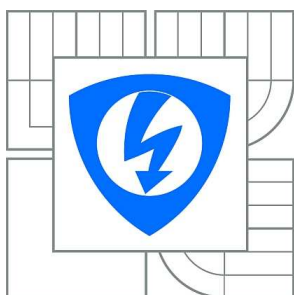


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MODUL JÍZDY PO ČÁŘE PRO REKLAMNÍ ROBOT FEKT VUT V BRNĚ

PATH FOLLOWING MODULE FOR FEET BUT ADVERTISING ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

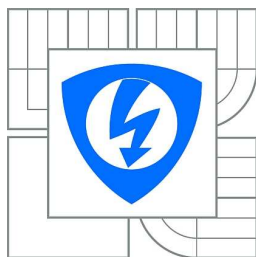
TOMÁŠ FEIK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. VLASTIMIL KŘÍŽ

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Tomáš Feik

ID: 134026

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Modul jízdy po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Navrhněte modul pro reklamní robot FEKT VUT v Brně (FEKTBOT), jež bude umožňovat robotu jízdu po předem definované trase vytvořené pomocí magnetické pásky. Robot při tom nesmí ohrožovat osoby ve svém okolí.
2. Navrhněte komunikační protokol, jímž bude modul přes existující rozhraní komunikovat s řídícím počítačem pohybu robota.
3. Modul realizujte, vestavějte do robota a ověřte jeho funkci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Bayer, R.: Jízda po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně - semestrální práce, VUT v Brně, 2011

Cerný, O., Marek, P., Herman, T.: Jízda po čáře pro reklamní robot - projekt předmětu MRBT, VUT v Brně, 2012

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 26.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Kříž

Konzultanti bakalářské práce:

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

Úkol této práce je implementovat do podvozku reklamního robotu FEKT v Brně (FEKTBOT) modul, umožňující pohyb po předem definované trase. Je potřeba kvalitně snímat intenzitu magnetického pole z magnetické pásky, kterou je realizována trasa robota. Dále je potřeba zajistit bezpečnost osob pohybujících se v okolí robota.

Klíčová slova

FEKTBOT, HMC5883L, SRF 08, ATmega16, I2C, UART

Abstract

The goal of this work is to implement modul into chassis of advertising robot FEKT in Brno (FEKTBOT), which allows moving along predefined lane. It requires precisely scanning intensity of magnetic field from magnetic tape, from which is realized robot route. Additionally it is necessary to secure safety of people around robot.

Keywords

FEKTBOT, HMC5883L, SRF08, ATmega16, I2C, UART

Bibliografická citace:

FEIK, T. *Jízda po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 44s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Vlastimil Kříž.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Jízda po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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: **26. května 2014**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Vlastimilu Křížovi a Ing. Františku Burianovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: **26. května 2014**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	11
2	Blok 1: Definování trasy	12
2.1	Magnetická páska.....	12
3	Blok 2: Snímání trasy	13
3.1	Třiosý kompas HMC 5883L	13
3.1.1	Continuous-Measurement Mode	14
3.1.2	Single-Measurement Mode	14
3.1.3	Idle Mode	14
3.1.4	Princip AMR senzorů.....	14
3.1.5	Provedení AMR senzorů	15
3.2	Otestování HMC5883L.....	16
3.3	Naměřené hodnoty magnetického pole	18
4	Blok 3: Monitorování překážek.....	20
4.1	Ultrazvukový sonar SRF 08	20
4.1.1	Mód měření vzdálenosti	22
4.1.2	Mód ANN	22
4.1.3	Nastavení rozsahu měření	23
4.1.4	Ověření konce měření	23
5	Blok 4: Řízení modulu	24
5.1	Mikrokontrolér ATmega16	24
5.2	Sériová sběrnice I ² C.....	25
5.2.1	Komunikace	26
5.2.2	Standardní přenosové rychlosti	27
5.3	Synchronní/asynchronní sériové rozhraní USART	27
5.3.1	Asynchronní režim	27
5.3.2	Synchronní režim	28
6	Blok 5: Ovládání motorů kol robota.....	29
6.1	Fyzická vrstva	29
6.2	Linková vrstva.....	29
6.3	Síťová vrstva	30
6.4	Aplikační vrstva	30
6.4.1	Příklad dat:	30
7	Realizace	31

7.1	Napájení modulu	32
7.2	Ultrazvukové sonary SRF08	32
7.3	Programu mikroprocesoru ATmega16 pro řízení modulu	33
7.4	Vyhodnocení měření	35
7.4.1	Stavový automat.....	35
7.4.2	PSD regulátor	36
7.5	Schéma zapojení	36
7.6	Návrh desky plošného spoje.....	37
7.7	Ovládání motorů kol robota	39
8	Závěr.....	40

