



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍZENÍ PÁSOVÉHO ROBOTA

CONTROL OF THE BELT ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Vávra

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Jakub Vávra

ID: 161882

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Řízení pásového robota

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s problematikou řízení pásového robota.
2. Navrhněte řídicí systém pro pásový robot, který umožní objetí překážek a zabrání pádu robota z podložky, po které se pohybuje. Vyberte vhodná čidla. Nakreslete blokové schéma řídicího systému.
3. Pro řídicí systém zvolte vhodný mikrokontrolér nebo vývojovou desku s mikrokontrolérem. Navrhněte potřebné přizpůsobovací obvody pro připojení čidel a pohonů a stanovte hodnoty jednotlivých součástek. Nakreslete schéma zapojení celého řídicího systému.
4. Řídicí systém realizujte a oživte.
5. Vytvořte potřebné softwarové vybavení a odlaďte je.
6. Ověřte funkčnost řídicího systému na malém reálném pásovém robotu. Shrňte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Hekrdla M, Řízení pásového robota s využitím motorů MAXON. Dostupné z:
https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/hlinovsk@feld.cvut.cz_2007dipl.pdf

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 29.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Tato semestrální práce se zabývá autonomním řízením pásového robota.

Robot se bude schopný vyhýbat překážkám a kontrolovat, jestli se nachází na podložce. Bude posuzovat, jestli se daná překážka nachází vlevo či vpravo od něj a podle toho se jí vyhne.

Klíčová slova

Mobilní robot, autonomní řízení, infračervené senzory

Abstract

This semester thesis deals with the management of autonomous robot crawler. The robot will be able to avoid obstacles and check if there are on the mat. Will assess whether or not the barrier is to the left or right of it, and hence it avoids.

Keywords

Mobile robots, autonomous control, infrared sensors.

Bibliografická citace:

VÁVRA Jakub *Řízení modelu pásového robota*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 45s. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou závěrečnou práci na téma Řízení modelu pásového robota jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne **28. května 2017**

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Machovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne **28. května 2017**

.....

podpis autora

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
1 Úvod	12
2 Stručný přehled typů robotů	13
2.1 Jednokolové roboty.....	13
2.2 Dvoukolové roboty.....	14
2.3 Tříkolové a čtyřkolové roboty	15
2.4 Šestikolové roboty.....	16
2.5 Pásové roboty.....	17
2.6 Kráčející roboty	18
3 Rozbor zadání a volba koncepce	19
3.1 Pásový podvozek	19
3.2 Řídící systém a snímače	19
3.3 Hlavní řídící jednotka.....	21
4 Mechanická konstrukce robotu	22
5 Obvodové řešení řídicího systému robota	24
5.1 Raspberry Pi 2.....	24
5.2 Pohon.....	25
5.2.1 Modul KM2	25
5.2.2 Motory SX17	25
5.2.3 Drivery DRV8825.....	26
5.3 Senzory	27

5.3.1	Ultrazvukové senzory HC-SR04	27
5.3.2	Optočlen CNY 70.....	29
5.3.3	AD převodník AD7997	30
5.4	Dálkový ovladač Merkur RC1.....	31
5.5	Rozvodná deska	32
5.6	Připojení periférií k jednodeskovému počítači Raspberry Pi 2.....	33
6	Návrh desek plošných spojů	34
6.1	Deska pro optočlen CNY70	34
6.2	Rozvodná deska robotu.....	35
6.3	Deska modulu KM2	36
7	Software	37
7.1	Programovací prostředí.....	37
7.2	Požadavky na software robotu.....	37
7.3	Členění programu.....	38
7.3.1	Modul hlavního programu main	40
7.3.2	Modul optočlenů CNY70.....	43
7.3.3	Modul dálkového ovladače.....	45
7.3.4	Modul ultrazvukových snímačů	45
8	Testování řídicího systému	46
9	Závěr	48
	Seznam zkratk	49
	Literatura	50
	Seznam příloh na CD	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Robot se vodorovným gyroskopem ⁽⁴⁾	13
Obr. 2 Robot se svislým gyroskopem ⁽⁴⁾	13
Obr. 3 Těžiště nad osou rotace ⁽⁴⁾	14
Obr. 4 Těžiště pod osou rotace ⁽⁴⁾	14
Obr. 5 Řízení smykem ⁽⁴⁾	16
Obr. 6 Ackermanův způsob ⁽⁴⁾	16
Obr. 7 Pásový robot Ares při zdolávání schodů ⁽¹⁾	17
Obr. 8 Konstrukce hmyz ⁽⁴⁾	18
Obr. 9 Konstrukce savec ⁽⁴⁾	18
Obr. 10 Blokové schéma řídicího systému.....	20
Obr. 11 Pohled na boční rozložení podvozku.....	22
Obr. 12 Motorový unašeč, 3D vizualizace.....	23
Obr. 13 Honí pohled na rozložení podvozku.....	23
Obr. 14 Technický nákres motorů SX17 ⁽¹⁸⁾	25
Obr. 15 Časové průběhy ultrazvukového snímače HC-SR04 ⁽¹³⁾	27
Obr. 16 Schéma zapojení odporového děliče na výstupu HC-SR04.....	28
Obr. 17 Schéma zapojení modulu CNY70.....	30
Obr. 18 Schéma zapojení periferií do Raspberry Pi.....	33
Obr. 19 Deska plošných spojů modulu CNY70.....	34
Obr. 20 Rozvodná deska robotu, strana mědi.....	35
Obr. 21 Rozložení modulu KM2 strana mikrokontroleru ⁽⁸⁾	36
Obr. 22 Rozložení modulu KM2 strana driveru ⁽⁸⁾	36

Obr. 23 Směry toku dat v proměnných mezi moduly	39
Obr. 24 Oblasti detekce HC-SR04.....	41
Obr. 25 Vývojový diagram kontroly spodních senzorů.....	44
Obr. 26 Schematické rozložení testovací plochy.....	46

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Výstup dálkového ovladače RC1	31
Tab. 2 Rychlosti a úhly podle detekčních oblastí.....	41

1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je navržení modelu a řídicího systému pásového robotu. Řídicí systém umožní bezpečné vyhnutí překážkám nacházejícím se ve směru jízdy robotu a zabrání pádu robotu z podložky. Pro řídicí systém je nutné zvolit vhodná čidla a řídicí jednotku a dále navrhnout vhodné přizpůsobovací obvody pro jejich propojení. Poté sestavit softwarové vybavení a odladit je tak, aby robot bezpečně fungoval.

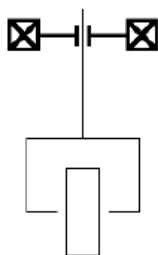
Robot bude možné řídit jednoduchým dálkovým ovladačem, nebo ho přepnout do režimu, kdy pojede autonomně. V obou režimech se bude vyhýbat blízkým překážkám a kontrolovat přítomnost podložky, po které se pohybuje.

2 STRUČNÝ PŘEHLED TYPŮ ROBOTŮ

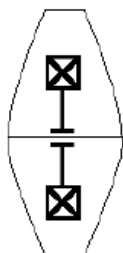
2.1 Jednokolové roboty

Jednokolové roboty se v současnosti používají jako prototypy k výzkumu rovnovážných schopností robotů a začíná se s nimi experimentovat jako s jednoduchými městskými dopravními prostředky.

Existují dvě základní koncepce jednokolových robotů, které se liší umístěním gyroskopu (setrvačníku).



Obr. 1 Robot se vodorovným gyroskopem⁽⁴⁾



Obr. 2 Robot se svislým gyroskopem⁽⁴⁾

Robot se svislým gyroskopem (Obr. 2) již existuje, je to robot „Gyrover“⁽⁵⁾, jehož koncept je založen na principu gyroskopické precese. Tvar trajektorie pohybu robota je dán výslednými radiálními odstředivými silami. Robot tohoto typu je značně znevýhodněn celkovou obvodovou rotací, což znesnadňuje umístění senzorů

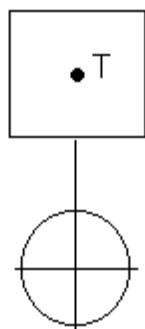
do systému tohoto typu robota. Jeho možné využití je např. jako dopravní prostředek.

Robot druhého typu (Obr. 1 Robot se vodorovným gyroskopem⁽⁴⁾Obr. 1), s vodorovným gyroskopem, existuje prozatím jen jako simulace v počítači. Je osazen dvěma protiběžnými setrvačníky, zajišťujícími jeho vzpřímenou polohu. Výhodou tohoto řešení je existence statických částí robota, které je možné využít pro osazení vhodnými senzory či manipulátorem.

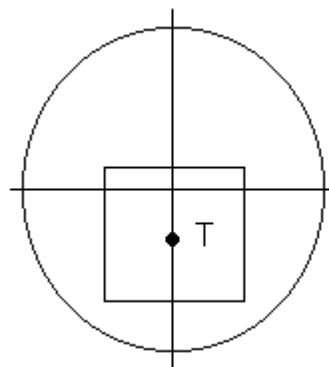
2.2 Dvoukolové roboty

Výhodou dvoukolových robotů je jejich příčná stabilita. Stejně jako u robotů jednokolových je vývoj těchto robotů prováděn zejména pro výzkum stability a udržování rovnovážného stavu.

Existují dvě hlavní koncepce dané polohou těžiště robota vzhledem k ose rotace kol.



Obr. 3 Těžiště nad osou rotace⁽⁴⁾



Obr. 4 Těžiště pod osou rotace⁽⁴⁾

Varianta robota s těžištěm pod osou rotace kol má tu výhodu, že robot je vždy stabilní a nepřevrací se.

2.3 Tříkolové a čtyřkolové roboty

Řízení tří až čtyřkolových podvozků je možné provést několika způsoby, a to tzv. Synchronním, Diferenčním a Ackermanovým způsobem řízení.

U synchronního řízení má robot poháněna všechna kola. Jejich natáčení je provedeno pomocí jednoho motoru, který je přes převod (ozubený řemen, řetěz) spojen se všemi koly a natáčí je do požadovaného úhlu současně.

V případě diferenčního řízení jsou na podvozek osazena dvě nezávisle poháněná kola a změna směru jízdy robota se provádí pomocí rozdílných otáček těchto kol. Třetí kolo (přední nebo zadní) slouží pouze jako opěrné a je umístěné na ostruze.

