

Kromě rozdílných výrobců se dělí robotické sekačky například dle následujících faktorů.

Podle pořizovací ceny můžeme dělit robotické sekačky na levné (do 30 000 Kč), dražší, kde pořizovací cena vychází z poměru cena/výkon (do 100 000 Kč) a profesionální (nad 100 000 Kč) (Vyskočilová, 2021).

Podle plochy, kterou jsou robotické sekačky schopny obhospodařit na jedno nabití, je lze dělit na robotické sekačky s plochou do 750 m², robotické sekačky s plochou od 750 m² do 1 100 m² a robotické sekačky s plochou nad 1 100 m². Posečená plocha na jedno nabití závisí nejen na velikosti akumulátoru, ale i na členitosti terénu a výšce sečené trávy, proto se skutečná hodnota tohoto parametru může lišit (Vyskočilová, 2021).



Obr. 1.13 – Robotická sekačka v nabíjecí stanici

Dále se od sebe jednotlivé robotické sekačky liší různými funkčními parametry. Tyto parametry a rozsah jejich hodnot jsem zaznamenal do Tab. 1.1. Hodnoty uvedené v tabulce jsou typické pro standardně vyráběné všestranné robotické sekačky. Hodnoty specializovaných robotických sekaček jsem neuvažoval.

Tab. 1.1 – Parametry komerčně vyráběných robotických sekaček (Vyskočilová, 2021)

Název parametru	Maximální hodnota udávaná výrobcí	Minimální hodnota udávaná výrobcí
Minimální výška sečení, mm	25	20
Maximální výška sečení, mm	60	50
Maximální sklon uvnitř sečené plochy, %	45	30
Maximální sklon poblíž hranice, %	25	10
Šířka záběru, cm	25	16
Maximální počet sečených zón	4	2
Doba nabíjení, min	180	45
Doba provozu, min	270	50
Hlučnost, dB	63	58
Hmotnost, kg	14	7
Rychlost, m/s	0,6	0,2
Délka, cm	72	53
Šířka, cm	56	38
Výška, cm	31	23

1.6.2 Možné přídatné funkce

Některé komerčně vyráběné robotické sekačky mohou disponovat následujícími funkcemi: Bluetooth, mobilní aplikace, displej, senzor nárazu, senzor náklonu, dešťový senzor, senzor zdvižení, alarm, PIN kód, GPS modul (Vyskočilová, 2021).

Pro ovládání a nastavení disponuje většina robotických sekaček displejem s tlačítky. Některé jsou navíc vybaveny Bluetooth a je k nim poskytována mobilní aplikace. Uživatel si tak může nastavit volitelné parametry buď pomocí aplikace z mobilu, nebo prostřednictvím tlačítek a displeje. Nabídky volitelných parametrů se liší podle výrobce a typu sekačky. Častým parametrem bývá například týdenní program sečení (Vyskočilová, 2021).



Obr. 1.14 – Ovládací prvky robotické sekačky

Senzory, kterými jsou robotické sekačky vybaveny, jsou určeny k detekci nebezpečných stavů. Získané informace ze senzorů jsou potřebné ke správné reakci řídicího systému na různé situace.

PIN kód, alarm a GPS modul zajišťují zabezpečení sekačky. Pro možnost nastavit a ovládat sekačku je požadována znalost PIN kódu, který musí uživatel zadat pro přístup do aplikace či pro možnost ovládání pomocí displeje. Alarm se rozezní, pokud nebyl zadán správně PIN kód, nebo pokud byla sekačka odcizena. Odcizení jsou některé sekačky schopny detekovat díky GPS modulu. Uživatel si může nastavit oblast, kde se sekačka bude běžně vyskytovat a pokud sekačka z této oblasti vyjede, nebo je odnesena, rozezní se alarm a uživatel může pomocí aplikace svou sekačku lokalizovat (Vyskočilová, 2021).

Někteří výrobci používají GPS modul k řízení pohybu robotické sekačky, kdy řídicí algoritmus využívá data z GPS modulu pro určení optimální trasy. Samotný modul však k přesnému navádění použít nelze, protože komerčně nabízené GPS moduly pro veřejnost mají udávanou přesnost v řádech metrů, což je pro přesnou navigaci nedostačující (Vyskočilová, 2021).

1.7 Navigace robotických sekaček

Cílem navigace komerčně vyráběných automatických robotických sekaček je vymezení území, kde se mají pohybovat, a naplánování trasy sečení. U různých modelů a u různých výrobců jsou způsoby navigace odlišné.

1.7.1 Vymezení hranic plochy sečení

Většina vyráběných robotických sekaček využívá k vymezení území pohybu vodič, který je natažen na hranici určeného území. Napájením tohoto vodiče vzniká magnetické pole, které je robot schopen detekovat. Tento hraniční vodič musí být buď přichycen k zemi, nebo vést těsně pod zemí a nesmí být nikde přerušen. Bývá napájen prostřednictvím dokovací stanice, proto je k ní jeho počátek i konec připojen (Vyskočilová, 2021).



Obr. 1.15 – Instalace obvodového vodiče

Na trhu však lze najít i robotické sekačky, které pro svou funkci obvodový vodič nepotřebují. Tyto modely mohou být vybaveny například senzorem detekujícím překážku v cestě, speciálním senzorem pro určení přítomnosti trávy, nebo diferenciálním GPS senzorem. Pro správnou funkci robotických sekaček vybavených senzorem detekujícím překážku v cestě, musejí být na hranici sečené plochy rozestaveny překážky, které může robot detekovat. Obvodový vodič je tak nahrazen souvislou řadou překážek, což může být v některých případech těžko realizovatelné (Vyskočilová, 2021).

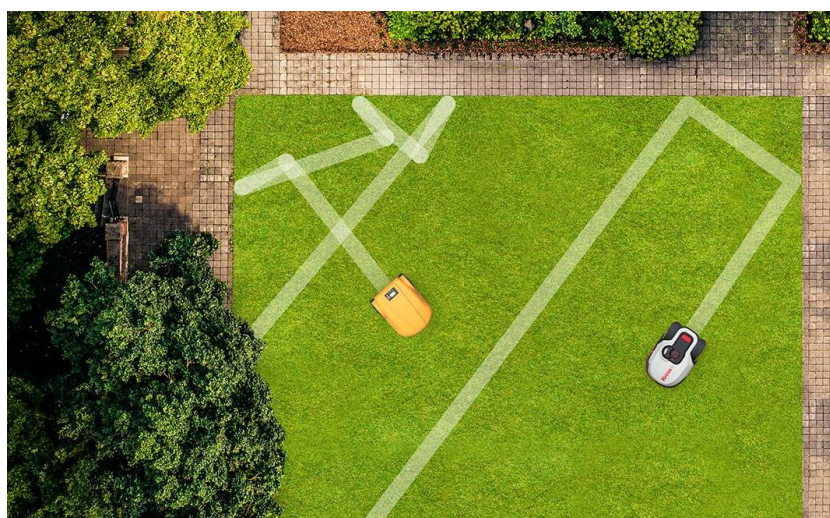
Lepším řešením je použití sekačky disponující ZGS (Zucchetti Grass Sensor) senzorem pro detekci trávy od firmy Zucchetti. Tento senzor detekuje přítomnost trávy a umožňuje tak robotu rozpoznat prázdná místa. Sekačku disponující tímto senzorem je tedy vhodné použít, pokud je sekaná oblast ohraničena plochou bez trávy (Vyskočilová, 2021).

Dalším typem robotických sekaček, které pro svou funkci nevyžadují obvodový vodič, jsou robotické sekačky s diferenciálním GPS senzorem. Díky tomuto senzoru jsou sekačky schopné přesně určit svou pozici, a uživatel tak musí pouze nastavit hranice sekané oblasti, ve které se má sekačka vyskytovat (Vyskočilová, 2021).

1.7.2 Naplánování trasy sečení

Ve vymezeném prostoru se komerčně vyráběné robotické sekačky pohybují buď plně nahodile, zdánlivě nahodile nebo cíleně. Princip plně nahodilého pohybu je následující: robot, nacházející se v jakémkoli místě v sečené oblasti, se rozjede kupředu a nemění směr ani rychlost, dokud nedetekuje překážku či hranici sečené oblasti. V tu chvíli se robot zastaví, otočí se o náhodný úhel a pokračuje v jízdě kupředu, dokud nenarazí na další překážku či dokud nedojede na hranici. Tento algoritmus se opakuje po celou dobu sekání, jejíž délka a četnost během týdne byla určena uživatelem (Vyskočilová, 2021).

O něco sofistikovanější je algoritmus zdánlivě nahodilého sečení, kdy se sekačka opět pohybuje pouze kupředu, dokud nenarazí na překážku či na hranici sekané oblasti, kde se otočí o určitý úhel a pokračuje v přímočarém pohybu. Tentokrát je však velikost úhlu natočení spočtena řídicím algoritmem, který se snaží pomocí odometrie či GPS zjistit přibližnou polohu robota a přibližný tvar sekané oblasti. Kvalita řídicího algoritmu závisí na složitosti sekaného terénu, tvaru sekané oblasti, a hlavně na daném řídicím algoritmu, který daná firma vyvinula (Vyskočilová, 2021).



Obr. 1.16 – Různé řídicí algoritmy robotických sekaček (Kress-mission, nedatováno)

Dražším a nejlepším řešením je použití diferenciální GPS či obdobných metod pro zjištění přesné pozice robota v terénu, díky čemuž může být jeho pohyb cílený. Řídicí algoritmus může ze znalosti tvaru sečené oblasti naplánovat optimální trasu a může spolehlivě řídit robota při jejím projetí. Tento způsob je však ojedinělý, protože pořizovací cena těchto přesných pozičních sensorů je příliš vysoká, a tudíž i výsledná cena robotických sekaček narůstá. (Vyskočilová, 2021)

Osobně si však myslím, že se vývoj komerčně vyráběných robotických sekaček tímto posledním směrem bude ubírat, protože se senzory pro určení polohy pomocí diferenciální GPS a obdobných způsobů neustále zdokonalují a zlevňují.

2 REALIZACE MODELU MOBILNÍHO ROBOTY

2.1 Funkce a parametry vybrané pro testovací model

Pro testovací model automatické robotické sekačky jsem zvolil takové parametry, aby se svými funkčními parametry mohl řadit mezi komerčně vyráběné robotické sekačky. Testovací model by tedy měl disponovat výškově nastavitelným žacím ústrojím, kde maximální a minimální výška sečení bude v rozmezí daném tabulkou. Měl by být schopen jízdy v terénu, který maximálním sklonem plochy nepřesahuje 30 až 45 %. Šířka záběru s jedním žacím kotoučem bude v rozmezí 16 až 25 centimetrů, robot bude schopen obhospodařovat alespoň 2 zóny určené k sečení. Doba nabíjení akumulátorů by neměla přesáhnout 180 minut, a stejně tak doba sekání by neměla být kratší než 50 minut. Hlučnost modelu při sekání může být nejvýše 63 dB a jeho váha nejvýše 14 kg. Rychlost modelu bude mezi 0,2 a 0,6 m/s. Rozměrově by měl model odpovídat komerčně vyráběným robotickým sekačkám.

Z funkcí, kterými disponují komerčně vyráběné robotické sekačky, jsem pro testovací model vybral následující: senzor nárazu, senzor náklonu, senzor zdvižení, alarm a dešťový senzor.

Senzorem nárazu bude model disponovat pro zajištění bezpečnosti samotné sekačky i jejího okolí. Senzor náklonu i senzor zdvižení bude sloužit primárně k ochraně uživatele. Pokud bude sekačka uvedena do nestandardní polohy (například bude převrácena a bude ležet žacím ústrojím směrem vzhůru), bude třeba zastavit celkový pohyb sekačky (zastavení pohonu kol i pohonu žacího ústrojí), aby bylo zabráněno možnému poranění uživatele žacím ústrojím. Po navrácení do standardní polohy bude moci model pokračovat v sečení. Alarm může být použit pro signalizaci nežádoucích stavů. Může signalizovat převrácení robotické sekačky nebo její vyjetí/vynesení ze sekací zóny. Déšť robotické sekačce v práci nijak nevádí, podmáčená půda však snižuje průchodnost sekačky terénem. Proto bude model sekačky vybaven i dešťovým senzorem. Jako zbytečný jsem pro vybavení testovacího modelu robotické sekačky shledal GPS senzor, který není pro navigaci potřebný, protože k tomuto účelu bude využita trilaterace, a protože se jedná pouze o model, který budu testovat na své zahradě, není třeba se bát krádeže, neboť ho budu mít neustále pod dohledem.