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Blokové schéma modulu.	11
Obrázek 2.1: Axiální magnetizace	12
Obrázek 3.1: Tříosý kompas HMC 5883	13
Obrázek 3.2: Princip AMR senzorů	14
Obrázek 3.3: Zmena odporu na orientaci snímacího element	15
Obrázek 3.4: Realizace AMR senzorů	15
Obrázek 3.5: Testovací modul HMC5883L.....	16
Obrázek 3.6: Schéma testovacího modulu HMC5883L.....	17
Obrázek 3.7: DPS testovacího modulu HMC5883L.....	17
Obrázek 3.8: Ultrazvukový sonar SRF08	20
Obrázek 3.9: Rozměry sonaru SRF08.....	20
Obrázek 3.10: Vyzařovací diagram sonaru SRF 08 (vzdálenost je ve stopách)	21
Obrázek 3.11: Připojení sonaru SRF08.....	22
Obrázek 4.1: Mikroprocesor ATmega16	24
Obrázek 4.2: Rozložení pinů mikroprocesoru ATmega16 v PDIP pouzdru	25
Obrázek 4.3: Start bit sběrnice I ² C.....	26
Obrázek 4.4: Ukázka komunikace pomocí sběrnice I2C	26
Obrázek 4.5: Odeslání hodnoty 55 pomocí USART.....	28
Obrázek 5.1: ISO/OSI model	29
Obrázek 5.2: Startovní (vlevo) a ukončovací sekvence	29
Obrázek 5.3: Příklad odeslání rychlostí motorům kol.....	30
Obrázek 6.1: Testovaný modul na nepájivém poli.....	31
Obrázek 6.2: Doba měření SRF08 pro maximální měřicí rozsah	32
Obrázek 6.3: Doba měření SRF08 pro maximální měřicí rozsah 516mm	33
Obrázek 6.4: Algoritmus programu hlavní smyčky modulu.....	33
Obrázek 6.5: Algoritmus programu přerušení INT0.....	34
Obrázek 6.6: Definování konstant pro stavový automat a PSD regulátor.....	35
Obrázek 6.7: Schéma zapojení modulu.....	36
Obrázek 6.8: Návrh DPS hlavního modulu.....	37
Obrázek 6.9: Spodní strana DPS hlavního modulu.....	38
Obrázek 6.10: Osazení součástek spodní strany hlavního modulu	38
Obrázek 6.11: Osazení součástek horní strany hlavního modulu	39

Seznam tabulek

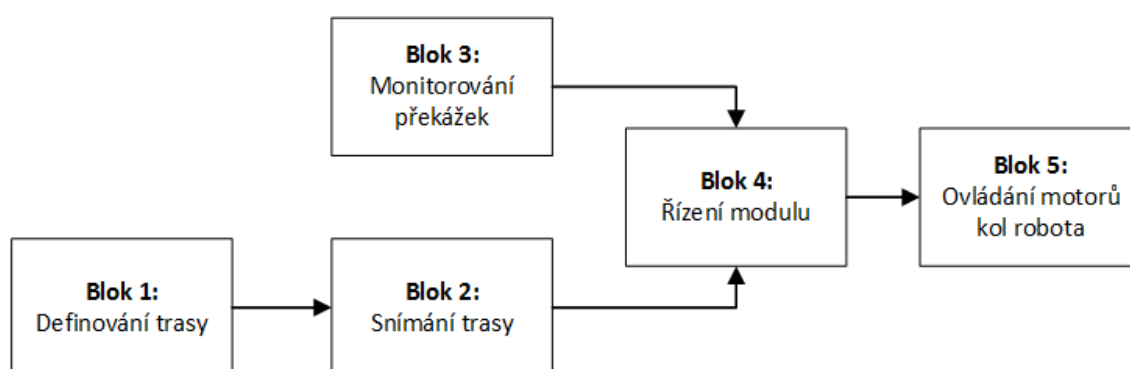
Tabulka 3.1: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 7cm	18
Tabulka 3.2: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 6cm	18
Tabulka 3.3: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 5cm	18
Tabulka 3.4: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 4cm	19
Tabulka 3.5: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 3cm	19
Tabulka 3.6: Parametry ultrazvukového sonaru SRF 08.....	21
Tabulka 4.1: Standardní přenosové rychlosti sběrnice I ² C	27

1 ÚVOD

Takto bakalářská práce se zabývá návrhem modulu pro reklamní robot FEKT VUT v Brně ovládající pohyb robota po předem definované trase přičemž musí dbát na bezpečnost osob v okolí a vyhodnocovat překážky v cestě.

Touto úlohou se již zabývalo několik projektů, které nebyly nikdy plně úspěšné. Z těchto pokusů vznikly i návrhy schémat a plošných spojů modulu. Tyto návrhy už jsou zastaralé a tak nejsou dostupné všechny součástky pro jeho realizaci. Díky tomuto faktu téměř nebylo možné použít tyto návrhy. Jedná se především o magnetorezistivní můstek KMZ51, který se již nevyrábí a potřebuje další součástky pro správné fungování.

Trasa robota je určena pomocí samolepící magnetické pásky přilepené k podlaze pod kobercem. Polohu magnetické pásky vzhledem k podvozku robota bude určovat trojice tříosých magnetických kompasů HMC5883L. Blízkost osob a překážek je monitorována pomocí ultrazvukových sonarů SRF08. Celý modul řídí mikrokontrolér ATmega16. Ten bude se snímači komunikovat pomocí sériové sběrnice I²C. Komunikace s ovládacím modulem motorů kol FEKTbota probíhá pomocí jednosměrného asynchronního rozhraní UART. Modul se dá rozdělit do několika dílčích částí zobrazených na následujícím obrázku (Obrázek 1.1: Blokové schéma modulu).



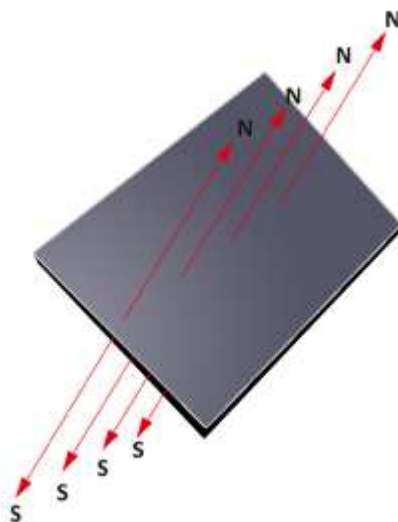
Obrázek 1.1: Blokové schéma modulu.