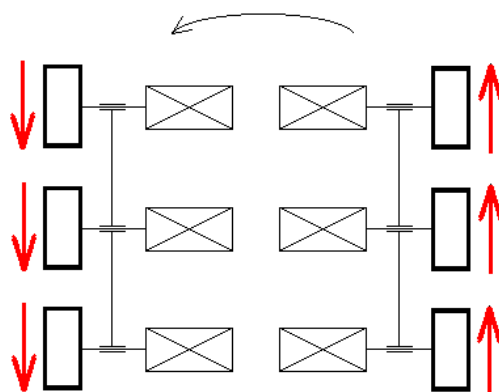
Ackermanův způsob řízení se používá např. u automobilů. Robot využívá dvě závisle otočná kola (závislost je způsobena lichoběžníkovým spřažením mezi nimi). Krouticí moment je na kola nejčastěji přiváděn z jednoho pohonu a rozdělován pomocí diferenciálu. Natáčení kol je řešeno tak, že se osy rotace protínají ve středu otáčení robota.

2.4 Šestikolové roboty

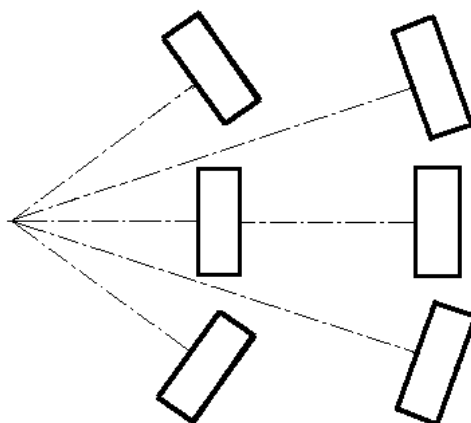
Šestikolové roboty jsou vhodné do venkovního prostředí, kde dokáží překonávat značné nerovnosti povrchu. Mohou se pohybovat po šterkovém podloží s kameny, překonávat obrubníky a menší příkopy, potoky a rozbahněný terén, byly také využity při průzkumu cizích planet.

Ve vnitřním prostředí se šestikolové roboty používají v aplikacích vyžadujících dobrou stabilitu - převoz nebezpečných látek a zařízení, transport pacientů, přeprava vzorků a podobně.

Pro řízení šestikolového podvozku se používají metody odvozené z řízení robotů tří a čtyřkolových – řízení smykem nebo Ackermanův způsob řízení pro vícekolové roboty.



Obr. 5 Řízení smykem⁽⁴⁾



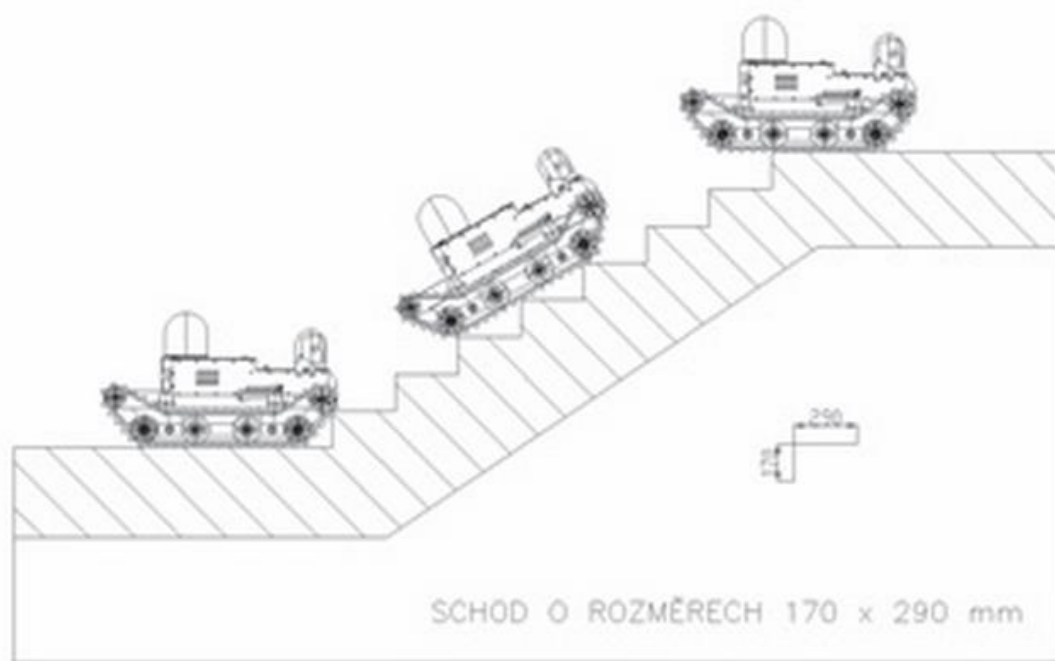
Obr. 6 Ackermanův způsob⁽⁴⁾

2.5 Pásové roboty

Pásové roboty bývají převážně využívány ve venkovním prostředí, jako podvozky buldozerů, vojenských nosičů a podobných zařízení.

Ve vnitřním prostředí se využívají hlavně kvůli dobré stabilitě a schopnosti zdolávat schodiště.

Řízení je obdobné jako u diferenciálního podvozku, využívá řízení smykem.



Obr. 7 Pásový robot Ares při zdolávání schodů⁽¹⁾

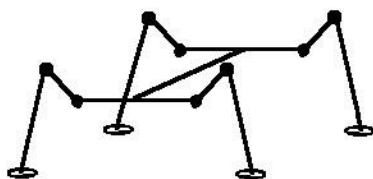
2.6 Krácející roboty

Dvounohé roboty nejčastěji při pohybu napodobují člověka. Jejich výhodou je dobrá schopnost zdolávat schodiště a relativně vysoké překážky. Dnešní moderní humanoidní roboty mají dostatečně dobrou manévrovatelnost a stabilitu, např. japonský Asimo⁽²⁾ případně americký Atlas⁽³⁾.

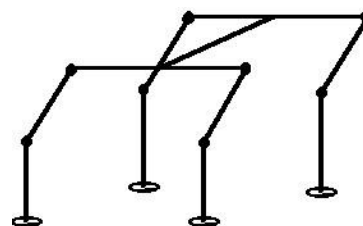
Čtyřnohé roboty se začínají využívat pro dobrou prostupnost terénem, např. robot BigDog testovaný americkou armádou jako nosič zásob a vybavení.

Šestinohé roboty se využívají ve velmi členitém terénu, kde není možné využít pásové nebo kolové podvozky.

Tvar a kloubové vybavení nohou je možné řešit několika způsoby, nejčastěji využívané jsou dva, která si za vzor berou způsob pohybu vyskytující se v živočišné říši.



Obr. 8 Konstrukce hmyz⁽⁴⁾



Obr. 9 Konstrukce savec⁽⁴⁾

3 ROZBOR ZADÁNÍ A VOLBA KONCEPCE

3.1 Pásový podvozek

Pro pásový podvozek jsem se rozhodl z důvodu jeho jednoduché ovladatelnosti, výborné stability a poměrně jednoduché konstrukce. Jeho ovládání je obdobné jako u diferenciálního podvozku a umožňuje i otáčení na místě.

3.2 Řídící systém a snímače

Řídící systém se bude skládat ze snímačů překážek a podložky, hlavní řídicí jednotky a potřebných obvodů pro řízení motorů. Hlavním cílem řídicího systému bude plynulé vyhnutí překážce nacházející se ve směru jízdy, a při detekci konce podložky zastavení, couvnutí a pootočení zpět na podložku.

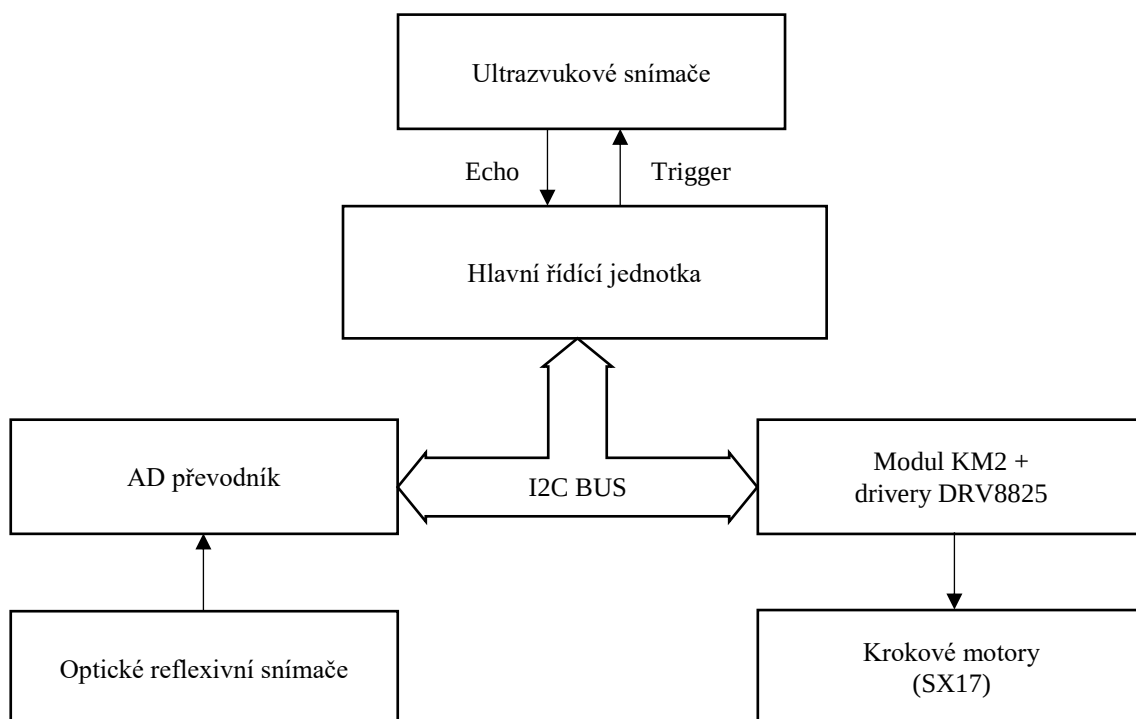
U snímačů lze volit ze dvou principů měření, první skupinou jsou snímače pracující na principu měření doby letu měřicího signálu tzv. TOF snímače. Dalším typem jsou snímače pracující s reflexivitou snímaného materiálu, u nich je funkce postavena na měření intenzity světla odraženého od překážky.