2.2 Součástky vybrané pro testovací model

2.2.1 Senzor nárazu

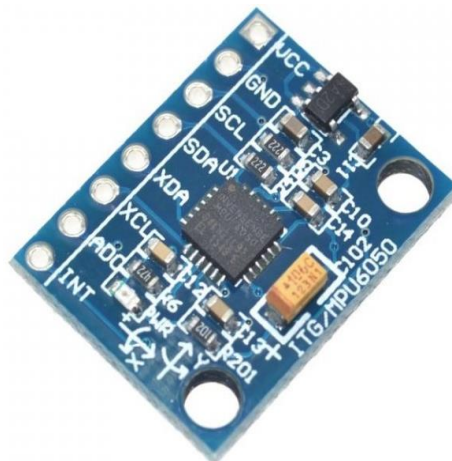
Jako senzor nárazu budu používat nárazník, umístěný na přední straně modelu, který při kontaktu s překážkou sepne koncový spínač. Tento spínač disponuje třemi vývody: OUT, GND a VCC. Piny GND a VCC jsou standardně připojeny k napájení, na pinu OUT je indikována logická 1 při sepnutém spínači a logická 0 pro indikaci rozepnutého stavu spínače. Velikost napětí na pinu OUT pro úroveň logické 1 odpovídá velikosti napětí přivedeného na pin VCC.



Obr. 2.1 – Koncový spínač (Laskarduino, nedatováno)

2.2.2 Senzor náklonu

Pro detekci převrácení robota použiji tříosý gyroskop a akcelerometr s označením MPU-6050. Pro detekci převrácení by mi stačil pouze tříosý gyroskop, ale komerčně vyráběné moduly obsahují převážně gyroskop i akcelerometr. Abych mohl detekovat převrácení robota, musím periodicky měřit úhel natočení ve všech osách a pokud naměřím hodnoty, které neodpovídají hodnotám provozním, musím na ně korektně zareagovat. Rozsah hodnot měřených pomocí modulu je volitelný.

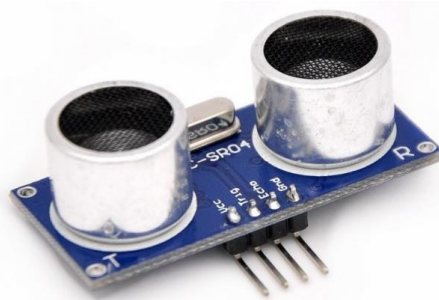


Obr. 2.2 – Modul MPU-6050 (Laskarduino, nedatováno)

Modul je osazen 8 piny: VCC, GND, SCL, SDA, XDA, XCL, ADO a INT. Piny VCC a GND slouží pro připojení napájení a země. Modul může být napájen napětím v rozsahu 3 až 5 V. Modul může komunikovat prostřednictvím I2C nebo SPI rozhraní, k čemuž slouží ostatní piny umístěné na modulu (Laskarduino, nedatováno).

2.2.3 Senzor zdvižení

Kromě možného převrácení modelu musím být schopen detekovat i jeho zdvižení. Jako senzor zdvižení budu používat ultrazvukový senzor, který bude nasměrován k zemi a bude měřit vzdálenost robota od země. Pokud tato vzdálenost přesáhne povolenou mez, bude robot považován za zvednutý a bude třeba na tuto situaci korektně zareagovat. Vybral jsem ultrazvukový senzor s označením HC-SR04.



Obr. 2.3 – Modul HC-SR 04 (Laskarduino, nedatováno)

Rozsah měření vzdálenosti tohoto senzoru je 2 až 400 centimetrů, s přesností až 3 milimetry. což je pro mé požadavky dostačující. Modul senzoru je osazen čtyřmi piny: VCC, GND, Trig a Echo. Piny VCC a GND slouží pro připojení napájení senzoru. Napájecí napětí modulu je 5 V. Piny Trig a Echo slouží pro měření vzdálenosti. Přivedením logické 1 na pin Trig je zahájeno vysílání ultrazvukového signálu. Na pinu Echo je indukována logická 1 pouze v případě, že je senzorem přijat odražený ultrazvukový signál.

2.2.4 Dešťový senzor

Mnou použitý senzor slouží k detekci padajících dešťových kapek nebo sněhových vloček. Modul má 4 vývody: VCC, GND, DO a AO. Modul je prostřednictvím pinu VCC napájen napětím v rozmezí 3,3 až 5 V. Modul má analogový i digitální výstup. Analogový výstup AO generuje různou velikost napětí v závislosti na množství vody přítomné na detekční

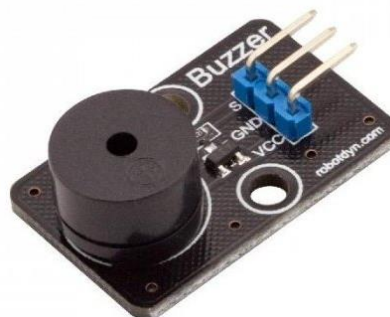
ploše senzoru. V případě použití digitálního výstupu DO znamená logická 1 déšť či sněžení. Pro nastavení citlivosti digitálního výstupu lze použít komparátor umístěný na DPS modulu.



Obr. 2.4 – Senzor pro detekci deště (Laskarduino, nedatováno)

2.2.5 Alarm

Pro zvukovou signalizaci nežádoucích stavů modelu použijí modul s piezoelektrickým reproduktorem. Modul disponuje třemi vývody označenými: VCC, GND a S. Modul je prostřednictvím pinu VCC napájen 5 V. Na pin S je přiváděn řídicí signál modulu, který reproduktor rozeznívá.

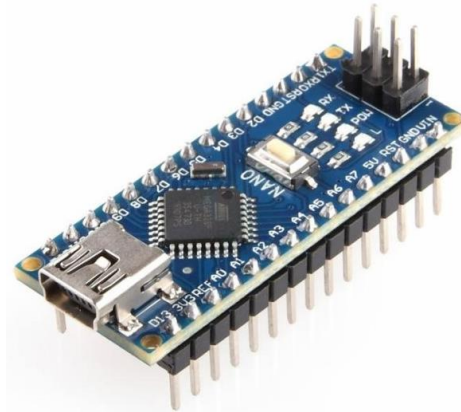


Obr. 2.5 – Piezoelektrický reproduktor (Laskarduino, nedatováno)

2.2.6 Arduino nano R3 klon

Pro ovládání a komunikaci se senzoricou částí robota využijí precizní klon vývojové desky Arduino Nano R3. Tato deska je založena na mikrokontroleru ATmega 328P, který disponuje frekvencí CPU o velikosti až 20 MHz, Flash paměť o velikosti 32 KB, EEPROM paměť o velikosti 1 KB a SRAM paměť o velikosti 2 KB. Dále disponuje čtrnácti digitálními

vstupně-výstupními piny, šestikanálovým desetibitovým analogovo-digitálním komparátorem, dvěma osmibitovými a jedním šestnáctibitovým časovačem a také programovatelným Watchdog časovačem. Mikroprocesor může s připojenými senzory komunikovat prostřednictvím USART, SPI a I2C rozhraní. Obsahuje též analogový komparátor a obvod reálného času. Může pracovat v různých režimech nízké spotřeby. Napájení musí být v rozmezí 1,8 až 5,5 V (Laskarduino, nedatováno).

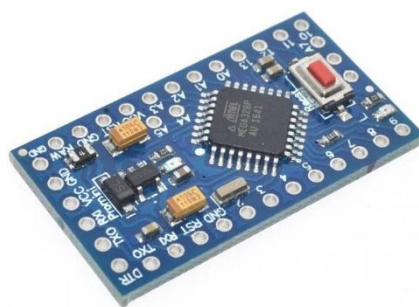


Obr. 2.6 – Vývojová deska Arduino nano R3 klon (Laskarduino, nedatováno)

Celá vývojová deska je pak napájena 3,3 nebo 5 V, je na ní umístěn ISP konektor a mini USB konektor pro možnost připojení k počítači a jednoduchému nahrání připraveného programu. Pro možnost použití mini USB konektoru je na desce též převodník. Dále na desce najdeme tlačítko pro reset, 16 MHz externí krystal pro určení rychlosti CPU a čtyři LED diody. První dioda signalizuje stav napájení desky, další dvě, označené Rx a Tx, signalizují přijímání a odesílání dat, a poslední LED diodu je možno ovládat programově (Laskarduino, nedatováno).

2.2.7 Arduino Pro Mini klon

Pro komunikaci se senzorem zajišťujícím zjišťování polohy robota v prostoru použijí precizní klon vývojové desky Arduino Pro Mini. Jedná se o jednu z nejmenších vývojových desek, vyráběných firmou Arduino. Pro možnost přímé komunikace s modulem DWM1000 budu používat verzi vývojové desky s 3,3 voltovou logikou, která je založena na mikropočítači ATmega328P.



Obr. 2.7 – Vývojová deska Arduino Pro Mini klon (Laskarduino, nedatováno)

Tento mikrokontroler obsahuje CPU s frekvencí 8 MHz, paměti FLASH o velikosti 32 KB, EEPROM o velikosti 1 KB a SRAM o velikosti 2 KB. Mikro počítač obsahuje 14 digitálních vstupně-výstupních pinů, jeden osmikanálový desetibitový analogovo-digitální komparátor, šest PWM pinů, dva osmibitové a jeden šestnáctibitový časovač, programovatelný Watchdog časovač, analogový komparátor a obvod reálného času. Mikro počítač může s připojenými periferiemi komunikovat prostřednictvím USART, SPI a I2C sběrnic. Vstupní napětí vývojové desky, přivedené na pin RAW, může být 5 – 12 V, napětí přivedené na pin VCC musí být rovno 3,3 V. Dále deska obsahuje externí 8 MHz krystal a dvě integrované diody, z nichž jedna signalizuje přítomnost napájecího napětí a druhá je ovládána programově (Laskarduino, nedatováno).

2.2.8 Motor pohánějící kola robota

Pro pohon kol robota budu používat motory s označením NEMA 17 17HS4401 0,4 Nm. Jedná se o bipolární dvoufázový krokový motor. Jak vyplývá z názvu, disponuje tento motor přídržným momentem o velikosti 0,4 Nm. Motor nabízí přesnost 200 kroků na otáčku, přičemž velikost jednoho kroku je $1,8^\circ$ s nízkou tolerancí ($\pm 0,1^\circ$). Maximální proud motorem je 1,5 A. S vyššími otáčkami však přídržný moment klesá (Laskarduino, nedatováno).

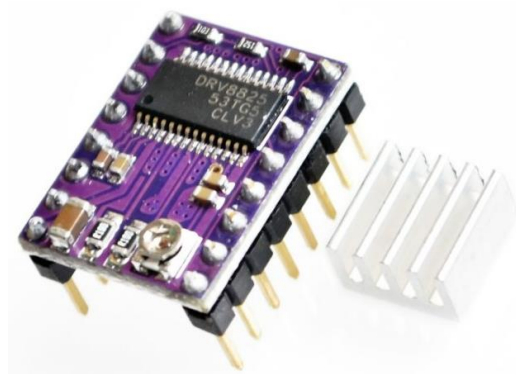


Obr. 2.8 – Krokový motor NEMA 17 (Laskarduino, nedatováno)

Plánovaná rychlost modelu má být mezi 0,2 a 0,6 m/s, přičemž průměr kol modelu je 11 cm. Na jedno otočení kol tedy model ujede asi 35 cm, stačí mi tedy, pokud se bude motor otáčet rychlostí 1 ot/s, což se rovná 60 ot/min. Při této nízké rychlosti bude mít model téměř maximální moment. Nevýhodou je však možné nebezpečí trhaného chodu motoru, způsobeného nízkými otáčkami. Proto budu ve své aplikaci využívat i mikrokrokování, díky kterému se celý chod motoru i robota zjemní bez ztráty přídržného momentu.

2.2.9 Driver ovládající motory kol

Pro řízení krokového motoru pohánějícího kola robota použiji driver s označením DRV8825. Tento driver je určen pro řízení jednoho bipolárního krokového motoru. Napájecí napětí driveru může dosahovat 45 V. Maximální výstupní proud je 2,2 A s aktivním chlazením. Proudový výstup je však možné pomocí potenciometru omezit. Driver disponuje proudovou i tepelnou ochranou a ochranou proti zkratu. Driver nabízí možnost výběru šesti různých rozlišení kroků: celý krok, 1/2 krok, 1/4 krok, 1/8 krok, 1/16 krok a 1/32 krok. Driver také obsahuje integrovaný regulátor, tudíž může přímo komunikovat se systémy používajícími 3,3 a 5 V logiku (Laskarduino, nedatováno).