2 BLOK 1: DEFINOVÁNÍ TRASY

Realizace trasy robota byla již dříve zvolena pomocí magnetické pásky ukryté pod kobercem. Její výhody spočívají v jednoduchém naplánování trasy. Magnetická páska je ukryta pod kobercem aby nebylo na první pohled možné odhalit, podle čeho se robot pohybuje a působil tak profesionálnější dojmem. V projektu nepředpokládáme úmyslné umístění magnetů k podvozku robota.

2.1 Magnetická páska

Použitá magnetická páska je axiálně magnetizovaná. Má remanenci 230 mT, koercitivní sílu 167 kA/m, maximální energetický součin $10,8 - 12 \text{ kJ/m}^3$. Magnetická páska je určena pro pracovní teploty od -26 do $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

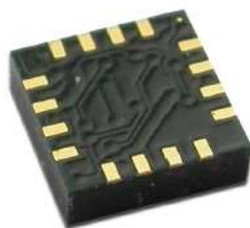


Obrázek 2.1: Axiální magnetizace

3 BLOK 2: SNÍMÁNÍ TRASY

Trasa je snímána pomocí magnetických snímačů. V dřívějších pracích bylo navrženo použití senzoru magnetického pole KMZ 51. Tento snímač se již nevyrábí a tak bylo nutné najít jeho náhradu. Byl zvolen tříosý kompas HMC 5883L firmy Honeywell. Mezi jeho hlavní výhody oproti KMZ 51 patří komunikace přes sběrnici I²C, možnost měření magnetického pole ve třech osách a automatická demagnetizace.

3.1 Tříosý kompas HMC 5883L



Obrázek 3.1: Tříosý kompas HMC 5883

(Zdroj [5])

Tříosý kompas HMC 5883L společnosti Honeywell je modul pro měření magnetického pole s digitálním rozhraním. Obsahuje odporové snímače, zesilovač, automatickou demagnetizaci, offset pro rušení a 12 - bitový A/D převodník. Sériová sběrnice I²C zajišťuje snadnou komunikaci. HMC 5883L využívá anizotropní magnetorezistivní (AMR) technologii. Kompas má několik módů měření, jejichž hlavním účelem je správa napájení.

3.1.1 Continuous-Measurement Mode

V tomto módu kompas neustále měří, uživatelsky zadanou rychlostí, a ukládá data do výstupních registrů. Dokončení nového měření aktualizuje výstupní registry. Mezi jednotlivými měřeními je ve stavu podobnému klidovému režimu, ovšem registr nastavení módu měření se nemění. I2C sběrnice je povolena pro použití ostatními zařízeními.

3.1.2 Single-Measurement Mode

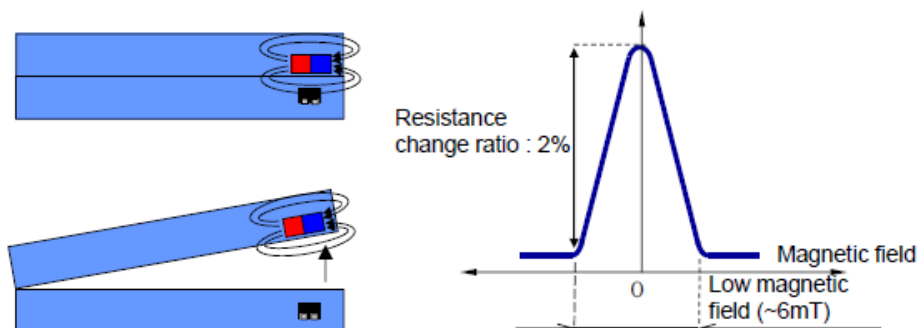
Jednotné měření je výchozí mód měření snímače HMC 5883L. Snímač provede jedno měření a uloží data do výstupních registrů. Po dokončení měření se snímač přepne do klidového režimu přepsáním módu měření. I2C sběrnice je povolena pro použití ostatními zařízeními.

3.1.3 Idle Mode

V klidovém režimu je snímač dostupný přes I2C sběrnici, ale hlavní zdroje spotřeby energie (A/D převodník, zesilovač, klidový proud) jsou zakázány. I2C sběrnice je povolena pro použití ostatními zařízeními.

3.1.4 Princip AMR senzorů

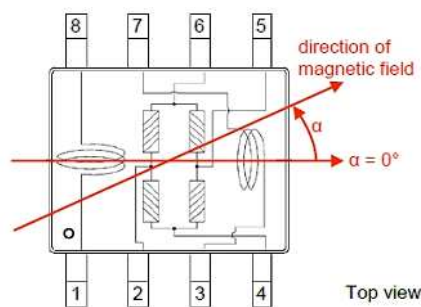
Tato kapitola vychází ze zdroje [5]. AMR senzory jsou založeny na anizotropní magnetizaci, tedy změny elektrického odporu tenké vrstvy permalloye (slitiny železa a niklu) po jeho vložení do magnetického pole. Změna odporu je vyvolána už při malých hodnotách indukce magnetického pole v řádu jednotek μT až mT , s rostoucí hodnotou odpor rychle a téměř lineárně klesá. Pouze však o 2 – 3% hodnoty původního odporu materiálu v klidovém stavu bez přítomnosti magnetického pole. Dále se s rostoucí silou magnetického pole nemění.