Skupina snímačů TOF je díky svému principu vhodnější pro měření středních až delších vzdáleností, v této kategorii jsou jak snímače pracující s ultrazvukem, tak snímače na principu odrazu laserového paprsku. Ultrazvukové snímače mají výhodu nižší ceny a nejsou závislé na barvě a světelné odrazivosti materiálu, naopak mají problém s detekováním pórovitých materiálů. Laserové snímače mají vyšší přesnost měření, avšak mnohem vyšší cenu a jsou závislé na odrazivosti materiálu. Pro spolehlivé pokrytí přední části robotu tedy budou potřeba alespoň tři snímače. Díky svým předchozím zkušenostem s ultrazvukovými snímači jsem se pro detekci překážek před robotem rozhodl právě pro ně.

Skupina reflexivních snímačů je díky svému principu vhodná pro měření krátkých vzdáleností, jelikož je v tomto případě potřeba rozhodovat mezi

přítomností a nepřítomností podložky, která se nachází v malé vzdálenosti od podvozku, jsou tyto snímače podle mě vhodným řešením. Pro spolehlivou kontrolu podložky bude zapotřebí mít snímač umístěn v každém rohu podvozku, aby se zamezilo pádu i při jízdě pod jiným než pravým úhlem k hraně podložky. Dále bych chtěl využít alespoň dva další snímače na možnou detekci čáry, nejvhodnější tedy bude použít stejný typ pro obě aplikace.

Pro pohon pásového podvozku je nutné použití buď dvou samostatných motorů nebo jednoho s vhodnou převodovkou. Z důvodu jednoduššího řešení jsem se rozhodl pro použití dvou motorů. Volil jsem mezi DC motory s převodovkou a krokovými motory, obě řešení jsem už v minulosti použil a lepších výsledků jsem dosáhl s krokovými motory a proto jsem je použil i tentokrát. Pro řízení motorů jsem se tedy rozhodl využít modul KM2 z fakultního robota KamBot, osazená drivery DRV8825. Pro pohon jsem zvolil krokové motory SX17. Toto řešení jsem zvolil hlavně kvůli dobré funkčnosti a odladění celého systému řízení motorů. U krokových motorů je využito mikrokrokování, z důvodu potřeby plynulého rozjezdu, bez tohoto opatření by při vyšší zátěži mohlo docházet ke strátě kroků.



Obr. 10 Blokové schéma řídicího systému

3.3 Hlavní řídicí jednotka

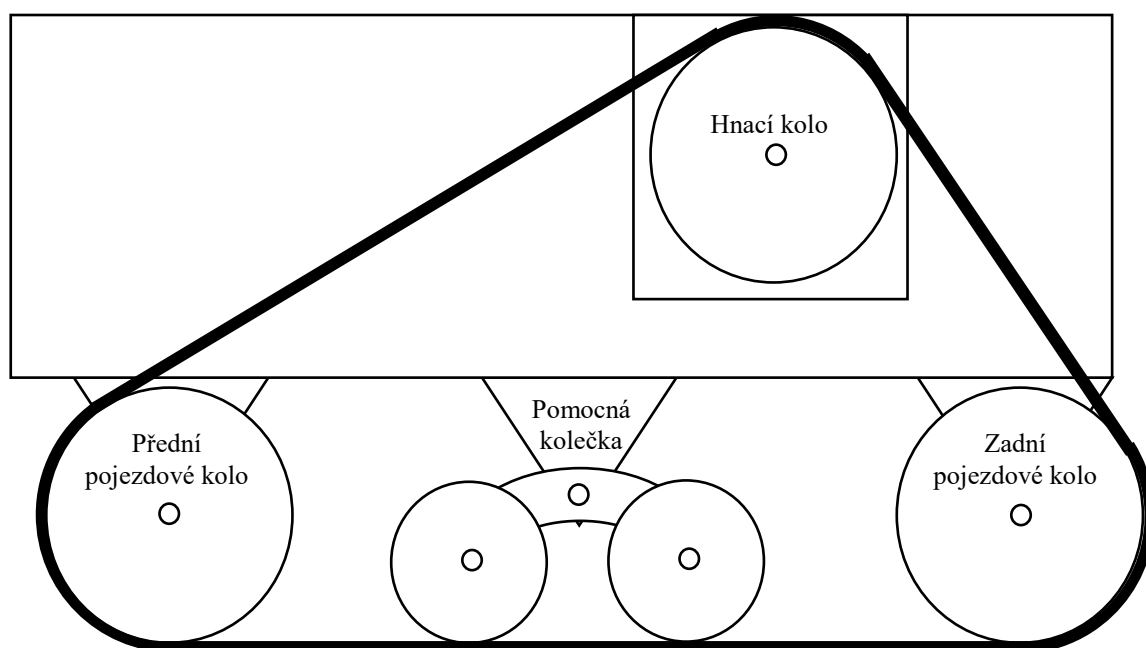
Jako řídicí jednotku bylo nutné zvolit takové řešení, které by umožnilo komunikaci přes I2C sběrnici a mělo minimálně šestnáct GPIO pinů pro připojení ostatních periférií. Protože jsem se rozhodl pro použití šesti analogových snímačů, bylo nutné zohlednit také dostatek AD převodníků pro jejich připojení. Na návrh vlastní desky s mikrokontrolerem jsem si netroufl a tak jsem se rozhodl zvolit některou z velkého množství již hotových vývojových desek. Z předchutích projektů jsem měl zkušenosti s rodinou 8-bitových mikrokontrolerů ATmega a jednodeskovým minipočítačem Raspberry Pi. Ani jedno řešení však nemělo dostatek AD převodníků, takže jsem byl nucen přejít na externí AD převodník připojitelný přes I2C sběrnici. Při volbě jsem nakonec zohlednil i konektivitu s modulem KM2 pro řízení motorů a skutečnost, že jedno Raspberry Pi jsem měl doma, tím pádem se snížily pořizovací náklady celého systému. Pro řídicí systém jsem tedy zvolil jednodeskový minipočítač Raspberry Pi 2 a zpracoval návrh potřebných přizpůsobovacích obvodů pro čidla.

4 MECHANICKÁ KONSTRUKCE ROBOTU

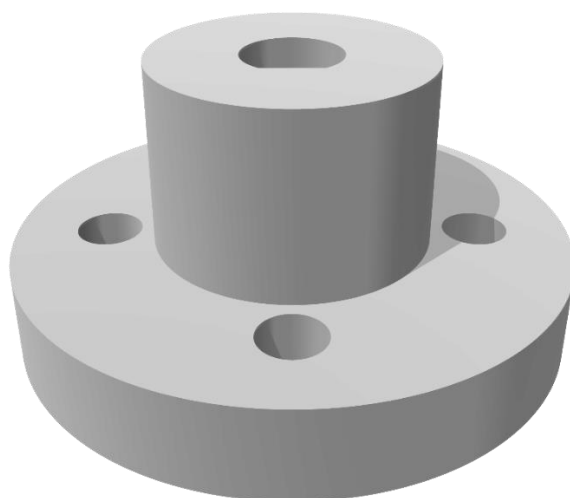
Celá konstrukce robotu je řešena pomocí kovových dílů stavebnice Merkur. Toto řešení bylo zvoleno z důvodu snadné realizace jakéhokoli tvaru podvozku, jeho mechanické odolnosti a modularity. Pro pohon jsou využity standartní gumové pásy, které jsou součástí stavebnice Merkur.

Podvozek má bez započítaných pásů šířku 11 cm, délku 17 cm a výšku 13 cm. Pásky jsou široké 2.5 cm a celková šířka robotu je tedy 16 cm.

Každá ze stran podvozku je složena ze dvou hlavních pojezdových kol, dvou pomocných napínacích a jednoho hnacího kola (Obr. 11). Pro přenesení výkonu z motorů na hnací kolo pásového podvozku je využit unašeč (Obr. 12) vytvořený 3D tiskem podle návrhu Tadeáše Diváckého.

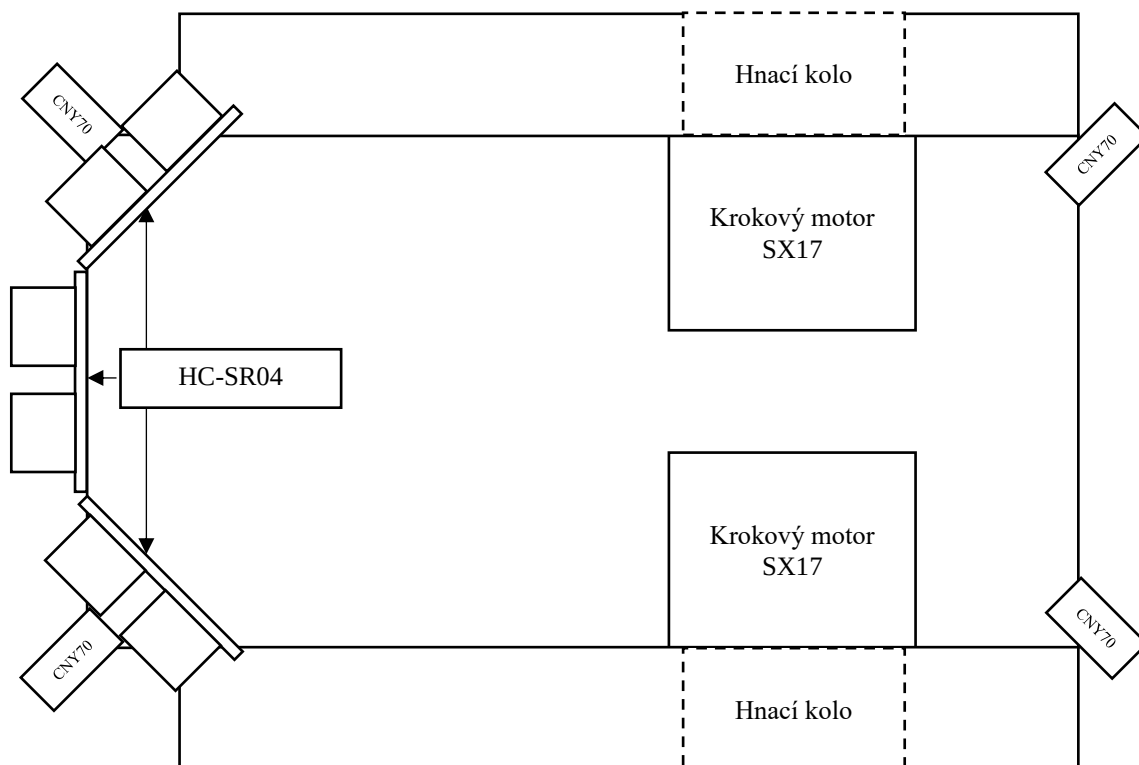


Obr. 11 Pohled na boční rozložení podvozku



Obr. 12 Motorový unašeč, 3D vizualizace

Motory jsou umístěny v zadní části podvozku přímo za hnacími koly, není využita žádná dodatečná převodovka. V přední části korby jsou uchyceny ultrazvukové senzory HC-SR04. Ze spodní strany v rozích podvozku jsou optočleny CNY70 sloužící ke kontrole podložky.