Obr. 2.9 – Driver krokových motorů DRV8825 (Laskarduino, nedatováno)

Driver disponuje 16 piny: EN, M0, M1, M2, RST, SLP, STP, DIR, VMOT, GND, 2B, 1B, 1A, 2A, FLT a GND. Pin EN slouží z vypnutí či zapnutí celého driveru. Driver je zapnut, pokud je na pinu EN logická 0. Pokud tedy nemám v úmyslu během práce modelu vypínat driver, mohu nechat tento pin nezapojen. Piny M0, M1 a M2 slouží pro nastavení rozlišení kroku. Možné kombinace nastavení jsou uvedeny v Tab. 2.1 (Texas Instruments, 2014).

Tab. 2.1 – Kombinace pro nastavení rozlišení kroku (Texas Instruments, 2014)

M0	M1	M1	Rozlišení
0	0	0	Celý krok
1	0	0	1/2 krok
0	1	0	1/4 krok
1	1	0	1/8 krok
0	0	1	1/16 krok
1	0	1	1/32 krok
0	1	1	1/32 krok
1	1	1	1/32 krok

Pokud je na pinu RST přivedena logická 0, nachází se driver v režimu Reset, po přivedení logické 1 je nastavena základní poloha motoru a funkce driveru je obnovena. Obdobně funguje pin SLP. Pokud je na pin přivedena logická 0, nachází se driver v režimu Sleep, po přivedení logické 1 je funkce driveru obnovena. V mé aplikaci bude na oba piny SLP i RST trvale přivedena logická 1. Piny DIR a STP slouží přímo k ovládání motoru. Na pin STP jsou prostřednictvím mikrokontroleru přiváděny pulsy a každý puls iniciuje posun motoru o jeden krok. Směr posunu závisí na logické úrovni signálu přivedeného na pin DIR. Na piny VMOT a GND, umístěné hned vedle sebe, má být přivedeno napětí a zem pro motor. Samotný motor je připojen čtyřmi vodiči k pinům 1A, 2A, 1B a 2B. Dále se na driveru nachází jen pin FLT, který slouží pro indikaci chyb a pin GND, na který má být připojen zemní vodič pro mikrokontroler (Texas Instruments, 2014).

2.2.10 Motor žacího systému

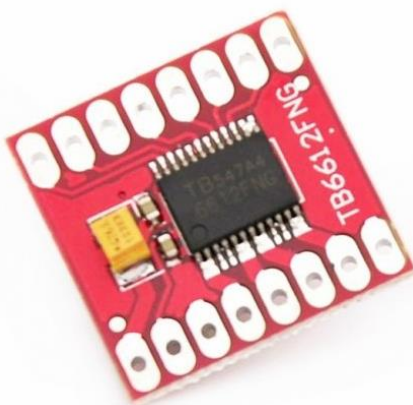
Jako pohon žacího systému jsem vybral motor s označením JGA25-370 12 V 1360 RPM. Jedná se o stejnosměrný kartáčový motor, který je osazen převodovkou a může tak dosáhnout rychlosti 1360 otáček za minutu. Napájecí napětí motoru je až 12 V, proud motorem při volnoběhu je 60 mA, maximální proud motorem je 1,2 A. Točivý moment motoru je 0,98 Ncm. Tento motor se vyznačuje nízkou hlučností, tudíž je vhodné jej použít (Laskarduino, nedatováno).



Obr. 2.10 – DC motor JGA25-370 (Laskarduino, nedatováno)

2.2.11 Driver motoru žacího systému

Pro řízení motoru pohánějícího žací ústrojí budu používat driver s označením TB6612FNG. Jedná se o H-můstkový motorový kontrolér. Tento driver dokáže nezávisle ovládat buď dva obousměrné stejnosměrné motory, nebo jeden krokový bipolární motor. Maximální napětí motoru je 15 V, proud motoru je 1,2 A a 3,2 A špičkový proud. Logické napájecí napětí je 2,7 až 5,5 V. Modul disponuje integrovanou tepelnou pojistkou a pohotovostním režimem (Laskarduino, nedatováno).



Obr. 2.11 – Driver DC motoru TB6612FNG (Laskarduino, nedatováno)

Na driveru je 16 pinů: UM, VCC, GND1, A1, A2, B2, B1, GND2, PWMA, AIN1, AIN2, STBY, BIN1, BIN2, PWMB, GND3. Piny UM a VCC slouží pro připojení přívodního napájení. UM pro motorové napájecí napětí a VCC pro logické. Pin GND1 slouží pro připojení zemnicího vodiče určeného pro motor. Pokud je na pin STBY přivedena logická 1, nachází se celý driver v pohotovostním režimu, pokud je však na pin přivedena logická 0, je funkce driveru přerušena a celý driver je uveden do klidového režimu. Piny označené jako A1 a A2 slouží pro připojení motoru A a stejně tak piny B1 a B2 pro připojení motoru B. Pin GND 2 slouží pro připojení zemnicího vodiče mikrokontroleru. Pomocí pinu PWMA budu regulovat velikost otáček motoru A. Piny AIN1 a AIN2 slouží pro volbu provozního režimu driveru. Obdobná je funkce pinů PWMB, BIN1 a BIN2. Driver může ovládat motory ve 4 režimech:

- otáčení ve směru hodinových ručiček,
- otáčení proti směru hodinových ručiček,
- krátká brzda,
- stop (Toshiba, 2014).

Nastavení vybraného režimu provedu přivedením různých logických úrovní na vstupní piny 1 (AIN1, BIN1) a vstupní piny 2 (AIN2, BIN2). V Tab. 2.2 je znázorněn způsob výběru různých režimů.

Tab. 2.2 – Režimy driveru DC motoru (Toshiba, 2014)

Vstupní piny 1	Vstupní piny 2	Režim
1	1	Krátká brzda
0	0	Stop
1	0	Otáčení ve směru hodinových ručiček
0	1	Otáčení proti směru hodinových ručiček

V mé aplikaci budu tímto driverem ovládat jeden DC motor, který bude pohánět žací ústrojí. Při sekání se bude motor neustále otáčet jedním směrem konstantní rychlostí, tudíž nebudu plně využívat potenciál tohoto driveru. Tento driver jsem si však vybral z důvodu přítomnosti režimu Krátká brzda. Pokud bude model například převrácen, bude při nedostatečně rychlém zastavení žacího ústrojí hrozit poranění uživatele. Proto budu pro nouzové zastavení motoru používat režim Krátká brzda, díky kterému bude motor uveden do klidu ve velmi krátkém čase. Jinak mohu pro zastavení motoru používat režim Stop, kdy se motor může působením setrvačných sil ještě chvíli otáčet.

2.2.12 Akumulátor

Pro napájení modelu robota budu používat čtyři Li-ion akumulátory označené ARB-L18-3500U od firmy Fenix. Nominální napětí těchto článků je 3,6 V. Při provozní teplotě 25 °C je jejich typická kapacita 3450 mAh. Velikostně odpovídají bateriím označeným 18650 a váží 50 g. Tyto akumulátory disponují integrovanými ochrannými obvody proti přebití, zkratu i přílišnému vybití. Maximální proudový odběr akumulátoru je 7 A (Fenix, nedatováno).



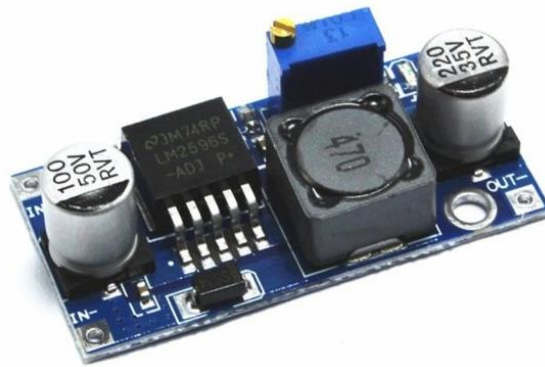
Obr. 2.12 – Li-ion akumulátor (Fenix, nedatováno)

Nabíjet lze tyto články pomocí nabíječky pro Li-ion akumulátory nebo pomocí vestavěného konektoru. Udávaná životnost je minimálně 500 cyklů nabíjení. Maximální nabíjecí proud je 2 A, nabíjecí proud vestavěného konektoru je 0,8 A. Výrobce udává dobu nabíjení je při nabíjecím proudu 1475 mA a nabíjecím napětí 4,2 V rovna 270 min. V mé aplikaci budu používat 4 akumulátory umístěné v bateriovém boxu a zapojené do série. Výsledné napětí bude tedy rovno 14,4 V a výsledná kapacita bude 3450 mAh (Fenix, nedatováno).

2.2.13 Step-down měnič 5 V

Neupravené napětí, dodávané do zapojení prostřednictvím bateriového boxu, ve kterém jsou zapojeny baterie do série, je vhodné použít jako motorové napětí pohánějící motory kol a

motor žacího ústrojí. Pro napájení vývojových desek a senzorů je toto napětí nevhodné, protože napájecí napětí těchto součástek je rovno 5 V. Proto budu dodávané napětí upravovat pomocí step-down měniče.



Obr. 2.13 – Step-down měnič s LM2596 (Laskarduino, nedatováno)

Mnou použitý měnič řídí integrovaný obvod s označením LM2596, jedná se o DC/DC měnič, kde velikost vstupního napětí musí být v rozmezí 4,5 až 35 V a stavitelná velikost výstupního napětí je v rozmezí 3 až 33 V. Velikost výstupního napětí lze plynule nastavit pomocí víceotáčkového trimru. Velikost vrcholového výstupního proudu je 2 A, maximální velikost výstupního proudu jsou 3 A. Tento step-down měnič se vyznačuje vysokou účinností, která dosahuje až 92 %. Je jí dosaženo právě díky použitému řídicímu obvodu (Laskarduino, nedatováno).

2.2.14 Step-down měnič 3,3 V

V zapojení však budu používat obvody, vyžadující napájecí napětí rovné 3,3 V. Proto do zapojení přidám step-down měnič, jehož výstupní napětí je rovno 3,3 V. Vstupní napětí musí být v rozmezí 5,3 až 26 V, maximální výstupní proud je 1,8 A bez chlazení a až 3 A s chlazením. Účinnost tohoto měniče je do 96 % a maximální zvlnění výstupního napětí je 30 mV (Laskarduino, nedatováno).



Obr. 2.14 – SMD step-down měnič (Laskarduino, nedatováno)

2.2.15 Modul pro měření vzdáleností

Nejdůležitější součástí celé navigační jednotky bude senzor pro měření vzdálenosti robota a majáků. Pro měření vzdálenosti budu používat modul s označením DWM1000. Tento modul je založen na integrovaném čipu s označením DW1000 od firmy Decawave. Modul může být použit jako přijímač i vysílač radiového signálu. Čip využívá technologii UWB, která umožňuje širokopásmovou komunikaci krátkého dosahu při nízké úrovni energie. Modul obsahuje integrovanou anténu, obvody pro RF komunikaci, řízení napájení a hodinové obvody. Modul lze použít pro měření vzdálenosti mezi body metodou označovanou jako Two way ranging, která je založena na znalosti doby šíření signálu, nebo metodou Time difference of arrival, která je založena na základě změření rozdílu času, za který bude vyslaný signál přijat stanicemi. Přesnost určení polohy je do 10 cm. Modul podporuje datové přenosy rychlostí až 6,8 Mb/s (Decawave, 2016).