Obrázek 3.2: Princip AMR senzorů

(zdroj: [5])

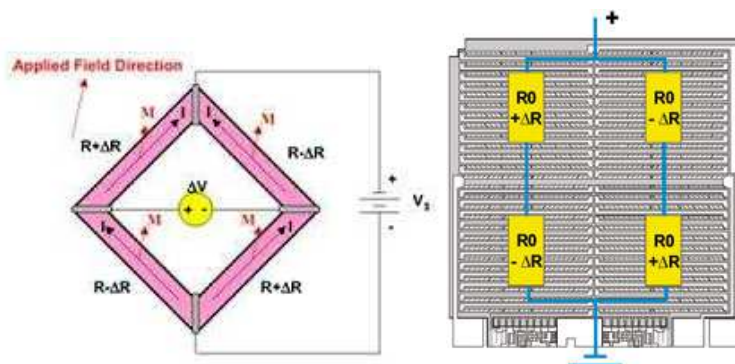
Kromě intenzity magnetického pole záleží také na jeho směru vzhledem k orientaci snímacího elementu. Směr má vliv na velikost protékajícího proudu elementu, tedy na elektrický odpor. Velikost proudu je úměrná druhé mocnině sinu úhlu mezi vektorem proudu a aktuálním vektorem magnetického pole. Tedy pokud je směr proudu shodný s vektorem magnetického pole, elektrický odpor je maximální, pokud je vektor pole kolmý na směr proudu, je odpor minimální. Směr proudu vzhledem k AMR elementu pak je definován pozicí kontaktních elektrod. [5]



Obrázek 3.3: Zmena odporu na orientaci snímacího element
(zdroj: [5])

3.1.5 Provedení AMR senzorů

„Reálné provedení AMR senzoru však není jen samotný magneticky citlivý materiál permalloy, ale obvykle se využívá klasického zapojení 4 snímacích odporových elementů do Wheatstonova můstku a jeho implementace i s vývody do jedné křemíkové součástky. Mimo jednomůstkového provedení však existují i dvou a třímůstková provedení v jedné součástce například pro realizaci víceosé detekce (například AMR senzory Honeywell).“ [5]

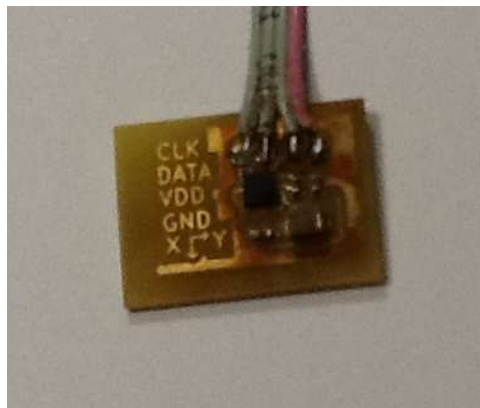


Obrázek 3.4: Realizace AMR senzorů
(zdroj: [5])

„Pouhá implementace můstku v součástce je sice běžnější provedení AMR senzorů, ale stále častěji se lze setkat i se sendvičovou strukturou (viz obrázek vlevo), kde je v součástce implementován nejen AMR element či můstek elementů i s napájecími kovovými (obvykle

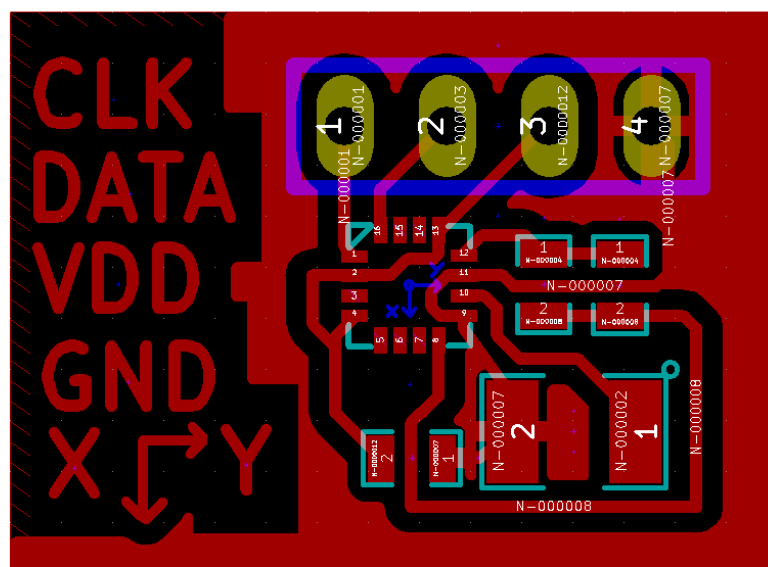
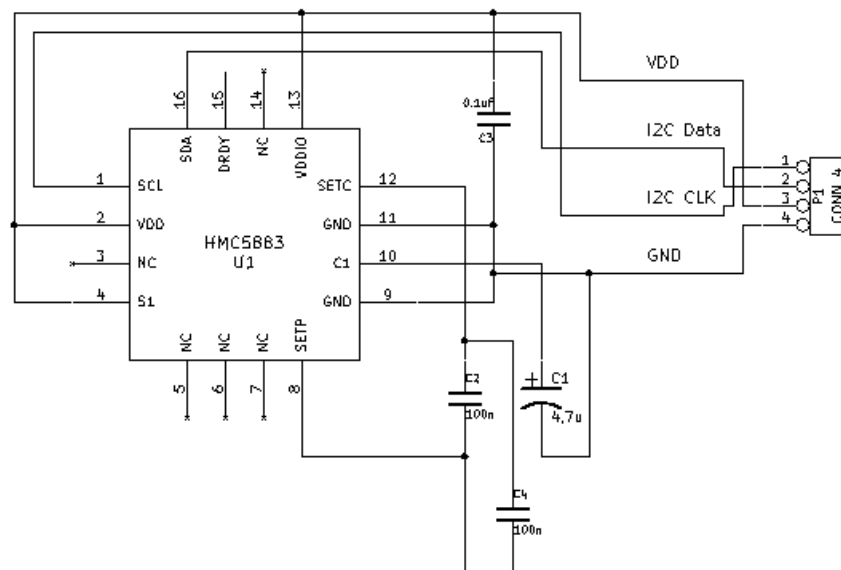
hliníkovými) elektrodami, ale i s nimi společně křemíkový čip realizující různé předzpracování nebo vhodnou úroveň elektrického napájení, ale hlavně i zesílení malé změny el. odporu, jeho vyhodnocení a jeho transformaci na snadno dále zpracovatelný výstupní signál, obvykle na spínaný výstup. Takový senzor je pak přímo použitelný jako detektor přiblížení či bezkontaktní magnetický spínač bez nutnosti další externí elektroniky.“ [5]