Obr. 13 Honí pohled na rozložení podvozku

5 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ ŘÍDÍCIHO SYSTÉMU

ROBOTA

5.1 Raspberry Pi 2

Jako hlavní řídicí jednotka je využit malý jednodeskový počítač Raspberry Pi 2 Model B v1.1⁽¹⁴⁾ z roku 2015, ten je nástupcem původního Raspberry Pi vyvinutého v roce 2012 britskou nadací Raspberry Pi Foundation.

Základem počítače je SoC BCM2836 z rodiny ARM Cortex-A7 od firmy Broadcom, jenž obsahuje čtyři procesorová jádra s taktem 900 MHz, posílenou jednotkou SIMD a 1 GiB paměti RAM. Osazen je také grafickým procesorem VideoCore IV, podporující OpenGL ES 2.0, 1080p30, MPEG-4. Obdobně jako jeho předchůdci obsahuje slot pro microSD kartu, ethernetový adaptér 10/100 Mbps s konektorem RJ-45, čtyři porty USB 2.0, a vývody GPIO. Dále poskytuje patnácti pinový CSI konektor pro kameru a výstupy pro připojení obrazovky, což jsou HDMI (rev 1.3), kompozitní video (3,5mm jack TRRS) a displej rozhraní Mipi (DSI). Napájení je řešeno buďto přes micro-USB nebo přes napájecí GPIO piny na desce. Počítač je zpětně kompatibilní s původním Raspberry Pi.

Přes sběrnici I2C je k Raspberry Pi připojen modul KM2 a AD převodník, toto řešení bylo zvoleno pro jednoduchou komunikaci mezi více zařízeními, avšak nevýhodou tohoto řešení je, že Raspberry Pi nepodporuje ClockStretching a z toho důvodu musí být rychlost sběrnice omezena na maximálně 32kHz, aby se předešlo poškození odesílaných dat a následnému zahlcení sběrnice. Na GPIO piny je připojen dálkový ovladač Merkur RC1 a ultrazvukové senzory HC-SR04.

Na Raspberry Pi je nainstalována linuxová distribuce Raspbian Jessie Lite. Toto řešení obsahuje pouze textové rozhraní, komunikace s počítačem probíhá přes SSH protokol pomocí softwaru PuTTY.

5.2 Pohon

Pohon robotu je realizován pomocí dvou krokových motorů SX17 ovládaných modulem KM2 s připojenými driverými DRV8825.

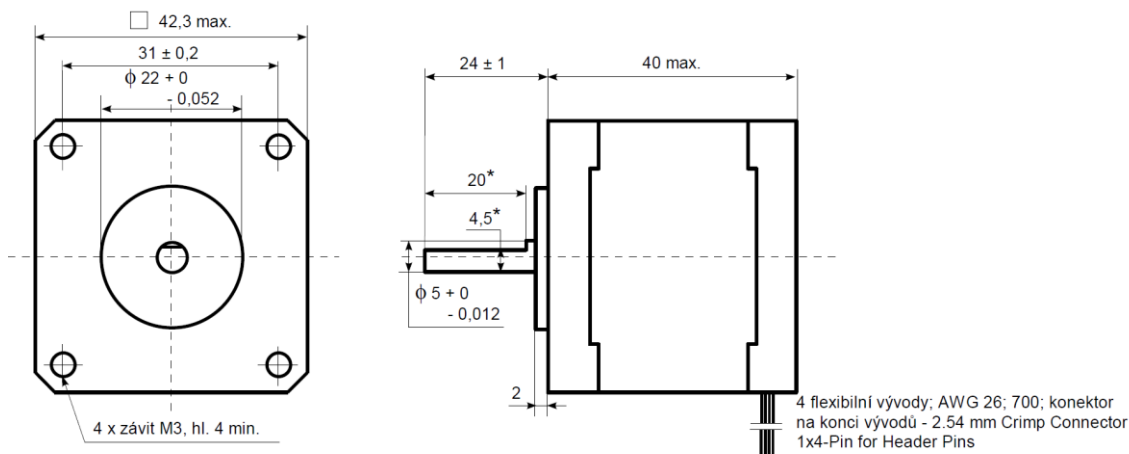
5.2.1 Modul KM2

Modul KM2 slouží k propojení motorových driverů a motorů, obsahuje mikrokontroler ATmega8, který řídí drivery a zajišťuje komunikaci s Raspberry Pi přes sběrnici I2C. Přes modul KM2 je dále připojena baterie a z něj je napojeno napájení do DCDC měniče.

Modul byl navržen na Ústavu automatizace a měřicí techniky a použitý firmware a podklady jsou umístěny v GITovém repositáři⁽⁷⁾.

5.2.2 Motory SX17

Pro pohon robotu jsou využity krokové motory SX17-1005QCEF, které jsou řízeny pomocí driveru DRV8825. Byly zvoleny pro dostatečný výkon a jednoduché ovládání přes modul KM2.



Obr. 14 Technický náčrtek motorů SX17⁽¹⁸⁾

5.2.3 Drivery DRV8825

Pro řízení krokových motorů jsou využity dva drivery DRV8825. Základem driveru jsou dva H-můstky. Drivery také umožňují mikro krokování – 32mikrokroků na krok. Ovládány jsou pomocí modulu KM2. Maximální proud do motoru je na nich nastavován odporovým trimrem.

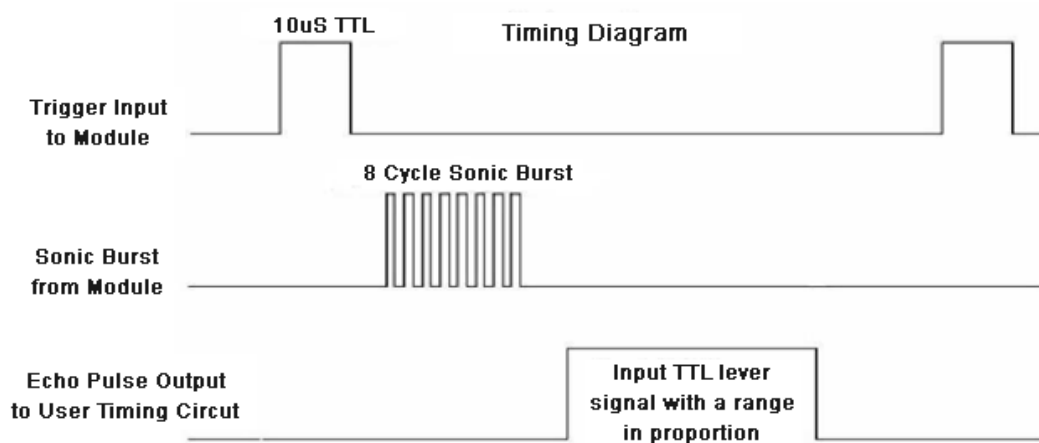
5.3 Senzory

Robot využívá dva typy senzorů, ultrazvukové senzory HC-SR04 ⁽¹³⁾ pro detekci překážek a optočleny CNY70 ⁽¹¹⁾ pro kontrolu podložky, napojené na desetibitový AD převodník AD7997 ⁽¹²⁾.

5.3.1 Ultrazvukové senzory HC-SR04

Ultrazvukové senzory HC-SR04 jsou využity pro kontrolu překážek nacházejících se před robotem a v této konstrukci jsou použity tři. Tyto senzory jsou schopny změřit vzdálenost od 2 do 400 cm s přesností až 3 mm. Moduly obsahují vysílač, přijímač a řídicí elektroniku. Komunikace probíhá přes piny Trigger a Echo, dále moduly obsahují pin pro napájení 5V a pin GND.

Měření vzdálenosti začíná přivedením vysokoúrovňového signálu na pin Trigger po dobu 10 μ s. Poté modul automaticky vyšle modulovaný 40kHz impulz a čeká na odraz. Pokud se signál vrátí, je výstupní pin Echo nastaven na vysokou úroveň, doba vysoké úrovně odpovídá době od odeslání signálu do jeho návratu.



Obr. 15 Časové průběhy ultrazvukového snímače HC-SR04⁽¹³⁾

Na robotu jsou použity tři ultrazvukové snímače, středový směřuje přímo před robota a boční jsou vůči němu umístěny pod úhlem 45°, toto rozmístění snižuje vliv špatných odrazů od objektů, jež jsou umístěny pod jiným než pravým úhlem vůči bokům nebo předku robotu.

Návrh přizpůsobovacích obvodů pro HC-SR04

Pro připojení ultrazvukových snímačů jsou použity tři napěťové děliče, a to z důvodu maximálního povoleného napětí 3,3V na vstupních GPIO pinech Raspberry Pi. Hodnoty odporů byly zvoleny podle návodu na adrese (20) a to $R_1=330\Omega$ a $R_2=470\Omega$, výstupní napětí ultrazvuku může být maximálně $U_{ECHO3,3V} \cong 3,3V$, normální výstup ultrazvuku je $U_{ECHO} \cong 5V$

$$I = \frac{U_{ECHO}}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

$$I = \frac{5}{330 + 470} = 6,25mA$$

$$R_2 = \frac{U_{ECHO3,3V}}{I} \quad (3)$$

$$R_2 = \frac{3,3}{0,00625} = 528\Omega$$

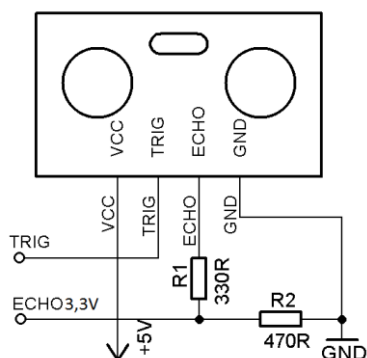
Nejbližší nižší hodnotou odporu v řadě E24 je právě 470 Ω , tu volím z důvodu, aby napětí $U_{ECHO3,3V}$ nepřekročilo 3,3V.

$$800\Omega = R_1 + 470 \Rightarrow R_1 = 330\Omega$$

$$U_{ECHO3,3V} = R_2 \cdot I \quad (4)$$

$$U_{ECHO3,3V} = 470 \cdot 0,00625 = 2,9V$$

Maximální výstupní napětí ultrazvukových senzorů tedy se zvolenými odpory bude $U_{ECHO3,3V} = 2,9V$.