Obr. 2.15 – Modul DWM1000 (Decawave, nedatováno)

Modul disponuje 24 piny. Tři piny slouží pro připojení externího napájení, pět pinů je pro připojení zemnicího vodiče. Čtyři piny slouží pro komunikaci s řídicími moduly

prostřednictvím SPI rozhraní. Pokud je na pin WAKEUP přivedena vysoká úroveň, je čip přiveden z režimu SLEEP do aktivního módu. Pin EXTON slouží pro externí sepnutí či vypnutí doplňujících obvodů zařízení. Může být použit pro minimalizaci spotřeby v případě nepoužívání modulu. Pin IRG/GPIO8 slouží pro výstup požadavku na přerušení do hostitelského procesoru, nebo jako vstupně-výstupní pin. GPIO7 slouží jako univerzální vstupně-výstupní pin. Při zapnutí má pin GPIO6/SPIPHA funkci výběru konfigurace provozního režimu SPI, poté je používán jako univerzální vstupně-výstupní pin. Stejně tak pin GPIO5/SPIPOL má při zapnutí funkci výběru konfigurace provozního režimu SPI a po zapnutí je dále používán jako univerzální vstupně-výstupní pin. GPIO4 je používán pouze jako univerzální vstupně-výstupní pin. GPIO3/TXLED slouží jako univerzální vstupně-výstupní pin, může být však nakonfigurován jako pin ovládající LED indikující konec vysílání. Pin GPIO2/RXLED může sloužit jako univerzální vstupně-výstupní pin, může být však nakonfigurován jako pin, který ovládá LED indikující přijímací mód. Pin GPIO1/SFDLED může být též použit jako univerzální vstupně-výstupní pin, může být také nakonfigurován, aby řídil LED indikující přijetí počátečního oddělovače rámců. GPIO0/RXOKLED může být použit jako univerzální vstupně-výstupní pin, nebo může být nakonfigurován a použit jako pin řídící LED, která indikuje úspěšné přijetí rámce. Pin RSTn slouží pro resetování čipu DW1000. Resetování je provedeno přivedením nízké úrovně na tento pin (Decawave, 2016).

2.3 Arduino komunikace

Z důvodu použití více Arduino vývojových desek v jedné aplikaci je třeba zajistit korektní komunikaci mezi nimi. Toho lze dosáhnout více způsoby. Zvolené způsoby budou v následujících kapitolách popsány.

2.3.1 Arduino I2C komunikace

Téměř všechny vývojové desky Arduino jsou schopné komunikace prostřednictvím I2C sériové sběrnice. K této sběrnici může být připojeno jedno zařízení v režimu Master, a až 127 zařízení v režimu Slave. Každé připojené zařízení má svou adresu, kterou je možné u mnoha modulů libovolně nastavit. Pro připojení vývojových desek ke sběrnici slouží piny označené SCL a SDA, což znamená Synchronous Clock a Synchronous Data. Řídící zařízení ovládá komunikaci na sběrnici a generuje hodinový signál pro všechna připojená zařízení. Změna stavu linky SDA je možná pouze pokud je stav linky SCL nízký (logická nula). Při přenosu jsou jednotlivé datové bity vysílány prostřednictvím linky SDA. Přenos je zahájen START bitem,

poté je vyslána sedmibitová adresa příjemce a jeden bit, který indikuje požadovanou operaci, kterou může být čtení nebo zápis. Dále je vyslán bit, který je určen pro zjištění připravenosti přijímací stanice. Následně probíhá přenos dat směrem určeným předchozím bitem (čtení/zápis). Po ukončení přenosu je vyslán signál STOP (Ježek, nedatováno).

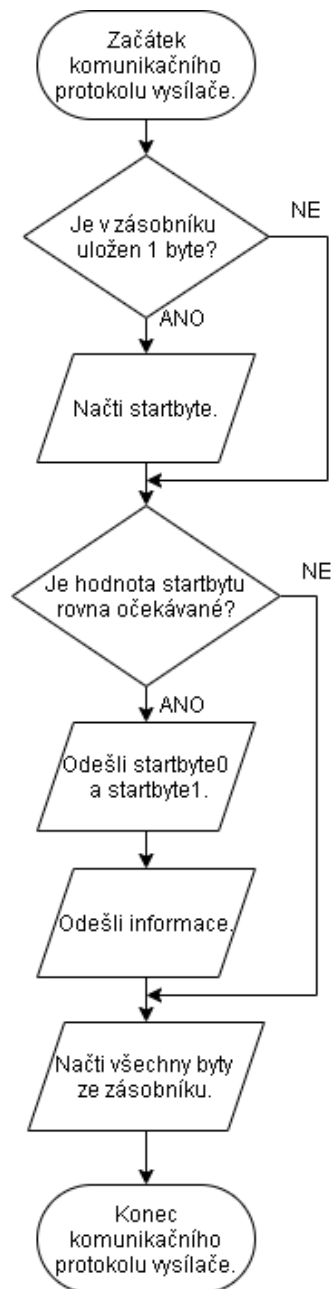
Pro řízení komunikace na sběrnici I2C je použita metoda detekce kolizí, kdy každý z připojených modulů může zahájit vysílání, pokud se nachází sběrnice v klidovém stavu. Pokud je během vysílání na sběrnici zjištěn jiný stav než vyslaný, je detekována kolize a vysílání je ukončeno (Ježek, nedatováno).

2.3.2 Arduino sériová komunikace

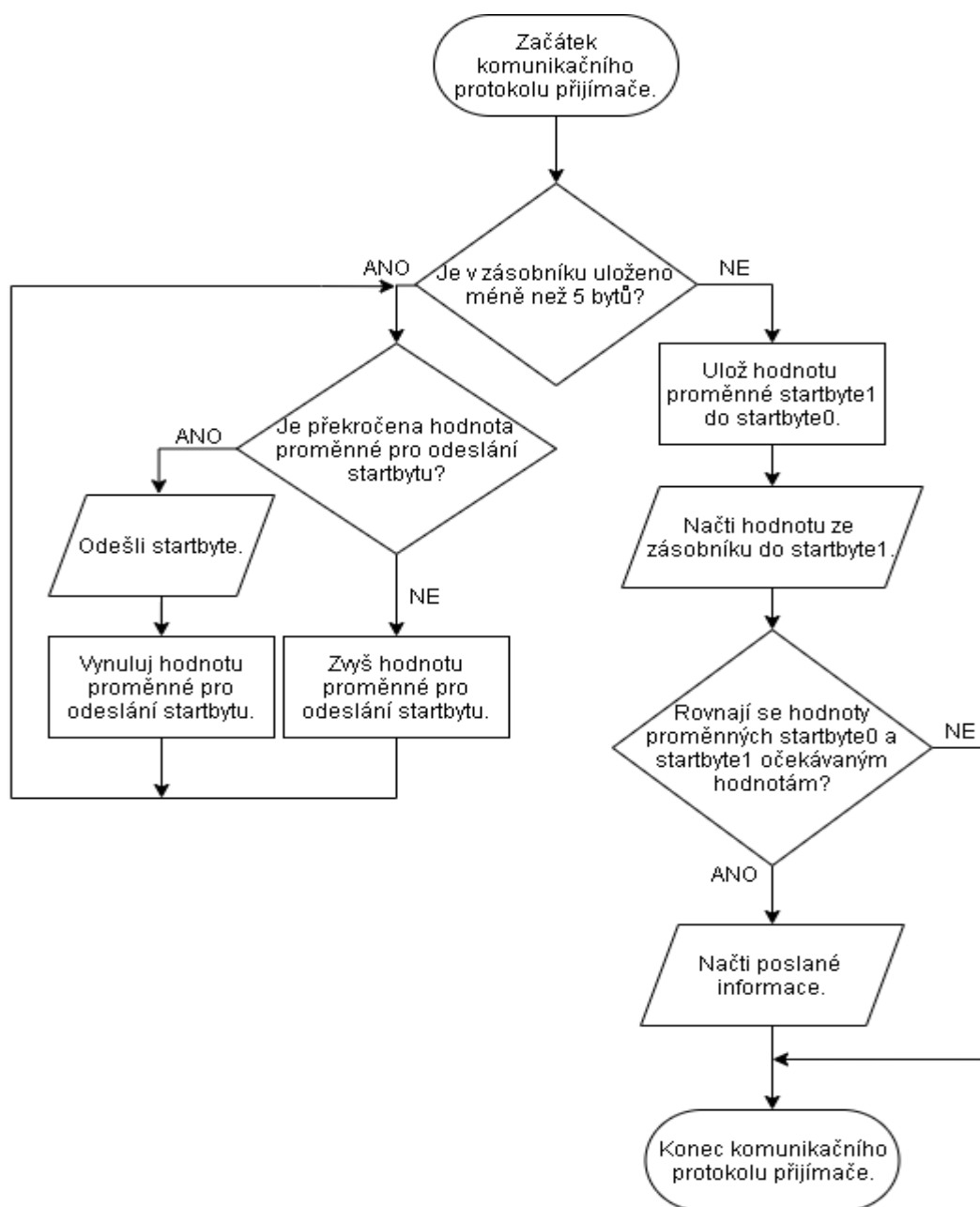
Pro sériovou komunikaci vývojových desek Arduino s dalšími zařízeními lze použít UART, který každá deska obsahuje. UART je univerzální asynchronní přijímač/vysílač, který pomocí dvou pinů, umístěných na vývojové desce a označených nejčastěji RX a TX, odesílá a přijímá data. Komunikace je asynchronní, tedy vysílač i přijímač generuje vlastní hodinový signál, a univerzální – velikost posílaných bytů i rychlost generátoru hodinového signálu je volně nastavitelná. Pro použití UART existuje knihovna Serial, která je standardní součástí vývojového prostředí Arduina (Uart, nedatováno).

Při odeslání textu pomocí UART jsou informace posílány jako ASCII kód daného znaku a v přijímači jsou poté interpretovány. Při přijetí dat prostřednictvím UART jsou data nejprve uložena do zásobníku a teprve až poté mohou být zpracována. V zásobníku může být uchováno až 64 bytů. Při čtení dat dojde k přečtení prvního bytu v zásobníku, jeho uvolnění z paměti a posunutí všech následujících bytů (Uart, nedatováno).

Pro komunikaci mezi jednotlivými deskami Arduino je třeba vytvořit vlastní komunikační protokol. Ukázka principu mnou vytvořeného komunikačního protokolu je znázorněna na Obr. 2.16 a Obr. 2.17.



Obr. 2.16 – Vývojový diagram komunikačního protokolu vysílače

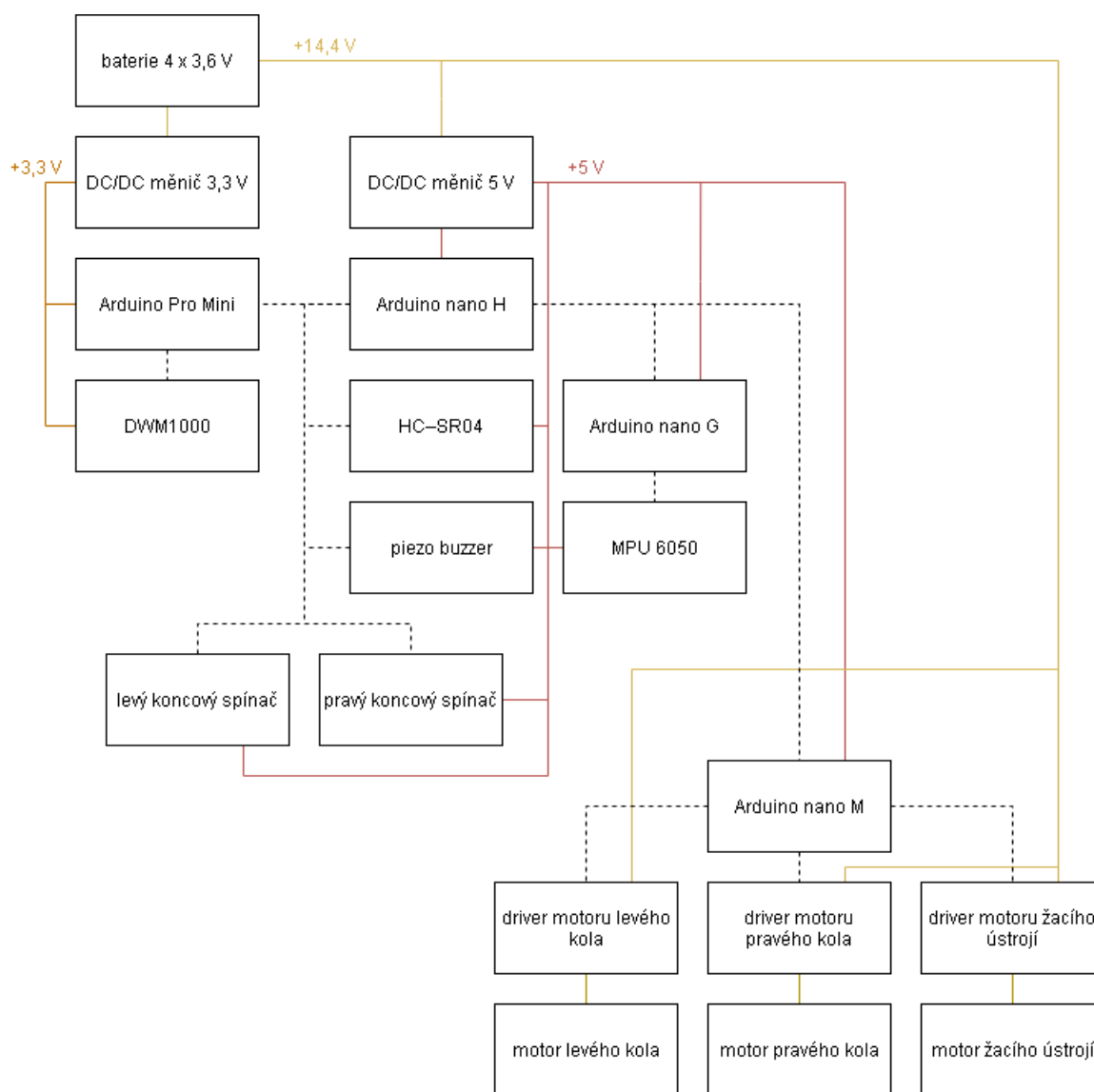


Obr. 2.17 – Vývojový diagram komunikačního protokolu přijímače

2.4 Model robota

2.4.1 Blokové schéma zapojení součástek modelu robota

Na Obr. 2.18 je vyobrazeno blokové schéma zapojení všech součástek modelu robota.