3.2 Otestování HMC5883L



Obrázek 3.5: Testovací modul HMC5883L

Funkčnost tříosého kompasu HMC5883L byla nejprve otestována na testovacím modulu o rozměrech 24x17mm. Napájecí napětí tohoto modulu je 2,16V - 3,6V. Maximální napětí I²C sběrnice je velikost napájecího napětí. Snímač byl funkční, ovšem vzhledem k nutnosti přesného umístění kompasu HMC5883L a velké možnosti pro vytvoření chyby při pájení byla jako lepší varianta zvolena koupě již profesionálně vytvořeného modulu pro HMC5883L jehož napájecí napětí je od 3V do 5V.



3.3 Naměřené hodnoty magnetického pole

Tabulka 3.1: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 7cm

a [cm]	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5
x	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF
y	0xFFFF6	0xFFFF4	0xFFFF4	0x00F4	0x00F7	0x00FC	0x0001	0x0000
a [cm]	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
x	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000
y	0x0019	0x0024	0x0032	0x003F	0x0049	0x004E	0x0054	0x0057
a [cm]	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0			
x	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000			
y	0x0059	0xFF59	0xFF58	0xFF55	0xFF52			

Tabulka 3.2: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 6cm

a [cm]	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5
x	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF
y	0xFFE3	0xFFDB	0xFFD3	0xFFCD	0x00C6	0x00C5	0x00C9	0x00D8
a [cm]	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
x	0xFFFF	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000
y	0x00F0	0x0005	0x001D	0x0034	0x0047	0x005A	0x0066	0x006E
a [cm]	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0			
x	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000			
y	0x0071	0x0071	0x006F	0xFFFF	0xFFFF			

Tabulka 3.3: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 5cm

a [cm]	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5
x	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF
y	0xFFBF	0xFFB5	0x00B0	0x00AC	0x00AF	0x00B7	0x00C7	0x00E0
a [cm]	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
x	0xFFFF	0xFFFF	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000
y	0x00E4	0x0001	0x0019	0x0038	0x0052	0x0068	0x0077	0x0082
a [cm]	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0			
x	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000			
y	0x0087	0x0085	0xFF81	0xFF7A	0xFF73			

Tabulka 3.4: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 4cm

a [cm]	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5
x	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF
y	0xFFAF	0xFF9B	0x007D	0x0076	0x0067	0x0063	0x006E	0x0085
a [cm]	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
x	0xFFFF	0xFFFF	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000
y	0x0105	0x01EB	0x0127	0x0156	0x018A	0x00B0	0x00C8	0x00CF
a [cm]	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0			
x	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000			
y	0x00CC	0x00C2	0x00B5	0xFFA2	0xFF93			

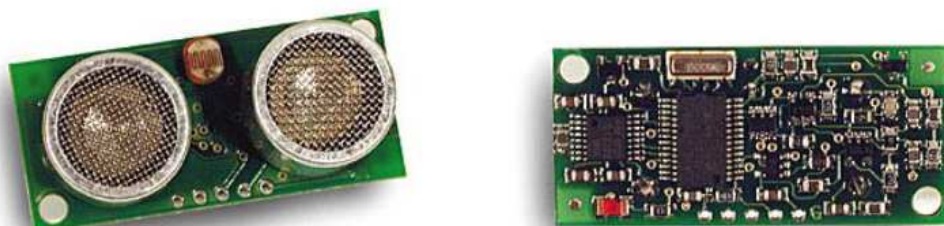
Tabulka 3.5: Naměřené hodnoty magnetické pásky kompasem HMC5883L ze vzdálenosti 3cm

a [cm]	-5,0	-4,5	-4,0	-3,5	-3,0	-2,5	-2,0	-1,5
x	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF	0xFFFF
y	0xFF7B	0xFF5A	0x0032	0x0005	0x00DC	0x00C4	0x01CD	0x01F3
a [cm]	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
x	0xFFFF	0xFFFF	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000
y	0x025A	0x02C9	0x0264	0x02EC	0x015C	0x0194	0x00A3	0x0089
a [cm]	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0			
x	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000	0x0000			
y	0x005C	0xFF2A	0xFFFF	0xFFCD	0xFFAB			

4 BLOK 3: MONITOROVÁNÍ PŘEKÁŽEK

Monitorování překážek zařizuje trojice ultrazvukových sonarů SRF 08 umístěných na přední straně FEKTBOTa.