Obr. 16 Schéma zapojení odporového děliče na výstupu HC-SR04

5.3.2 Optočlen CNY 70

Optočleny CNY70 jsou kompaktní řešení obsahující zdroj i detektor IR záření. Detekce objektů je realizována na základě jejich odrazivosti IR záření, z čehož vyplývají problémy s citlivostí na černé a matné materiály. Detektor je řešen pomocí fototranzistoru a je citlivý na záření o vlnové délce 950nm.

Optočleny CNY70 jsou využity ke kontrole přítomnosti podložky pod robotem a k možnosti sledování čáry. Pro detekci podložky jsou čtyři senzory umístěny v rozích podvozku a dva uprostřed přední části robotu, tyto dva senzory je možné využít pro jednoduché sledování kontrastní čáry.

Senzory jsou osazeny ve vlastních deskách s odpory, které mají dvojí funkci, a to ochranu IR diody a nastavení maximálního výstupního proudu fototranzistoru.

Návrh přizpůsobovacích obvodů pro optočleny CNY70

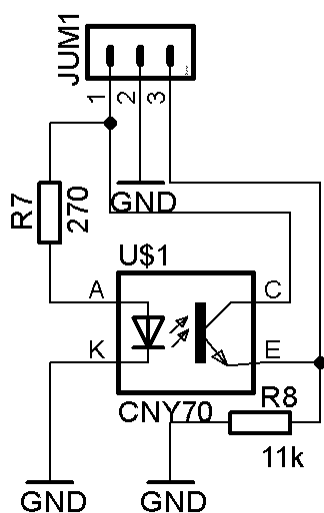
Modul optočlenů CNY70 je napájen referenčním napětím AD převodníku, a to 3,3V, z toho důvodu bylo nutné zvolit ochranný odpor před IR diodou optočlenu. Maximální proud diodou jsem zvolil 10mA, což podle datasheetu⁽¹¹⁾ odpovídá zhruba 0,3mA na emitoru fototranzistoru.

$$R_7 = \frac{U_{R7}}{I_D} \quad (1)$$

$$R_7 = \frac{2,7}{0,01} = 270\Omega$$

Dále byl volen odpor na emitoru fototranzistoru, na němž se měří napětí AD převodníkem. Maximální vstupní napětí AD převodníku je podle datasheetu⁽¹²⁾ 3,3V a výstupní proud emitorem vychází zhruba 0,3mA, proto jsem zvolil odpor 11kΩ.

$$R_8 = \frac{U_{R8}}{I_E} = \frac{3,3}{0,0003} = 11k\Omega$$



Obr. 17 Schéma zapojení modulu CNY70

5.3.3 AD převodník AD7997

Pro kontrolu optočlenů CNY70 je použit desetibitový AD převodník AD7997. Převodník je vybaven osmi vstupy, výstupem referenčního napětí 3,3V a třemi piny pro GND. Do převodníku je připojeno 6 modulů s optočleny CNY70.

Komunikace s Raspberry Pi je řešena přes I2C sběrnici. AD převodník je osazen na jednoduché desce a s ní zasunut do rozvodné desky robotu (5.5).

5.4 Dálkový ovladač Merkur RC1

Na robotu je použit dálkový ovladač od firmy MERKUR. Dálkový ovladač má čtyři směrová tlačítka a čtyři tlačítka pro další funkce. Vysílač i přijímač umožňuje volbu jedné ze čtyř vysílacích frekvencí.

Celý systém spolu komunikuje přes radiový signál na frekvenci 433MHz až 434MHz. V dálkovém ovládání je použit vysílač TX-SAW 433⁽¹⁶⁾ od firmy Aurel společně s enkodérem Holtek TH12E⁽¹⁷⁾ a v přijímací části na robotu je použit přijímač s čipem MICRF211⁽¹⁵⁾ od firmy Micrel a nespecifikovaný dekodér zajišťující převod na čtyřpinový TTL výstup, přes který probíhá komunikace s Raspberry Pi. Jednotlivá tlačítka DO jsou zastoupena binární kombinací pinů podle Tab. 1.

Tlačítko DO		Výstup	Mnou použité funkce
F (Forwad)		0111	Jízda dopředu
B (Backward)		1011	Jízda dozadu
L (Left)		1110	Točení na místě vlevo
R (Right)		1101	Točení na místě vpravo
1 (Fnc 1)		1010	Inicializace CNY pro podložku
2 (Fnc 2)		1100	Inicializace CNY pro čáru
3 (Fnc 3)		1001	Změna režimu jízdy
4 (Fnc 4)		0011	Nevyužito

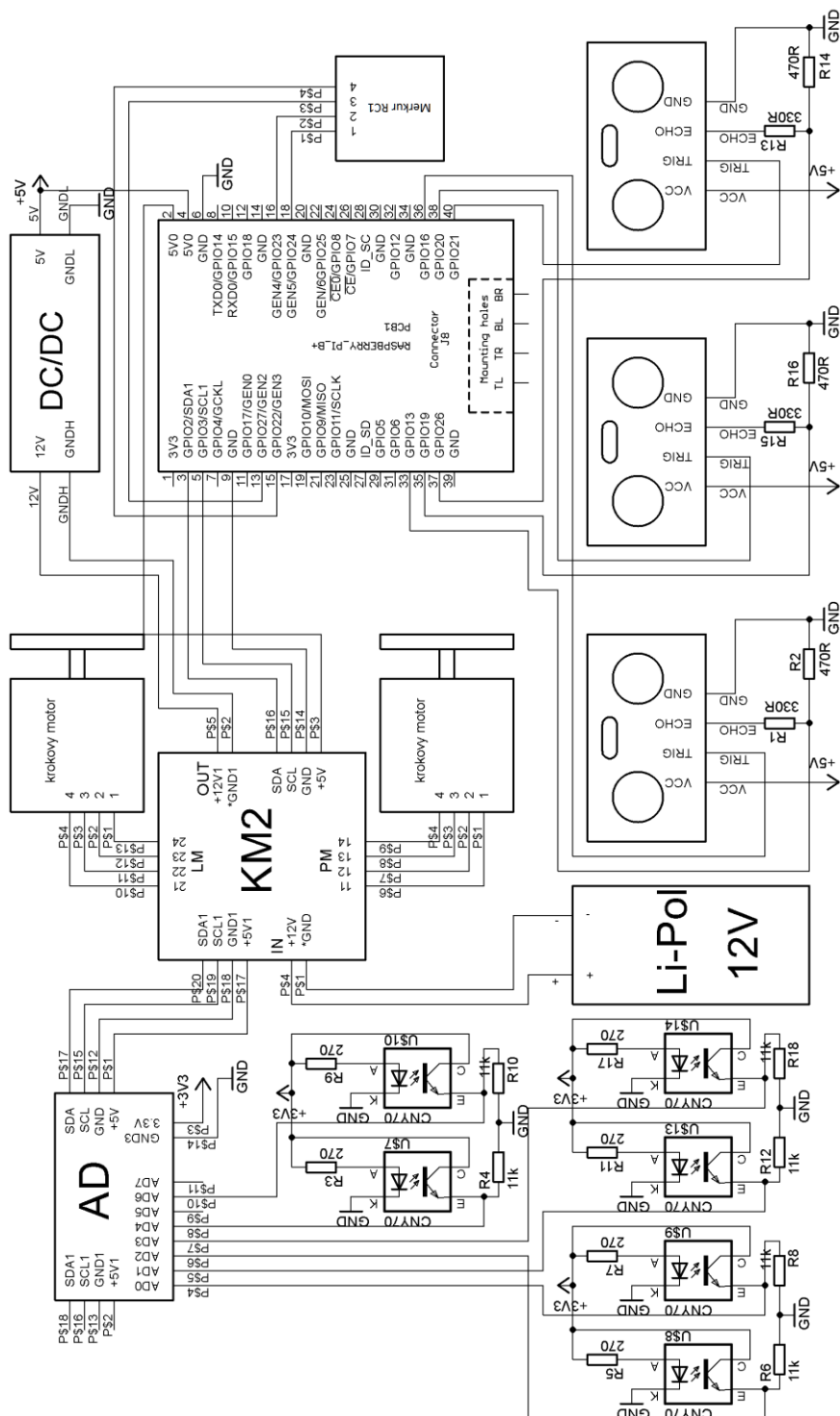
Tab. 1 Výstup dálkového ovladače RC1

5.5 Rozvodná deska

Na robotu je využita rozvodná deska, kterou se mnou v rámci jiného projektu navrhl Tadeáš Divácký. Na této desce se nachází tři víceméně samostatné části. První z nich je pozice pro připojení miniaturního vysokofrekvenčního DCDC měnič s čipem LM2596⁽¹⁰⁾, který zajišťuje napájení Raspberry Pi a ultrazvukových senzorů, společně s filtračními kondenzátory. Další je sekce pro připojení AD převodníku a optočlenů CNY70. Poslední sekcí jsou odporové děliče pro ultrazvukové snímače HC-SR04.

V sekci DCDC měniče byly použity stínící kondenzátory, a to elektrolytický kondenzátor C1 s kapacitou 330 μ F a dodatečně smd kondenzátor 100nF, který je umístěný na spodní straně desky ve stejném místě jako elektrolyt, a to z důvodu překmitů napětí při odpojení zátěže od vysokofrekvenčního DCDC měniče.