Obr. 2.18 – Blokové schéma zapojení součástek robota

Jak je z blokového schématu patrné, celý model je napájen prostřednictvím čtyř Li-ion baterií. Tyto baterie napájí oba měniče a drivery motorů. Z prvního měniče s označením LM2596, jehož stavitelné výstupní napětí je nastaveno na 5 V, jsou napájeny všechny vývojové desky Arduino nano i všechny periferie potřebující pro svou funkci 5 V napájení. Druhý měnič, s pevně daným výstupním napětím rovným 3,3 V, napájí pouze dvě součástky, a to Arduino Pro Mini a modul používaný pro zjišťování polohy s označením DWM1000.

2.4.2 Popis funkce jednotlivých vývojových desek

Celý robot je řízen jednou vývojovou deskou Arduino nano, která je na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** označena jako Arduino nano H. Tato vývojová deska je prostřednictvím sběrnic připojena k dalším vývojovým deskám, kde řídí jejich činnost a získává potřebné informace, které následně vyhodnocuje.

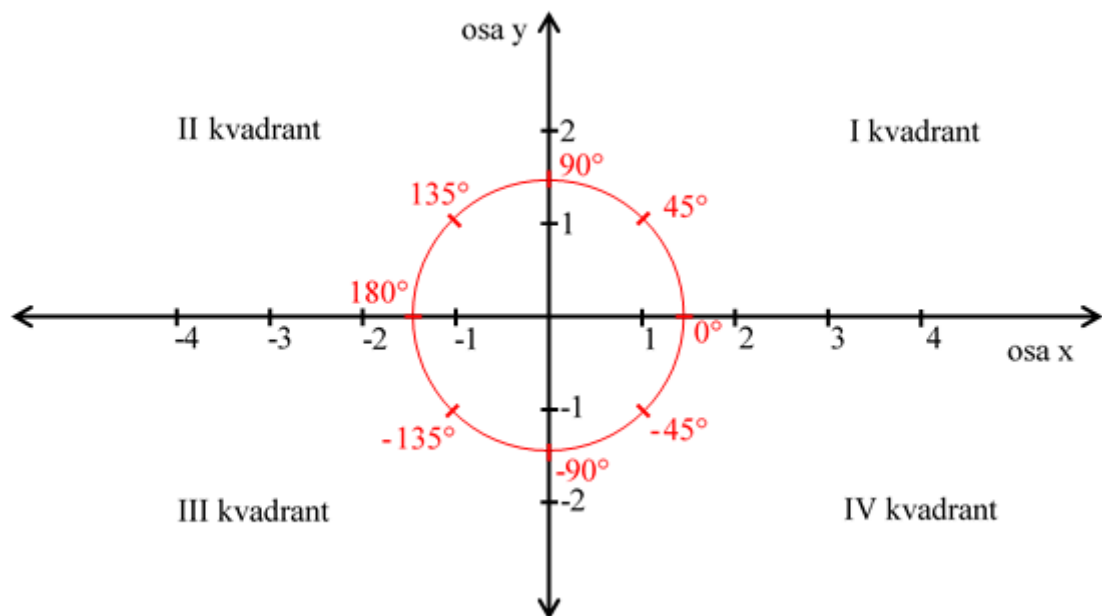
První z připojených je vývojová deska Arduino Pro Mini, určená pro obsluhu modulu s označením DWM1000. Pro ovládání modulu jsou do paměti vývojové desky importovány příslušné knihovny. Tento modul je v mé aplikaci využíván pro měření vzdáleností ke všem majákům, umístěných na hranici sekací plochy. V paměti vývojové desky jsou uloženy přesné souřadnice jednotlivých majáků, a díky změřeným vzdálenostem ke každému z nich jsem schopen vyřešit soustavu rovnic (1.5), a získat tak aktuální souřadnice robota. Pro odstranění náhodných chyb a nepřesností je do řídicí desky odesílán klouzavý průměr deseti získaných hodnot. Informace jsou do řídicí vývojové desky odesílány prostřednictvím I2C sběrnice.

Další připojenou je deska označená Arduino nano G. Tato deska slouží pro ovládání modulu MPU 6050, k čemuž též slouží importované knihovny. Díky použitým knihovnám a poskytnutému zdrojovému kódu je práce s modulem MPU 6050 velice jednoduchá. Úkolem této desky je pouze periodické čtení hodnot z modulu, jejich vyhodnocování a spočtení aktuálního natočení v osách x, y a z. Protože komunikace mezi modulem a vývojovou deskou probíhá prostřednictvím I2C sběrnice, kde je deska v pozici Master, musejí být informace do řídicí vývojové desky odeslány prostřednictvím sériové komunikace.

Dále je možné na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** nalézt vývojovou desku s označením Arduino nano M. Tato deska slouží pro řízení motorů. Řízení motorů probíhá na základě informací z nadřazené vývojové desky. Motor žacího ústrojí je ovládán pouze dvoupolohově, tedy motor se buď otáčí maximální rychlostí, nebo, v případě nouzového stavu, stojí. Pro řízení pohybu a otáčení robota jsou z hlavní desky pouze posílány informace o požadovaném aktuálním akčním zásahu, a v této desce probíhá přepočítání hodnoty akčního zásahu na frekvenci pulzů, potřebných pro řízení rychlosti krokových motorů, a následnému generování pulzů pomocí časovače. Pulzy jsou poté odesílány na příslušné drivery krokových motorů. V případě nulového akčního zásahu jsou oba motory nastaveny na maximální rychlost. Pokud je akční veličina různá od nuly, je o danou hodnotu zpomalen jeden z motorů, a je tak dosaženo zatočení potřebným směrem. Pro signalizaci správné činnosti robota a nepřítomnosti nouzového stavu je společně s hodnotou akčního zásahu posílán také bezpečnostní byte, jehož hodnota určuje, zda budou všechny motory zastaveny a uvedeny do nouzového stavu či nikoliv.

Hlavní řídicí deska může díky připojeným deskám získávat potřebné informace a ovládat motory. Deska je naprogramována tak, že nejprve načte informace z připojených desek a získá tak aktuální natočení a aktuální pozici. Informace o aktuální pozici dále prochází korekcí a je zjišťováno, jestli se hodnota skokově nezměnila od předchozí. Pokud k tomu došlo, je nově přijatá hodnota brána jako chybná, a je nahrazena hodnotou předchozí. Tento jednoduchý filtr zajistí vybrání správných hodnot. V paměti desky jsou uloženy souřadnice bodů, kterými musí robot projet. Pokud tedy znám aktuální bod, kde se robot nachází, mohu pomocí analytické geometrie určit potřebný úhel natočení robota směrem k žádané pozici.

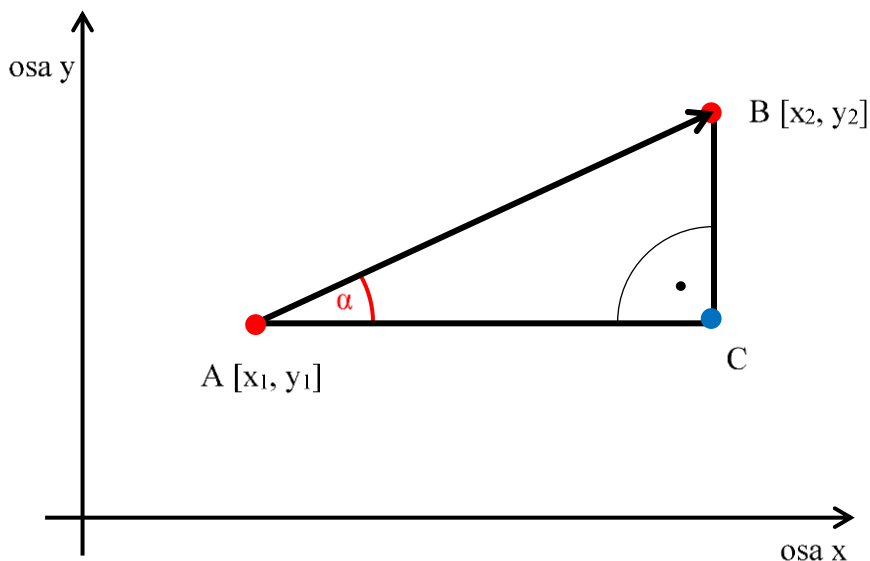
Pro orientaci a navigaci robota jsem se rozhodl použít kombinaci Kartézské soustavy souřadnic a pro určování úhlů používám souřadný systém v rozsahu -180 až 180° , kdy nulový úhel odpovídá směru osy x. Kombinací těchto soustav získám následný souřadný systém.



Obr. 2.19 – Souřadný systém použitý pro navigaci

Pokud budu určovat polohu robota v prostoru pomocí zvoleného souřadného systému, musím mít vždy tři souřadnice, kdy první bude poloha ve směru osy x, druhá bude poloha ve směru osy y a třetí souřadnicí bude úhel natočení.

Pro navigaci však budu potřebovat znát správný úhel, kterým se má robot natočit, aby ze své pozice směřoval k požadovanému místu. Po ukázání zvoleného způsobu výpočtu využiji Obr. 2.20.



Obr. 2.20 – Výpočet úhlu mezi dvěma body

Pokud se robot bude nacházet v bodě A, bude natočen rovnoběžně s osou x a bude muset dojet k bodu B, mohu za použití goniometrických funkcí, konkrétně funkce tangens, dopočítat potřebný směr natočení. V pravoúhlém trojúhelníku ABC platí pro úhel α

$$\tan(\alpha) = \frac{|BC|}{|AC|} = \frac{|y_2 - y_1|}{|x_2 - x_1|}, \quad (2.1)$$

kde $|BC|$ – délka strany a,
 $|AC|$ – délka strany b.

Z rovnice (2.2) mohu úhel α spočítat jako

$$\alpha = \arctg\left(\frac{|BC|}{|AC|}\right) \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right) = \arctg\left(\frac{|y_2 - y_1|}{|x_2 - x_1|}\right) \cdot \left(\frac{180}{\pi}\right). \quad (2.2)$$

Spočtený úhel odpovídá směrnici přímky určené body A a B a následně převedené na stupně. Tento způsob výpočtu lze použít pouze tehdy, pokud se hledaný úhel nachází v intervalu $\langle -90^\circ, 90^\circ \rangle$. Pokud se hledaný úhel nachází v intervalu $(90^\circ, 180^\circ)$ musí být spočtená hodnota odečtena od 180° , a pokud se hledaný úhel nachází v intervalu $(-90^\circ, 180^\circ)$, musí být od spočtené hodnoty odečteno 180° . Tímto způsobem tedy lze dopočítat požadovaný úhel natočení robota vzhledem k ose x.