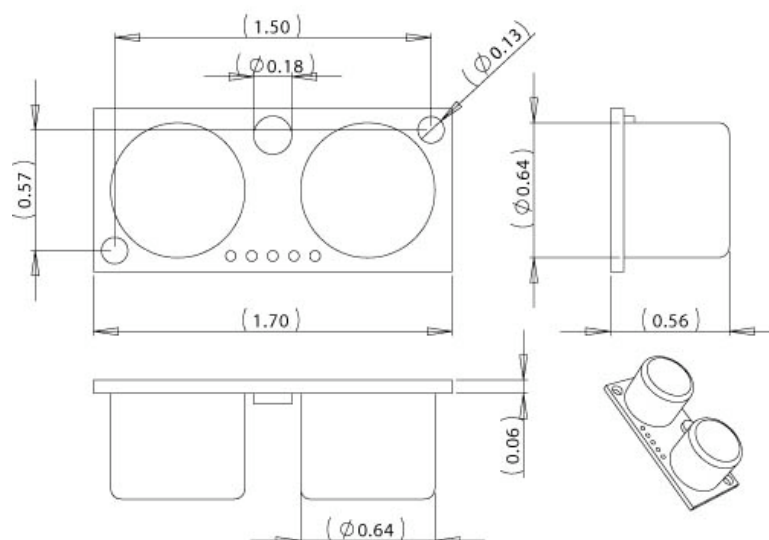
4.1 Ultrazvukový sonar SRF 08



Obrázek 4.1: Ultrazvukový sonar SRF08

(Zdroj: Devantech SRF08 UltraSonic Ranger [4])

„Sonary jsou senzory určené k měření vzdálenosti od překážky, popř. pro detekci překážky. Ultrazvukové sonary (dále jen sonary) jsou založeny na měření doby mezi vysláním akustického impulsu a okamžikem přijetí odraženého signálu od překážky – echa. Je-li vyhodnocena pouze přítomnost překážky a uživatele nezajímá vzdálenost k ní, je vyhodnocováno pouze přijetí a nepřijetí echa.“ [3]



Obrázek 4.2: Rozměry sonaru SRF08

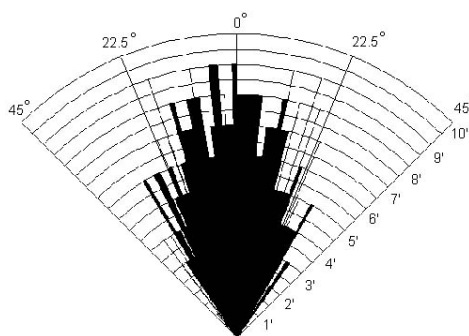
(Zdroj: Devantech SRF08 UltraSonic Ranger [4])

Sonar SRF 08 je nástupce sonaru SRF 04. Byl představen v roce 2002. Oproti svému předchůdci má především menší spotřebu (15 mA/5 V), schopnost vyhodnotit vícenásobné odrazy a komunikaci prostřednictvím sběrnice I²C. Sonar měří v rozsahu od 3 cm do 6 m s vyzařovacím úhlem 55°. Modul uchovává až šestnáct prvních ech. [3, 4]

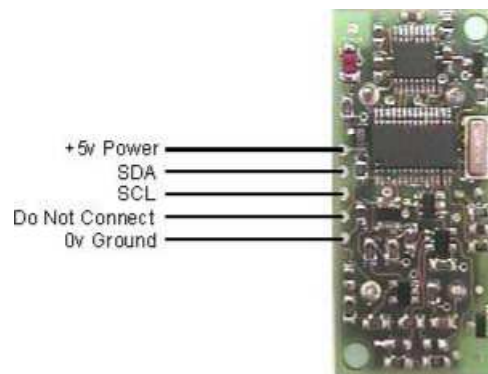
Tabulka 4.1: Parametry ultrazvukového sonaru SRF 08

Napájení	5 V
Proud	15 mA, 3 mA v pohotovostním režimu
Frekvence	40 kHz
Maximální rozsah	6 m
Minimální rozsah	3 cm
Maximální analogové zesílení	94 – 1025 v 32 krocích
Připojení	I ² C sběrnice
Světelný senzor	Světelný senzor na přední straně
Časování	Plně časované echo
Echo	Několikanásobné echo, udržuje hledání po prvním echu
Jednotky	Nastavitelné na μ s, mm nebo palce
Váha	11 g
Velikost	43 * 20 * 17 mm

V sonaru je zabudován senzor osvětlení. Jeho analogový výstup je zpracováván A/D převodníkem použitého mikroprocesoru. Intenzita osvětlení je vyhodnocována při každém měření vzdálenosti. Sonar SRF 08 obsahuje 36 registrů. Registr 0 je příkazový, registr 1 je vyhrazen pro zesílení senzoru osvětlení. Další registry obsahují údaje jednotlivých ech – pro každé echo jsou přiřazeny 2 registry. Sonar může pracovat v módu měření vzdálenosti nebo v módu ANN dle zapsaného kódu v příkazovém registru. Adresa modulu je standardně nastavena na E0h, je ji možno nastavit na adresy E0h, E2h, E4h, E6h, E8h, EAh, EFh, EEh, F0h, F2h, F4h, F6h, F8h, FAh, FCh nebo FEh. [3, 4]



Obrázek 4.3: Vyzařovací diagram sonaru SRF 08 (vzdálenost je ve stopách)
(Zdroj: Devantech SRF08 UltraSonic Ranger [4])