5.6 Připojení periferií k jednodeskovému počítači Raspberry Pi 2



Obr. 18 Schéma zapojení periferií do Raspberry Pi

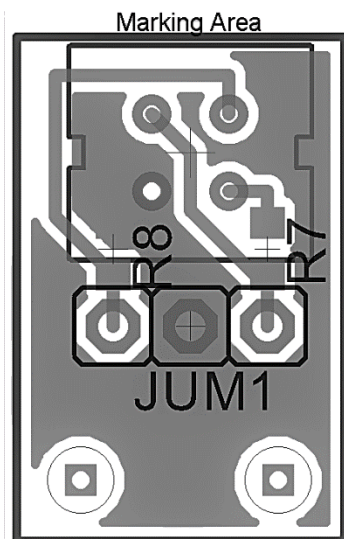
6 NÁVRH DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

Pro tvorbu desek plošných spojů byl použit návrhový systém Eagle verze 6.6.0. Desky jsou vyrobeny pouze jednovrstvé, což je ovšem v tomto případě dostačující. U obou desek je proudové zatížení minimální, proto byla u rozvodné desky zvolena šíře spojů 0,032 palce a u desky pro optočleny šíře 0,016 palce, a to z důvodu co nejmenších rozměrů modulu.

Pro osazení jsem se rozhodl použít SMD součástky, protože jsem chtěl docílit co nejmenších rozměrů desek, jedinou výjimkou jsou filtrační elektrolytické kondenzátory, které jsou normálního typu.

6.1 Deska pro optočlen CNY70

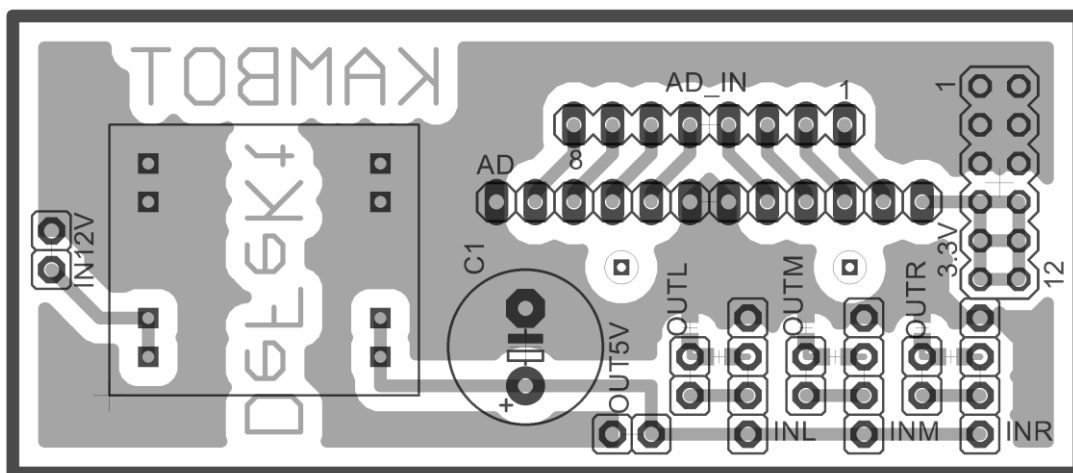
Výsledná jednovrstvá deska má rozměry 1,2x1,8 cm a v zadní části jsou dva montážní otvory pro uchycení k robotu pomocí šroubů M2. Optočlen je natočen částí s fototranzistorem směrem dopředu, aby byla zajištěna co nejrychlejší odezva.



Obr. 19 Deska plošných spojů modulu CNY70

6.2 Rozvodná deska robotu

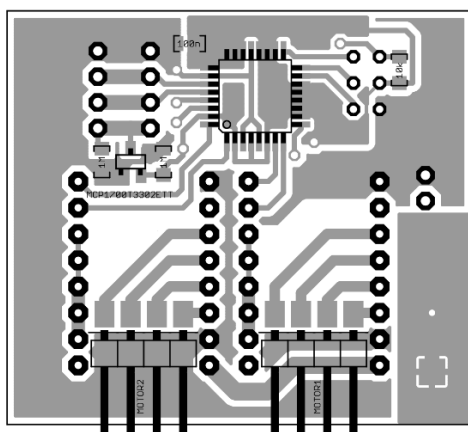
Rozvodná deska je jednovrstvá, má výsledné rozměry 7x3,3 cm a pro uchycení jsou použity dva montážní otvory pro šrouby M3. Pro připojení AD převodníku a DCDC měniče jsou použity dutinkové lišty, pro připojení ostatních kabelů kolíkové lišty.



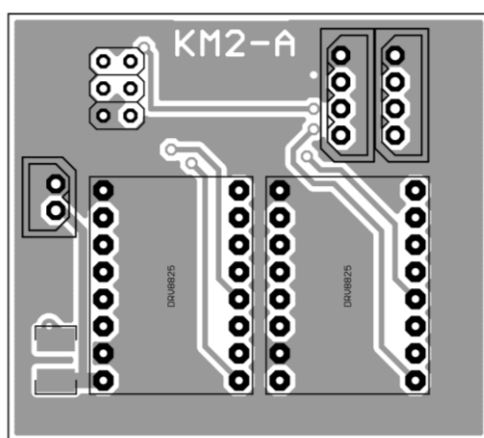
Obr. 20 Rozvodná deska robotu, strana mědi

6.3 Deska modulu KM2

Návrh plošného spoje byl použit z fakultního robotu KamBot, který byl vytvořen na Ústavu automatizace a měřicí techniky, podklady jsou umístěny v GITovém repositáři⁽⁷⁾.



Obr. 21 Rozložení modulu KM2 strana mikrokontroleru⁽⁸⁾



Obr. 22 Rozložení modulu KM2 strana driveru⁽⁸⁾

7 SOFTWARE

7.1 Programovací prostředí

Program pro Raspberry Pi je psán v jazyce C v programovacím prostředí NetBeans. Tento software má velmi jednoduché a logické ovládání a umožňuje kompilaci projektů přímo na Raspberry Pi.

Pro připojení k Raspberry Pi se postupuje následovně, v okně programu NetBeans přejdeme do záložky *window/services*, poté v levé části okna v sekci *services*, klikneme pravým tlačítkem na *C/C++ build hosts / add new host* a přidáme IP adresu našeho Raspberry Pi, login a heslo.

7.2 Požadavky na software robotu

Hlavním cílem programu pro model pásového robotu je ochrana modelu před pádem z podložky a před najetím do překážky, nacházející se ve směru jízdy. Tyto funkce budou mít maximální rozhodovací prioritu nad ostatními funkcemi programu.

Koncepce programu bude řešena jako soubor několika modulů, které zajistí dílčí úkony pro hlavní řídicí část, tyto moduly se budou skládat ze skupiny pro obsluhu snímačů, modulu pro komunikaci s periferiemi na I2C sběrnici a dalších podpůrných částí.

Důležitým parametrem programu je rychlost zpracování dat ze snímačů a co nejkratší reakční doba na vyhodnocené události. Toto kritérium bylo jedním z hlavních pro volbu zpracování ve více vláknech.

7.3 Členění programu

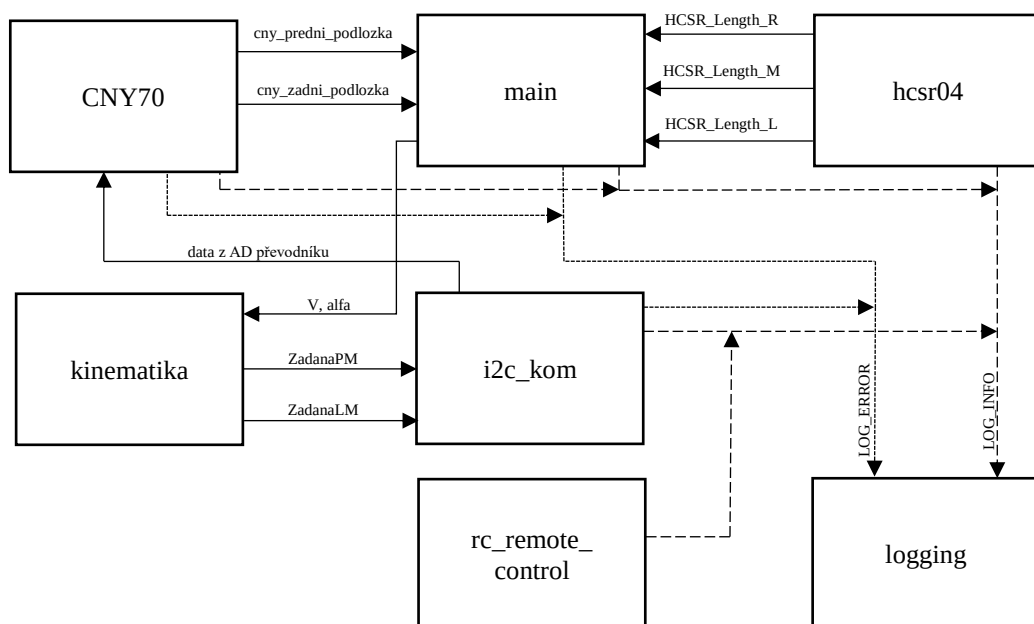
Program robotu je členěn do devíti samostatných modulů, které si mezi sebou předávají data pomocí globálních proměnných.

V programu je dále využito knihovny WiringPi⁽¹⁹⁾ pro spuštění vícevláknové aplikace. Kromě hlavního vlákna v `main` jsou použity další tři vlákna, a to vlákno běžící v modulu `CNY70`, vlákno pracující s ultrazvukovými snímači běžící v modulu `hcsr04` a vlákno obsluhující sběrnici I2C pracující v modulu `i2c_kom`.

Výčet a vlastnosti modulů

- `main` – hlavní modul, obsahuje hlavní vlákno programu
- `CNY70` – získání dat z AD převodníku, základní zpracování získaných dat, inicializační funkce optočlenů, zpracování ve vlastním vlákne
- `i2c_kom` – slučuje komunikaci modulů přes I2C, obsahuje vlastní vlákno
- `hcsr04` – cyklicky získává data z ultrazvukových snímačů a přepočítává je na vzdálenost v cm, obsahuje vlastní vlákno
- `rc_remote_control` – obsahuje funkce pro kontrolu dálkového ovladače RC1
- `kinematika` – obsahuje funkce pro přepočet dopředné rychlosti a úhlu natočení na rychlosti obou motorů.
- `comunication` – zajišťuje vysílání dat z Raspberry Pi přes protokol UDP, aktuálně není aktivně využit, obsahuje vlastní vlákno
- `dalkoveovladani` – obsahuje funkci pro ovládání robotu přes UDP
- `logging` – obsahuje implementaci tří typů logovacích zpráv a to Info, Warning a Error, umožňuje využití UDP komunikace nebo výpisu na konzoli (využito pouze pro konzoli)

Některé moduly jsou využity z předchozího projektu, a proto budou zmíněny jen okrajově. V průběhu této práce byly zpracovány čtyři moduly, a to modul hlavního programu (`main`), modul dálkového ovladače (`rc_remote_control`), modul obsluhující optočleny (`cny70`) a modul pracující s ultrazvukovými senzory (`hcsr04`). V modulech `kinematika`, `i2c_kom`, `logging`, `communication` a dálkové ovládání byli provedeny jen nepatrné úpravy a poslední dva nejsou aktuálně aktivně využity.