Jak již bylo popsáno výše, informace o natočení robota je získávána prostřednictvím vývojové desky s označením Arduino nano G. Pokud je při měření úhlu natočení robota

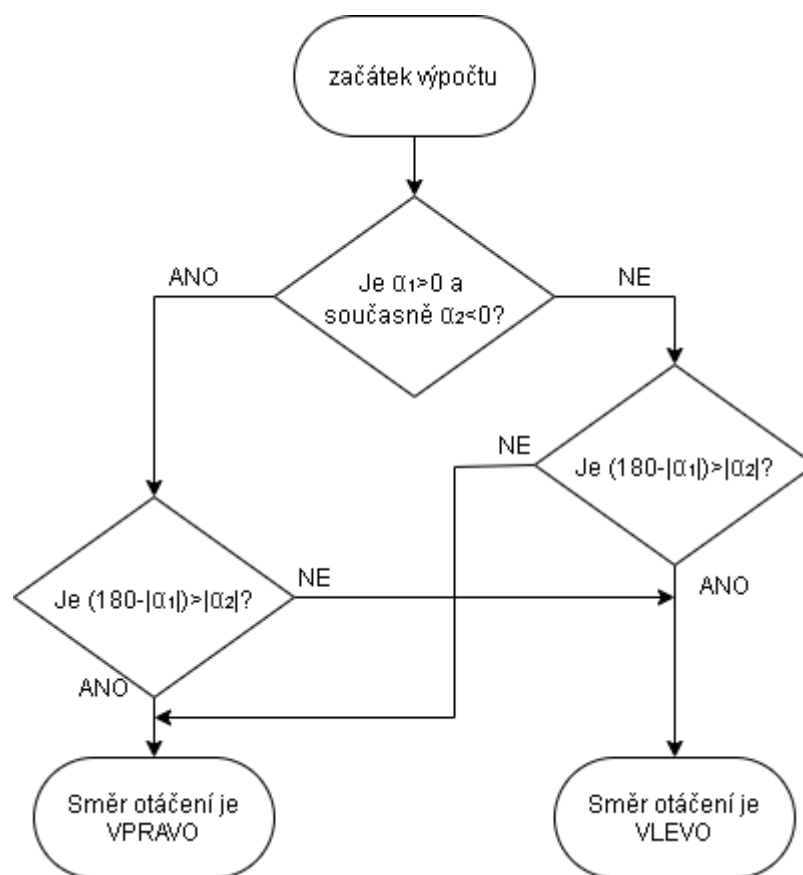
zajištěno, že směr nulového natočení je rovnoběžný se směrem osy x, lze z informací o aktuálním natočení robota a ze spočtené hodnoty potřebného natočení robota dopočítat odchylku, o kterou se musí robot potočit, aby směřoval k požadovanému bodu. V mé aplikaci bude tato odchylka brána jako regulační odchylka. Kromě velikosti regulační odchylky je třeba také spočítat směr, kterým se má robot otáčet. Výpočtem musí být zjištěny hodnoty pro nejrychlejší dosažení požadovaného směru.

Pokud budou obě hodnoty potřebného natočení a aktuálního natočení robota kladné nebo záporné, lze regulační odchylku vypočítat jako absolutní hodnotu rozdílu těchto dvou hodnot a směr otáčení bude záviset pouze na velikosti jednotlivých úhlů. Pokud však nebudou oba uvažované úhly kladné či záporné a součet jejich absolutních hodnot bude nižší než 180, bude se regulační odchylka rovnat součtu absolutních hodnot jednotlivých úhlů. V opačném případě lze regulační odchylku spočítat pomocí rovnice

$$\text{regulační odchylka} = 180 - |\alpha_1| + 180 - |\alpha_2|, \quad (2.3)$$

kde α_1 – úhel aktuálního natočení robota,
 α_2 – úhel potřebného natočení robota.

Pro určení směru otáčení se mohou řídit vývojovým diagramem na Obr. 2.21.



Obr. 2.21 – Vývojový diagram pro určení směru otáčení

Pro objasnění postupu a lepší názornost bude uvedeno několik příkladů výpočtu. V prvním příkladě bude ukázán nejjednodušší příklad, kdy je úhel natočení robota α_1 roven 80° a požadovaný úhel natočení α_2 je roven 120° . Podle popsaného postupu lze výslednou regulační odchylku vypočítat jako

$$|\alpha_1 - \alpha_2| = |80 - 120| = 40^\circ. \quad (2.4)$$

Směr otáčení je v tomto případě závislý na velikosti jednotlivých úhlů. Pokud platí, že $\alpha_1 > \alpha_2$, je směr otáčení vpravo a naopak. Výsledek tohoto příkladu je tedy nutnost otočení robota o 40° doprava.

V druhém příkladě bude úhel α_1 roven 80° a úhel α_2 roven -60° . Podle postupu sečtu absolutní hodnoty těchto dvou úhlů

$$|\alpha_1| + |\alpha_2| = |80| + |-60| = 140^\circ. \quad (2.5)$$

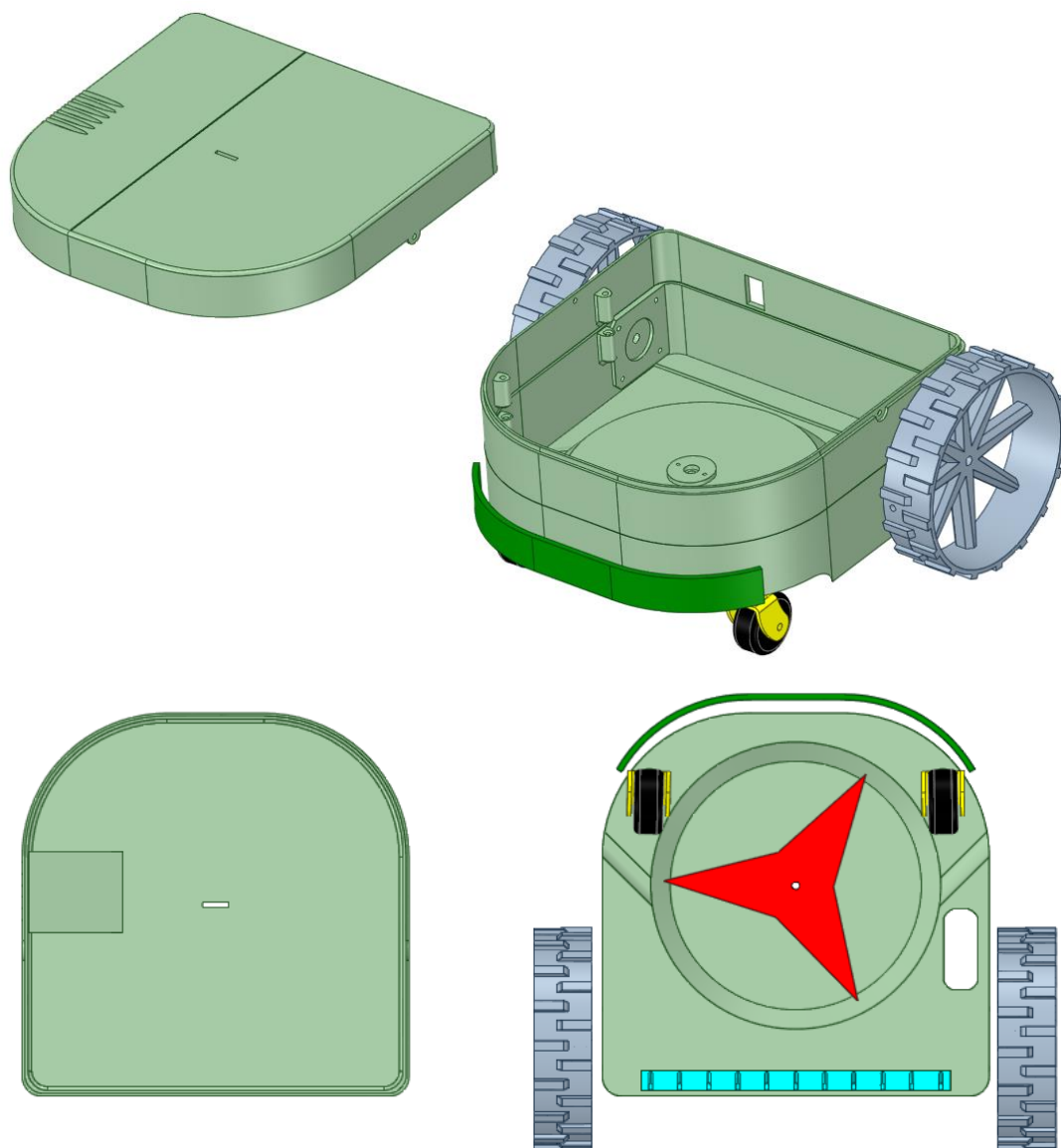
Výsledný úhel není vyšší než 180° , tudíž se bude regulační odchylka rovnat výslednému úhlu. Směr otáčení zjistím za pomoci vývojového diagramu, kdy první podmínka platí, a druhá podmínka též. Směr otáčení bude tedy vpravo.

Ve třetím příkladě bude úhel α_1 roven 160° a úhel α_2 roven -80° . Pro výpočet bude třeba použít rovnici (2.3), kdy po dosazení získám hodnotu regulační odchylky rovnu 120° . Pro určení směru otáčení opět využiji vývojový diagram. Výsledkem tohoto příkladu je nutnost otočení o 120° vlevo.

Dále v programu hlavní řídicí desky následuje PSD regulátor. Jedním ze vstupů regulátoru pro výpočet akčního zásahu je regulační odchylka, která je kladná v případě potřeby zatočit vlevo, a záporná pro zatočení doprava. Regulátor vždy po překročení periody vzorkování provede výpočet akčního zásahu. Ten je uložen do proměnné a připraven k odeslání na vývojovou desku pro řízení motorů. Před odesláním akčního zásahu jsou ještě zkontrolovány všechny bezpečnostní funkce. Je testováno, jestli je na pinu připojeném k výstupu koncového spínače přítomno napětí signalizující stlačení spínače. Pomocí informací z vývojové desky ovládající modul MPU 6050 je zjišťováno, jestli není robot překlopen. Prostřednictvím modulu HC-SR04 je změřena vzdálenost mezi dnem robota a zemí, a je tak zjišťováno, jestli není celý robot zdvižen. Pokud ověření všech bezpečnostních funkcí proběhlo úspěšně a není detekován žádný nebezpečný stav, je informace o velikosti akčního zásahu odeslána prostřednictvím I2C sběrnice na vývojovou desku pro řízení motorů společně s bezpečnostním bytem obsahujícím informaci o správné funkci robota.

2.5 Model těla robota

Model těla robota byl tisknut pomocí 3D tiskárny Original Prusa i3 MK2 s maximálními rozměry tiskové plochy $250 \times 210 \times 200$ mm. Proto musel být návrh uzpůsoben velikosti tiskové plochy a schopnostem 3D tiskárny. Z tohoto důvodu nemohly být dodrženy všechny parametry, které jsem si pro testovací model zvolil. Pro návrh robota byl použit program DesignSpark Mechanical, ve kterém byly navrženy všechny části určené k tisku. Jsou jimi hlavní tělo robota rozdělené na dvě části, víko těla robota, zadní kola, přední otáčivá kola, nárazník, trojzubec a mulčovací hřeben.



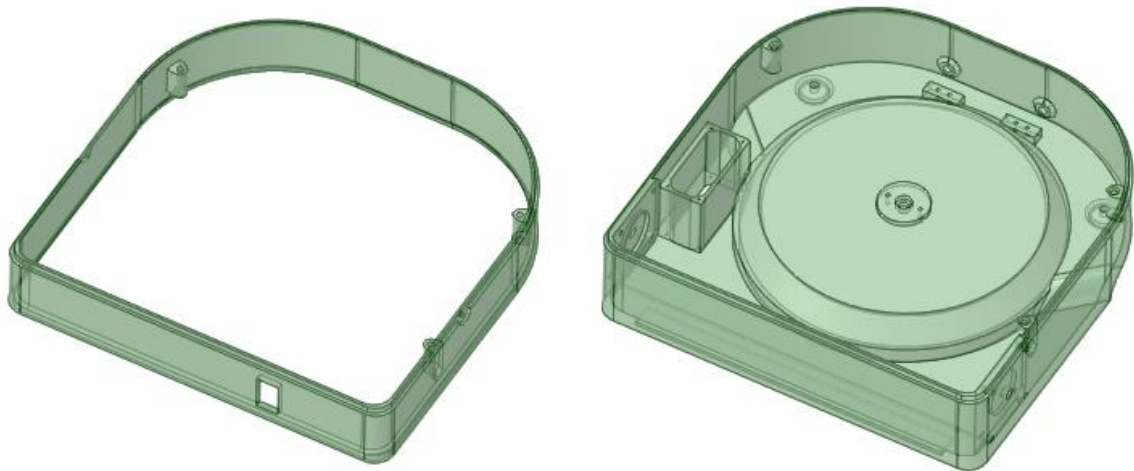
Obr. 2.23 – Návrh těla modelu testovacího robota



Obr. 2.22 – Ukázka vyrobeného a složeného těla robota

2.5.1 Hlavní tělo robota

Hlavní tělo robota bylo rozděleno na dvě části z důvodu předejití možnosti pokroucení stěn při tisku a odstranění nepřesností. Horní část slouží primárně pro zvýšení robota a vytvoření dostatečného prostoru pro umístění motoru žacího ústrojí. Spodní část je členitější a plní mnohem více funkcí.