Obrázek 4.4: Připojení sonaru SRF08
(Zdroj: Devantech SRF08 UltraSonic Ranger [4])

4.1.1 Mód měření vzdálenosti

Mód měření vzdálenosti zahájíme zápisem jednoho ze tří příkazových bajtů 50h, 51h nebo 52h do příkazového registru. Vyrovnávací paměť je vynulována a do příslušných registrů se uloží hodnoty jednotlivých ech. Je-li obsah registrů pro echa po skončení měření nulový, pak žádná echa neobsahují. Doporučená doba měření je 65 ms, tato lhůta lze změnit zápisem do příslušného registru. Během měření se také aktualizuje hodnota senzoru osvětlení v registru 1. [3, 4]

4.1.2 Mód ANN

Tento mód je určen k lehčímu zpracování dat vícenásobného echa neuronovou sítí. Naměřená data jsou uložena ve vyrovnávací paměti na adresách 4 až 35, kde každý bajt odpovídá maximální době měření 65 536 μ s rozdělenou do 32 intervalů. Každý interval zastupuje dobu 2 048 μ s. Při přijetí echa se nastaví příslušný registr na nenulovou hodnotu. Nenulové hodnoty tak reprezentují čas, ve kterém bylo echo přijato. [3, 4]

4.1.3 Nastavení rozsahu měření

Ultrazvukový sonar SRF08 umožňuje nastavení velikosti měřicího rozsahu zápisem příslušné hodnoty do registru 02h. Zmenšením měřicího rozsahu se zrychlí měřicí proces. Hodnota nastavující měřicí rozsah nabývá hodnot 00h až FFh. Tuto hodnotu určíme dle následujícího vzorce:

$$\text{Hodnota registru} = \frac{\text{měřicí rozsah} - 43\text{mm}}{43\text{mm}}$$

Hodnota registru 18h nastaví měřicí rozsah na 1 metr, 8Ch na 6 metrů.

4.1.4 Ověření konce měření

Konec měření je možno testovat dvěma způsoby. Od začátku měření lze počkat maximální možnou dobu (65 ms pro plný měřicí rozsah) a následně vyčíst výsledek. Nebo využít toho, že modul je během měření z pohledu sběrnice I²C neaktivní a při jeho oslovení vrátí hodnotu FFh. Pokud je hodnota jiná tak je měření dokončeno a můžeme zpracovat naměřené hodnoty. [3, 4]

5 BLOK 4: ŘÍZENÍ MODULU

O řízení celého modulu se stará mikrokontrolér ATmega16 s využitím časovačů, externího přerušení, sériové sběrnice I²C a UART.

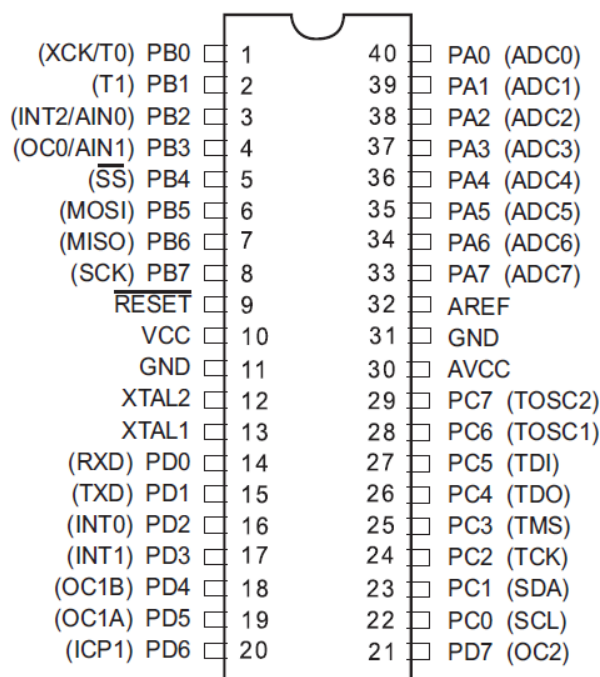
5.1 Mikrokontrolér ATmega16



Obrázek 5.1: Mikroprocesor ATmega16

(Zdroj: GM electronic – gme.cz)

ATmega16 je nízkopříkonový osmibitový mikroprocesor řady ATmega vyráběný firmou Atmel. ATmega16 používá rozšířenou RISC architekturu. Pracuje se 131 instrukcemi, obsahuje 32 osmibitových registrů. Dosahuje výkonu až 16 MIPS při maximální hodinové frekvenci 16MHz. Disponuje vnitřní programovatelnou Flash pamětí o kapacitě 16kB, 512B datové paměti EEPROM, 1kB vnitřní datové paměti SRAM. V pouzdru má 40 pinů se čtyřmi osmibitovými vstupně/výstupními porty.



Obrázek 5.2: Rozložení pinů mikroprocesoru ATmega16 v PDIP pouzdru

(Zdroj: ATmega16(L) Complete [8])

Porty mohou být řízeny programově pomocí zápisu do patřičného registru, nebo mohou za pomoci vnitřního desetibitového A/D převodníku sloužit pro měření vstupního signálu.

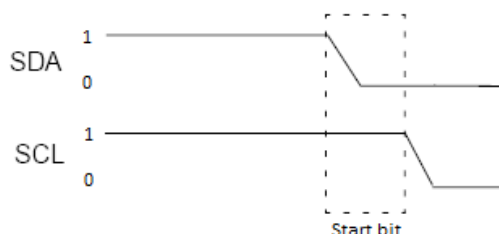
Údaje uchovají po dobu 20 let 85°C a 100 let při 25°C. Je určen pro provozní napětí 4,5 až 5,5V. Komunikuje pomocí USART, SPI a TWI (I²C). Má zabudovaný RC oscilátor.