Obr. 23 Směry toku dat v proměnných mezi moduly

7.3.1 Modul hlavního programu main

V hlavním vlákne je řešena základní logika vyhnutí překážkám, zpracování dat z kontroly podložky a čtení dat z dálkového ovladače.

Na začátku programu proběhne inicializace WiringPi, následně se spustí jednotlivé při kompilaci zvolené moduly (cny70, i2c_kom, hcsm04,...), poté program přejde do nekonečné smyčky a v ní se cyklicky spouští funkce pro řízení pomocí dálkového ovladače a kontrola běhu vlákna ultrazvuků, z důvodu jeho nahodilého zastavování. V případě, že stokrát po sobě přijdou stejná data z ultrazvukových senzorů, předpokládá se zaseknutí vlákna a je restartováno.

Podprogram ovládání přes dálkový ovladač (funkce `Manual_drive()`) se nachází v modulu `rc_remote_control`. V tomto podprogramu jsou cyklicky kontrolovány kombinace pinů na výstupu dálkového ovladače (Tab. 1) a následně spuštěn některý z požadovaných podprogramů.

Funkce jízdy dopředu

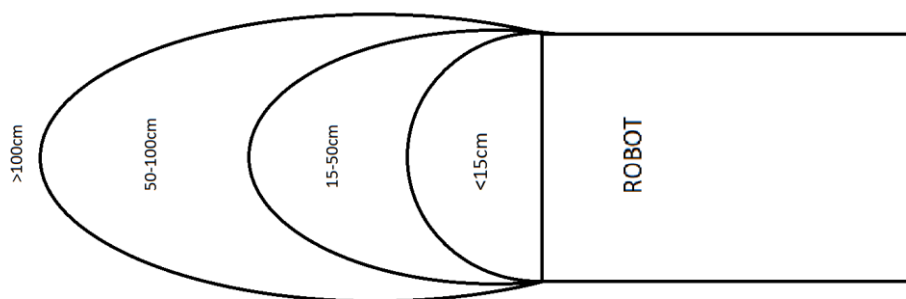
Při spuštění funkce `Jizda_dopredu()` se pomocí switche zkontrolují data z optočlenů CNY70. V případě že robot je na podložce spustí se funkce `Nastaveni_rychlosti()`. V situaci, že robot nezaznamená podložku na levé, respektive pravé straně, spustí se funkce `Jizda_dozaadu()` a poté se robot natočí doprava, respektive doleva. Ve chvíli, kdy podložka není zaznamenána ani na jedné straně spustí se funkce `Jizda_dozaadu()`.

Funkce jízdy dozadu

Při spuštění funkce `Jizda_dozaadu()` se obdobně jako u jízdy dopředu pomocí switche zkontrolují optočleny CNY70. V případě, že není podložka nalezena ani jedním ze senzorů, robot popojede dopředu. V okamžiku zaregistrování podložky na jedné ze stran robot zastaví, pootočí se na opačnou stranu a pokračuje ve vykonávání příkazů z dálkového ovladače. Pokud je podložka nalezena, robot popojede dozadu.

Funkce nastavení rychlosti

Funkce `Nastaveni_rychlosti()` je využívána při jízdě dopředu a kontrolují se v ní ultrazvukové senzory. Protože data z ultrazvukových senzorů jsou převáděna na hodnotu vzdálenosti překážky od snímače [cm], je využito čtyř soustředných oblastí nacházejících se před robotem, ve které z nich se překážka nachází je určeno středovým ultrazvukovým senzorem, a to v intervalech do 15cm, 15-50cm, 50-100cm a nad 100cm. V čím bližším se překážka nachází intervalu, tím pomaleji se robot pohybuje. Průchod mezi jednotlivými intervaly je zajištěn pomocí funkcí `if`. V případě, že je podmínka některého intervalu splněna, se zkontrolují boční ultrazvukové snímače. Pokud snímače zaznamenají překážku, nastaví se požadovaný úhel otočení a poté rychlost. Pokud není bočními senzory zaznamenána žádná překážka, je úhel natočení nulový a nastaví se pouze daná rychlost viz Tab. 2.



Obr. 24 Oblasti detekce HC-SR04

Oblast	Rychlost bez překážky na straně	Boční senzory	Rychlost při překážce na straně	Úhel natočení
<15cm	0.5(dozadu)	<15cm	0	max
15-50cm	0.2	<17cm	0.2	±350
50-100cm	0.4	<20cm	0.4	±100
>100cm	0.6	<25cm	0.6	±90

Tab. 2 Rychlosti a úhly podle detekčních oblastí

Funkce manuálního otáčení

Ve funkci `Toceni(uint8_t smer)` se nastaví dopředná rychlost na nulu a úhel otočení ± 180 podle směru otáčení doleva nebo doprava, následně se spustí výpočet rychlostí pro jednotlivé motory. Tato funkce je využita pro točení na místě při řízení dálkovým ovladačem.

Funkce zastavení

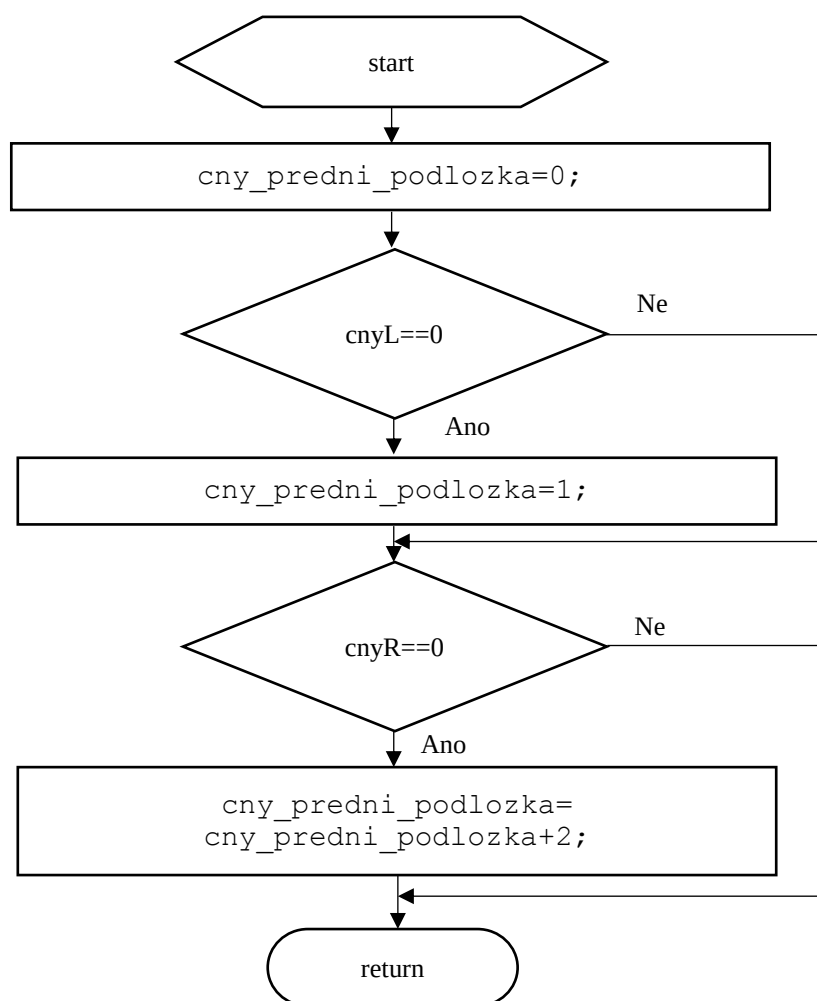
Ve funkci `Halt()` se nastaví dopředná rychlost i úhel na nulu a spustí výpočet rychlostí pro motory.

7.3.2 Modul optočlenů CNY70

Tento modul obsahuje vlákno, které cyklicky kontroluje vstupy AD převodníku, na nichž jsou připojeny optočleny CNY70. Dále provádí vyhodnocení spodních senzorů v rozích robotu. Nakonec obsahuje funkci pro inicializaci optočlenů, ta slouží k nastavení referenční hodnoty podložky a volného prostoru, je modifikací inicializační funkce pro kontrolu čáry, na niž jsou extra vyčleněny dva ze čtyř předních senzorů, sledování čáry však není aktuálně implementováno. Původní inicializační funkce je využita z jiného projektu, na kterém jsem spolupracoval s Lukášem Kratochvílem.

Kontrola spodních senzorů

Při vstupu do funkce `cny_predni_podlozka_kontrola()` se vynuluje hodnota proměnné `cny_predni_podlozka` a poté se pomocí funkcí `if` prověří hodnoty v proměnných jednotlivých senzorů. Kontroluje se nejdříve levý senzor, pokud pod ním podložka není, nastaví se proměnná `cny_predni_podlozka` na hodnotu 1, a pokračuje se s kontrolou pravého senzoru. V případě, že se pod levým senzorem podložka nachází, zůstává hodnota proměnné na nule. Při kontrole pravého snímače je postup obdobný, ale v případě, že podložka není nalezena, do proměnné `cny_predni_podlozka` se přičte číslo 2. Výsledná hodnota se tedy pohybuje v rozmezí od 0 do 3. U zadních senzorů je postup totožný.



Obr. 25 Vývojový diagram kontroly spodních senzorů

Inicializace optočlenů

Inicializace se spouští stiskem funkční klávesy na DO Merkur RC1, a vyžaduje komunikaci s počítačem pomocí konzole.

Při spuštění funkce se na konzoli vypíše informační text a čeká se na klávesu Enter, po stisku se stokrát načte hodnota z optočlenů mimo podložku, poté získá průměr a zjištěné hodnoty se vypíší na konzoli. Následně se opět čeká na klávesu Enter a proces probíhá znovu tentokrát pro hodnoty optočlenů na podložce. Na závěr se celý proces potvrdí opětovným stiskem klávesy Enter.