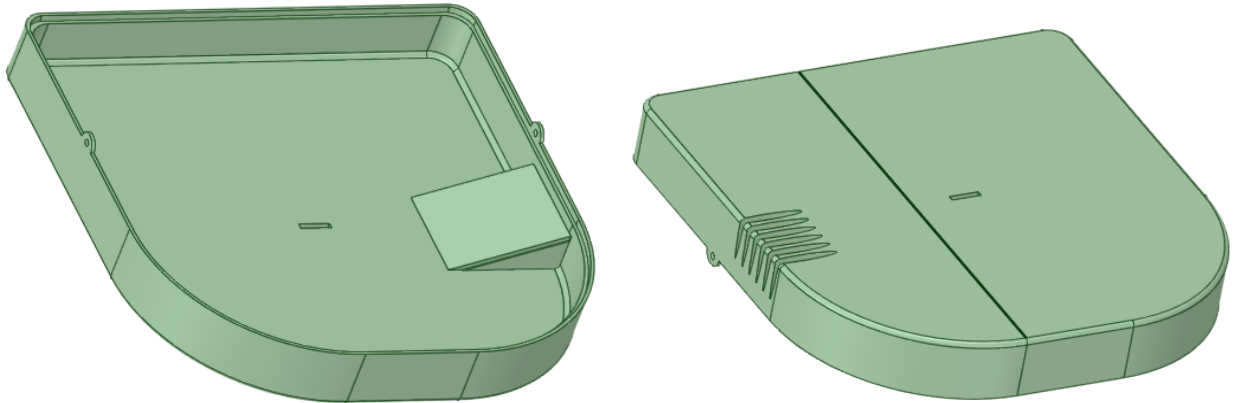


Obr. 2.24 – Návrh hlavního těla robota

Přední strana spodní části je zvýšená, aby tráva nebyla ohnuta a bylo tak zajištěno její posekání. Ve středu spodní části se nachází sekací buben o průměru 15 cm s místem pro uložení a uchycení žacího motoru. Hřídel žacího motoru je prostrčena otvorem pod hlavní tělo robota, celý motor je pak přidělán pomocí dvou montážních šroubů. Po stranách je navržen prostor pro uložení a uchycení krokových motorů. Opět jsou ve stěně otvory pro umístění montážních šroubů, sloužících pro uchycení motorů. V přední části jsou otvory pro přidělení nárazníku a plošky pro uchycení koncových spínačů. Vedle žacího bubnu je umístěno pouzdro pro uchycení modulu HC-SR04. Pouzdro je dostatečně vysoké, aby do něj bylo možné umístit senzor, a mít také rezervu pro minimální možnou měřenou vzdálenost. Na stěnách spodní i horní části hlavního těla robota jsou umístěny montážní otvory pro pevné spojení těchto dvou částí. V zadní stěně horní části je obdélníkový otvor sloužící pro umístění hlavního vypínače. Vrchní hrana horní části je navržena tak, aby tvarem doplňovala spodní hranu víka robota, aby při nasazení víka došlo k zacvaknutí víka a horní části.

2.5.2 Víko robota

Víko robota je navrženo tak, aby svým tvarem plnilo potřebné funkce. Jak již bylo popsáno výše, je spodní hrana víka navržena tak, aby při nasazení na horní část hlavní části robota došlo k zasunutí těchto dvou částí do sebe a k následnému umístění pojistných šroubů do připravených otvorů.

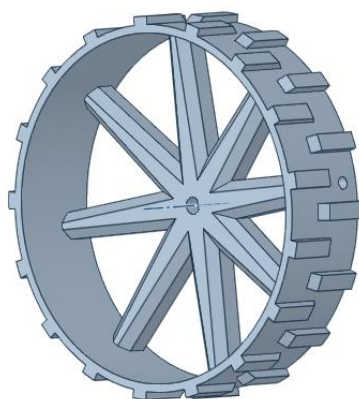


Obr. 2.25 – Návrh víka robota

Uprostřed víka je malý otvor umožňující prostrčení antény modulu DWM1000 pro zajištění potřebné kvality signálu a umístění modulu doprostřed robota. Dále je možné vidět čáru na horní straně víka, sloužící pro kalibrování počátečního směru robota. Poslední funkcí, kterou víko robota plní, je možnost umístění senzoru deště nacházejícího se na straně víka. Shora jsou otvory sloužící k protečení dešťové vody k povrchu senzoru a zdola je vidět pouzdro pro umístění senzoru, do kterého bude dešťový senzor vsunut a pro vodotěsnost zalepen.

2.5.3 Zadní kola

Pro malé mobilní roboty je tráva velmi obtížným terénem. Proto jsem svému robotu navrhl dostatečně velká a široká zadní kola, která mají po svém obvodu výstupky. Tato kola by měla zajistit dobrou průjezdnost terénem.

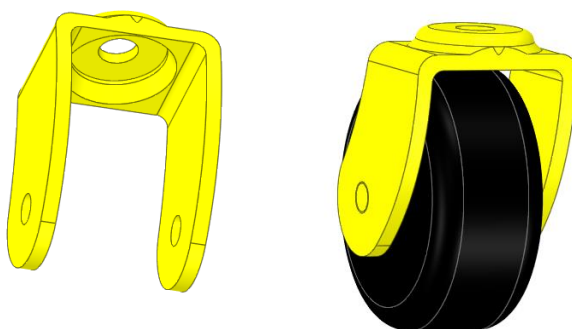


Obr. 2.26 – Návrh zadního kola

Ve středu kola se nachází otvor ve tvaru písmene D pro zasunutí hřídele motoru. Toto bude nejvíce namáhané místo, proto jsem zde celé kolo rozšířil a navrhl jsem z boku otvor, který prochází celým jedním vnitřním paprskem kola až do středu. Tento boční otvor slouží pro zašroubování pojistného šroubu kola, čímž bude zajištěno pevnější spojení a ochrana proti proklouznutí hřídele.

2.5.4 Přední otočná kola

Přední kola robota se skládají ze dvou částí. První je držák kola a druhou je samotné kolo.



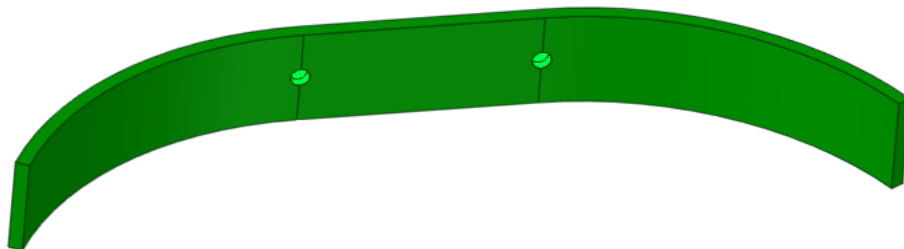
Obr. 2.27 – Návrh předního otočného kola

Průměr kola je 3,5 cm a tloušťka 1,5 cm. Kraj kola je zaoblen, aby bylo zajištěno správné natáčení kola a dobrá průjezdnost terénem. Správnému natáčení kola napomáhá též tvar držáku, který je mírně ohnut. K robotu bude držák přidělán montážním šroubem, který bude umístěn nad kolem a pomocí matek uchycen k hlavnímu tělu robota. Natáčení kol bude umožněno díky zajištění dostatečné vůle při montáži kola k robotu. Pro přidělení kola k držáku

bude použito ocelové tyče o průměru 5 mm, aby tak bylo zajištěno nízké opotřebení hřídele a nízké tření mezi kolem a hřídelí.

2.5.5 Nárazník

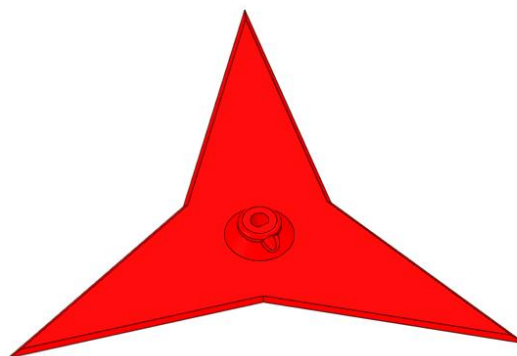
Funkci nárazníku plní pruh plastu, který je 2 cm vysoký a 3 mm silný a svým tvarem přesně kopíruje tvar přední strany hlavního těla robota. Uprostřed tohoto nárazníku se nacházejí dva otvory, sloužící pro připevnění šroubů, které budou plnit funkci vodících tyčí při pohybu nárazníku a svým koncem budou stlačovat koncové spínače umístěné uvnitř robota. Mezi nárazníkem a tělem robota jsou vloženy pružiny, které nárazník odtlačují, aby byly koncové spínače stlačeny pouze v případě kontaktu robota s překážkou.



Obr. 2.28 – Návrh nárazníku

2.5.6 Trojzubec

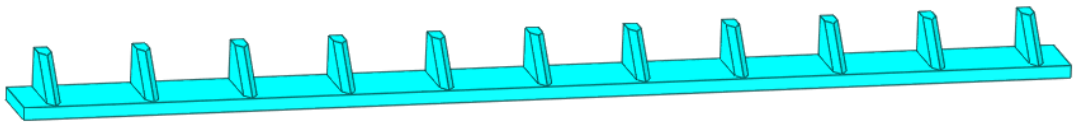
Pro samotné sekání trávy byl navržen trojzubec. Pro zajištění bezpečnosti je i tento díl vyroben z plastu. Průměr trojzubce je 13,5 cm. Uprostřed se nachází otvor pro vsunutí hřídele žacího motoru. Okraje tohoto otvoru jsou, stejně jak tomu je u zadních kol, zesílené, a je v nich otvor pro umístění aretačního šroubu.



Obr. 2.29 – Návrh trojzubce

2.5.7 Mulčovací hřeben

Na zadní straně robota v prostoru za sekacím bubnem se nachází mulčovací hřeben, jehož funkcí je zatlačení posekané trávy do trávniku, čímž je dosaženo lepšího vzhledu posekané plochy a rychlejšího zetlení posekané trávy.



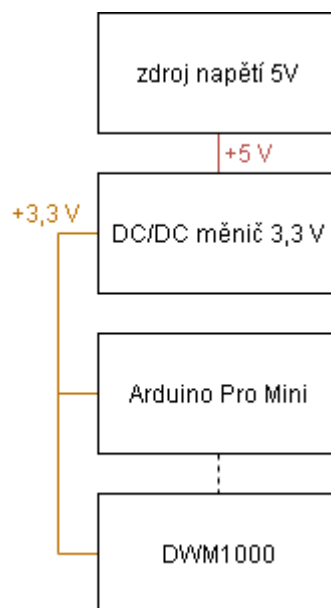
Obr. 2.30 – Návrh mulčovacího hřebene

2.6 Model majáku

Jak již bylo popsáno, pojmem majáky jsou označeny vysílače/přijímače nacházející se na přesně daném místě na hranicích sekané plochy. Model měří k jednotlivým majákům svou vzdálenost a následně pak ze získaných informací určí svou polohu.

2.6.1 Blokové schéma zapojení modelu majáku

Na Obr. 2.31 je vyobrazeno blokové schéma zapojení součástek modelu majáku navrženého mobilního robota.