7.3.3 Modul dálkového ovladače

Obsahuje hlavní funkci `Manual_drive()`, v této funkci se po spuštění vykoná funkce `Halt()` a následně se kontrolují binární kombinace na výstupu z přijímače dálkového ovladače. V případě, že je některá z podmínek splněna se počká 10ms, a kombinace se kontroluje ještě jednou, aby se předešlo nechtěným stisknutím. Pokud je podmínka stále splněna, vykoná se funkce v ní volaná a proces se může opakovat.

V případě že není ani jedna z podmínek splněna, vždy se zavolá funkce `Halt()`.

V případě přepnutí do automatického režimu se kontroluje pouze kombinace výstupů dálkového ovladače použitá pro jeho ukončení. Pokud podmínka není splněna, je volána funkce `Jizda_dopredu()` a volání funkce se může opakovat. V případě ukončení automatického režimu se opětovně prochází hlavní funkcí `Manual_drive()`.

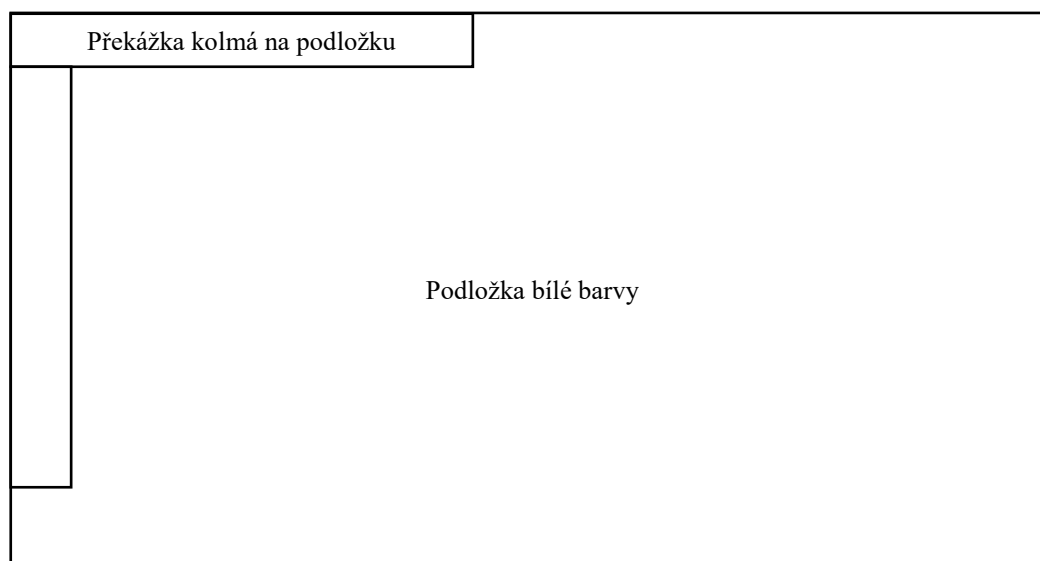
7.3.4 Modul ultrazvukových snímačů

Modul `hcsr04` je využíván jako již hotový prvek, napsaný ve spolupráci s Tadeášem Diváckým v rámci podobného projektu. Tento modul v samostatném vlákně cyklicky kontroluje hodnoty ultrazvukových snímačů HC-SR04 a do proměnných ukládá naměřená data v centimetrech, ta jsou dále využívána v hlavním programu.

8 TESTOVÁNÍ ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU

Testování probíhalo v ideálních podmínkách. Podložka, po které se robot pohybuje, je bílé barvy pro vysokou reflexivitu, překážky jsou kolmé k podložce, pevné, hladké a jsou uspořádány ve tvaru L v jednom z rohů podložky.

Během testování byl robot řízen pomocí dálkového ovladače.



Obr. 26 Schematické rozložení testovací plochy

Nejprve proběhl test ochrany proti pádu z podložky, v případě že robot najel kolmo mimo podložku podařilo se systému zareagovat a s robotem couvnout zpět na podložku, problémy nastaly při vyšší rychlosti pohybu, kdy robot sjel z podložky natolik, že se mírně naklonil mimo podložku a snímače v zadní části se od podložky oddálili, tuto skutečnost řídicí systém vyhodnotil jako sjetí z podložky na obou stranách a zastavil jakýkoli pohyb. Stejný problém se opakoval i u najetí pod jiným než pravým úhlem, robot nestíhal zareagovat a následovalo naklonění podvozku a zastavení činnosti. Jako protiopatření by mohlo být použito posunutí snímačů více do prostoru před a za podvozek robotu.

Při testu ultrazvukových snímačů překážek bylo dosaženo předpokládaných výsledků, robotu se po odladění dařilo vyhnoutí překážce, a to při najetí pod jakýmkoli úhlem. V průběhu testování ale musely být sníženy maximální dopředné rychlosti pro vzdálenosti pod 0,5m, na hodnoty uvedené v Tab. 2, neboť robot v této vzdálenosti při vyšších rychlostech nestíhal zareagovat a narážel do překážky. Po úpravě rychlostí už systém fungoval bez problémů.

Během testování se však objevily problémy s nekonzistentními výsledky optočlenů CNY70, použitý AD převodník vykazoval značné výkyvy v měřených hodnotách, docházelo i k vzájemnému ovlivňování vstupů AD. Možným řešením by byla eliminace měření analogových hodnot pomocí AD převodníku a úprava desek pro optočleny CNY70, aby na výstupu měli TTL logiku. Tímto řešením by se ovšem znemožnila kalibrace optočlenů pro různobarevné povrchy pomocí programu a musela by být prováděna pomocí odporových trimerů na každém modulu samostatně.

9 ZÁVĚR

Cílem mé práce bylo navrhnout, sestavit a naprogramovat pásové robotické vozidlo, které se bude schopno bezpečně pohybovat po podložce, vyhýbat překážkám a zabránit pádu z podložky.

Robota jsem sestavil ze stavebnice Merkur a použil některé prvky z fakultního robota KamBot, a to modul KM2 ve spojení Raspberry Pi 2. Všechny použité desky plošných spojů jsem úspěšně osadil a oživil.

Jako senzory překážek jsem zvolil ultrazvukové snímače HC-SR04 pro jednoduché použití a dostačující přesnost, nevýhodou je necitlivost na pěnové a porézní materiály.

V případě senzorů podložky jsem zvolil kompaktní optočleny CNY70, které by po malém doplnění programu šly použít i pro sledování čáry, z čehož bohužel vyplývá i jejich nevýhoda v necitlivosti na černou barvu nebo nízce reflexivní materiál, což robot vyhodnotí jako konec podložky.

Zvolená řídicí jednotka Raspberry Pi je více než dostatečně výkonná pro tuhle aplikaci, naopak její nevýhodou je problém v implementaci I2C sběrnice, která postrádá ClockStretching a tudíž, při vyšších frekvencích sběrnice dochází poškození dat a jejímu zahlcení.

Mnou napsané moduly programu jsem úspěšně odladil a ověřil funkčnost celého řídicího systému.

SEZNAM ZKRATEK

FEKT -	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT -	Vysoké učení technické v Brně
UAMT -	Ústav automatizace a měřicí techniky

LITERATURA

- (1) KARNÍK, Ladislav. *Modulární pásový robot Ares*, Dostupné z: <http://www.engineering.sk/clanky2/automatizacia-robotizacia/561-modularni-pasovy-robot-ares>
- (2) HONDA CORPORATION. *Asimo*, Dostupné z: <http://asimo.honda.com/>
- (3) BOSTON DYNAMICS. *Atlas – The Agile Anthropomorphic Robot*, ©2016, Dostupné z: http://www.bostondynamics.com/robot_Atlas.html
- (4) HEKRDLA, Michal. *Řízení pásového robota s využitím motorů MAXON*, Dostupné z: https://dip.felk.cvut.cz/browse/pdfcache/hlinovsk@feld.cvut.cz_2007dipl.pdf
- (5) *A Single-Wheel, Gyroscopically stabilized Robot (GYROVER)*, Dostupné z: <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/space/www/gyrover/gyrover.html>
- (6) ATMEL CORPORATION. *ATmega8 datasheet*, ©2015, Dostupné z: http://www.atmel.com/images/atmel-8159-8-bit-avr-microcontroller-atmega8a_datasheet.pdf
- (7) BURIAN, František. *Modul KM2 firmware*, ©2016, Dostupné z: <https://github.com/uamt-brno/RaspBot/tree/master/src/KM2>
- (8) BURIAN, František. *Modul KM2 info*, ©2016, Dostupné z: <https://sites.google.com/a/vutbr.cz/bprp/kambot/dily/modul-km2>
- (9) TEXAS INSTRUMENTS. *DRV8825 Stepper Motor Controller IC*, ©2014, Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf>
- (10) *LM2596 datasheet*, Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/134372/ETC1/LM2596.html>
- (11) VISHAY, Vishay Siliconix. *CNY70 datasheet*, ©2005, Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/26332/VISHAY/CNY70.html>
- (12) AD, Analog Devices. *AD7997 datasheet*, ©2004, Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/83607/AD/AD7997.html>
- (13) ELECK FREAKS. *Ultrasonic Ranging Module HC-SR04*, Dostupné z: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>

- (14) *Raspberry Pi 2 B v1.1*, Dostupné z: <https://cdn-shop.adafruit.com/pdfs/raspberrypi2modelb.pdf>
- (15) MICREL. *MICRF211 datasheet*, Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/micrf211.pdf>
- (16) AUREL. *TX-SAW / 433 s-Z Transmitter datasheet*, ©2001, Dostupné z: http://ottomat.hu/RFmodulok/650200689_um.pdf
- (17) HOLTEK. *Enkoder Holtek TH12E datasheet*, Dostupné z: <http://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/123730.pdf>
- (18) MICROCON. *Krokový motor SX-17*, Dostupné z: <http://www.krokovemotory.cz/SX17-1005LQCEFds.pdf>
- (19) *WiringPi*, Dostupné z: <http://wiringpi.com/reference/priority-interrupts-and-threads/>
- (20) *Using a Raspberry Pi distance sensor (ultrasonic sensor HC-SR04)*, Dostupné z: <https://tutorials-raspberrypi.com/raspberry-pi-ultrasonic-sensor-hc-sr04/>

SEZNAM PŘÍLOH NA CD

Příloha 1. Zdrojové kódy

Příloha 2. Schémata použitých desek

Příloha 3. Fotografie hotového robotu