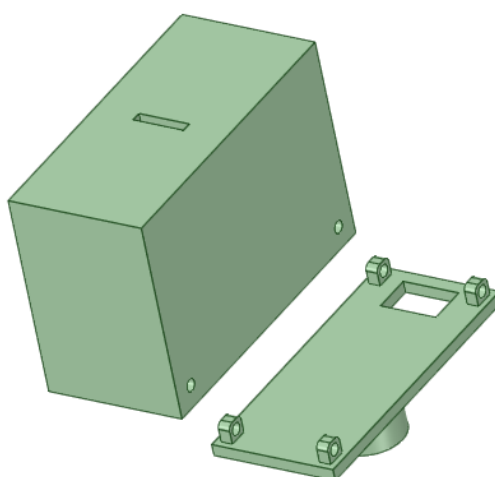
Obr. 2.31 – Blokové schéma zapojení součástek modelu majáku

Na první pohled je patrné, že se model majáku neskládá z tolika součástek jako model robota. Celé blokové schéma zapojení součástek modelu majáku je však téměř identické s částí blokového schématu zapojení součástek robota. Model majáku je napájen 5 V zdrojem napětí. V mé aplikaci byla jako zdroj použita nabíječka na telefon, lze však použít jakýkoli zdroj napětí v rozsahu 5 – 26 V. Napětí je totiž přivedeno na napěťový měnič, který při vstupním napětí v rozsahu 5 – 26 V generuje výstupní napětí rovné 3,3 V. Z měniče je poté napájena řídicí vývojová deska Arduino Pro Mini a modul pro měření vzdáleností DWM1000.

Kód nahraný ve vývojové desce je velmi krátký. Z důvodu možnosti identifikace majáku robotem je v kódu definována adresa daného majáku, a dále jsou jen příkazy využívající knihovny pro ovládání modulu DWM1000, sloužící pro započítí a ukončení komunikace s dalšími moduly DWM1000 a pro měření vzdáleností mezi nimi.

2.7 Model těla majáku

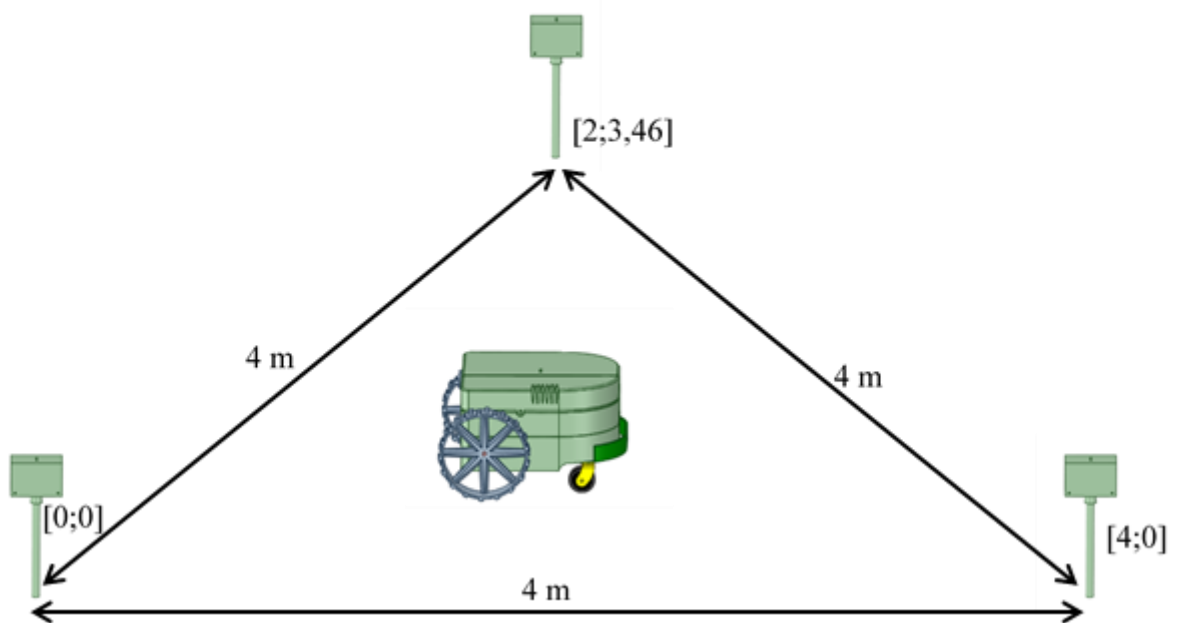
Jako pouzdro pro umístění součástek modelu majáku jsem navrhl krabičku s odnímatelným dnem. Ve vrchní straně víka krabičky je navržen otvor pro vsunutí antény modulu DWM1000. Ve dně krabičky je navržen otvor pro umístění kabelu přívodního napětí a na stranách jsou připravena očka, do kterých jsou po přiložení dna k víku vstrčeny pojistné šrouby a je tak zabráněno rozpojení těchto dvou částí. Ze spodní strany dna je navrženo pouzdro pro tyč, která bude zasunuta do země, a na kterou bude celé pouzdro přiděláno.



Obr. 2.32 – Návrh těla majáku

2.8 Instalace a zprovoznění modelu robota

Pro správnou funkci robota je třeba nejprve umístit majáky na zvolená místa. Souřadnice jednotlivých majáků jsou zvoleny a uloženy na začátku programu vývojové desky Arduino Pro Mini v modelu robota. V mém případě jsem zvolil souřadnice $[0;0]$, $[4;0]$ a $[2;3,46]$. Majáky umístím na sekanou plochu tak, abych vytvořil souřadný systém odpovídající požadavkům. Po umístění a zapojení majáků je třeba umístit a zkalibrovat robota. Je třeba robota postavit na sekanou plochu tak, aby jeho směr byl rovnoběžný s osou x a následně robota zapnout.



Obr. 2.33 – Ukázka možného umístění majáků a kalibrace robota

Robot pomocí majáků určí svou přesnou polohu v souřadném systému a aktuální natočení bude považovat za základní – tedy 0° . V paměti hlavní řídicí vývojové desky (v blokovém schématu označené jako Arduino nano H) jsou uživatelem uloženy jednotlivé souřadnice, kterými musí robot projet. Po zapnutí robota je načtena první souřadnice, dále jsou provedeny potřebné výpočty, a poté se robot vydá směrem ke zvolené souřadnici, dokud nedojede do požadované blízkosti. V tu chvíli je do paměti načtena další souřadnice, a pohyb robota pokračuje dále, dokud neprojde všemi zadanými souřadnicemi.

3 ZHODNOCENÍ

Výsledkem diplomové práce je navigační jednotka robotického vozidla, díky které je možné určit polohu robota s přesností menší než 5 cm. Navigační jednotka se skládá z přijímače/vysílače, umístěného v robotu, a tří majáků, které jsou rozmístěny v prostoru na pevně daných souřadnicích. Dále byl navržen a vyroben funkční model robotické sekačky, na kterém byla funkce navigační jednotky testována. Bylo zjištěno, že navigační jednotka funguje spolehlivě a robot, využívající tuto jednotku, je schopen dojet na určené místo s přesností 5 cm.

Model robota měl odpovídat běžným robotickým sekačkám. Z důvodu vytvoření modelu tisknutelného na 3D tiskárně však musel být vybrán kompromis, který nesplňoval všechny standardy komerčně vyráběných robotických sekaček. Do modelu však byly implementovány běžné bezpečnostní funkce, jejichž funkčnost byla testována. Bylo zjištěno, že senzory pro detekci překlopení, nárazu či deště fungovaly bezchybně. Ultrazvukový modul, použitý pro detekci zvednutí robota, měl však se svou funkcí problémy. Ty byly způsobeny velkým útlumem ultrazvukových vln, odrážejících se od travního porostu. Proto byl tento modul při testování odpojen. Ostatní části robota však fungovaly bezproblémově.

4 ZÁVĚR

V práci byla na základě rešerší způsobů a druhů navigace a komerčně vyráběných navigačních jednotek navržena, vyrobena a úspěšně testována navigační senzorická jednotka robotického vozidla. Jednotka byla testována na navrženém funkčním modelu robotické sekačky, který byl vyroben s využitím technologie 3D tisku. Návrh testovacího modelu byl inspirován komerčně vyráběnými robotickými sekačkami. O výrobě modelu i navigační jednotky byla zpracována výrobní dokumentace a byla vysvětlena funkce zdrojových kódů. Tímto bylo splněno zadání diplomové práce.

Projekt by bylo možné dále rozšířit například o mobilní aplikaci, která by zajišťovala komunikaci s robotem a bylo by možné skrz ni robota řídit. Pro nalezení nejlepší trasy sečení by mohla být použita umělá inteligence, s jejímž použitím by uživateli stačilo zadat hranice sečené plochy a řídicí algoritmus by poté našel optimální trasu. Pro větší podobnost s robotickými sekačkami by bylo možné vyrobit dobíjecí stanici baterií.

POUŽITÁ LITERATURA

- 3-osý gyroskop a akcelerometr GY-521, MPU6050.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/arduino-gyroskop-a-akcelerometr-gy-521--mpu6050/>.
- Akumulátor 18650 Fenix ARB-L18-3500U.* [on-line]. Fenix. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.svitilny-fenix.cz/produkt/akumulator-18650-fenix-arb-l18-3500u/>.
- Akustický bzučák, modul.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/akusticky-bzucak--modul/>.
- Arduino a sériová komunikace.* [on-line]. Uart. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://uart.cz/139/arduino-a-seriova-komunikace/>.
- Arduino Nano R3, ATmega328P Klon, Připájené piny.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/arduino-nano-r3--atmega328p-klon--pripajene-piny/>.
- Arduino Pro Mini, ATmega328P TQFP 3.3V 8MHz.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/arduino-pro-mini--atmega328p-tqfp-3-3v-8mhz/>.
- Dešťový senzor.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/destovy-senzor/>.
- DRV8825 driver pro krokové motory.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/drv8825-driver-pro-krokovye-motory/>.
- DRV8825 Stepper Motor Controller IC.* 2014. [on-line]. Texas Instruments. Dallas. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf?ts=1619444394318>.
- Dvoumotorový řadič TB6612FNG.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/dvoumotorovy-radic-tb6612fng/>.
- DWM1000 Datasheet.* 2016. [on-line]. Decawave. Dublin. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.decawave.com/sites/default/files/resources/DWM1000-Datasheet-V1.6.pdf>.
- DWM1000 Module.* [on-line]. Decawave. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.decawave.com/product/dwm1000-module/>.
- How GPS Receives Work – Trilateration vs Triangulation.* 2021. [on-line]. GISGeography. [cit. 2021-08-11]. Dostupné z: <https://gisgeography.com/trilateration-triangulation-gps/>
- JEŽEK, A. Lekce 15 - Arduino a I2C sběrnice.* [on-line]. Itnetwork. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/arduino/arduino-a-i2c-sbernice>
- Koncový spínač pákový 2A 125VAC.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/koncovy-spinac-pakovy-2a-125vac/>.
- Kress KR110 LTE Connect.* [on-line]. Kress-mission. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.kress-mission.de/kress-mission-kr110/kr-110-connect/>.
- Krokový motor NEMA 17 17HS4401 0,4Nm.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/krokovy-motor-nema-17-17hs4401-0-4nm/>.
- Mini SMD step-down měnič 3.3V.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/mini-smd-step-down-menic-3-3v/>.

- Motor JGA25-370 12V s převodovkou.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: https://www.laskarduino.cz/motor-jga25-370-12v-s-prevodovkou/?variantId=7071&gclid=CjwKCAjwjdOIBhA_EiwAHz8xm4co2gf8tyWP7QqmO6ykBo9gVjaJ2jIw1xxQEiKDt8ODJBSjN6qr_RoCzc0QAvD_BwE.
- RAPANT, P. 2002. *Družicové polohové systémy.* [on-line]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. [cit. 2021-08-11]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20121113151008/http://gis.vsb.cz/dokumenty/dns-gps/view/200> s. ISBN 80-248-0124-8.
- Step-down měnič s LM2596.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/step-down-menic-s-lm2596/>.
- TB6612FNG.* 2014. [on-line]. Toshiba. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://drive.google.com/open?id=0B4B30jzMyzG8UksyYlQ2ZzNnX0k>.
- Ultrazvukový měřič vzdálenosti HC-SR04.* [on-line]. Laskarduino. [cit. 2021-08-12]. Dostupné z: <https://www.laskarduino.cz/arduino-ultrazvukovy-meric-vzdalenosti-hc-sr04/>.
- VYSKOČILOVÁ, V. 2021. *Srovnávací test a recenze nejlepších robotických sekaček.* [on-line]. Arecenze. [cit. 2021-08-11]. Dostupné z: <https://www.arecenze.cz/roboticke-sekacky/#intro>.

PŘÍLOHY

A – CD

Příloha k diplomové práci
Navigační jednotka robotického vozidla
Kamil Regner

CD

Obsah

- 1 Text diplomové práce ve formátu PDF.
- 2 Úplné zdrojové kódy testovacích programů.
- 3 3D návrhy jednotlivých částí robota.