5.2 Sériová sběrnice I²C

Sériová sběrnice I²C je dvou vodičové propojení mezi zařízeními typu *master* a *slave*. Jedná se o poloduplexní spojení – obě strany mohou vysílat i přijímat, ovšem ne současně. První vodič **SCK** je hodinový a druhý **SDA** přenáší data. Oba vodiče musí být přes pull-up rezistory připojeny na napájecí napětí. Toto připojení zaručuje na vodičích hodnotu logické jedničky ve všech uzlech při jejich neaktivitě, což je normou stanovený klidový stav. Každé zařízení musí být připojeno na oba vodiče. [9, 10, 7]

5.2.1 Komunikace

V klidovém stavu je na vodičích **SCK** i **SDA** hodnota logické jedničky. Komunikace začne *Start bitem* – zařízení typu *master* změní hodnotu vodiče **SDA** na logickou nulu, vodič **SCK** je stále v úrovni logické jedničky. [9, 10, 7]

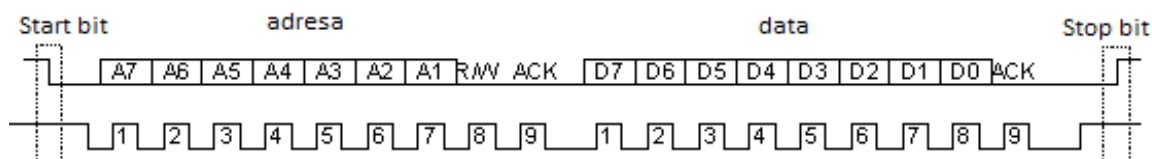


Obrázek 5.3: Start bit sběrnice I²C

(Zdroj: Komunikace po sériové sběrnici I²C [10])

Po zahájení komunikace je vyslána adresa zařízení, se kterým bude zařízení typu *master* komunikovat. Adresa může být buď sedmi, nebo deseti bitová. Pro náš případ použijeme sedmibitové adresování. Při využívání sedmibitové adresace je možné používat až 128 zařízení, skutečný počet možných zařízení je ovšem snížen o několik rezervovaných adres. První přenesený bit je ten s největší vahou. Hodnota vodiče **SDA** se určuje v okamžiku, kdy je **SCK** v hodnotě logické jedničky (hodnota **SDA** se mění v okamžiku, kdy je **SCK** roven logické nule). Jakmile je odeslána adresa zařízení, pak se odešle osmý bit, který určí, zda budeme ze zařízení číst (logická 0), nebo do něj zapisovat (logická 1). [9, 10, 7]

Po odeslání všech osmi bitů provede každý uzel typu *slave* porovnání vlastní adresy s přijatou. Dotazovaný uzel musí během devátého cyklu hodin potvrdit, že se v zapojení nachází a je s ním možné komunikovat. Potvrzení vybrané *slave* zařízení provede nastavením potvrzovacího bitu **ACK** (v devátém cyklu hodin) na úroveň logické nuly, pokud je tento bit roven logické jedničce, pak požadované zařízení není připojené, nebo s ním z nějakého důvodu nelze komunikovat. V další části se odešle požadovaná hodnota, první přijatý bit je opět bit s největší vahou. [9, 10, 7]



Obrázek 5.4: Ukázka komunikace pomocí sběrnice I2C

(Zdroj: [15])

Komunikaci ukončuje *Stop bit*. Hodnota vodiče **SDA** je nastavena na hodnotu logické jedničky po odeslání všech předchozích bitů a v okamžiku, kdy je vodič **SCK** na hodnotě logické jedničky. Tímto se oba dva vodiče vrátí do klidového stavu a komunikace je ukončena. [9, 10, 7]

5.2.2 Standardní přenosové rychlosti

Sběrnice I²C stanovuje několik standardních rychlostí, které vyhovují většině praktických aplikací. Tabulkové přenosové rychlosti jsou odvozeny od frekvence hodinového signálu včetně potvrzovacích bitů. Díky potvrzovacímu signálu **ACK**, který je odeslán po každých smi bitech, je skutečná přenosová rychlost nižší. [9, 10, 7]

Přenosová rychlost	Označení
10 kbps	Low speed mode
100 kbps	Standard mode
400 kbps	Fast mode
1 Mbps	Fast mode +
3,4 Mbps	High speed mode

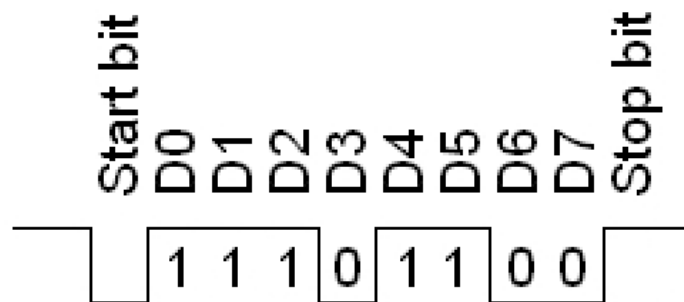
Tabulka 5.1: Standardní přenosové rychlosti sběrnice I²C

5.3 Synchronní/asynchronní sériové rozhraní USART

USART je zařízení sloužící pro sériovou komunikaci v asynchronním (SCI – linky RS485) nebo synchronním (SPI) režimu. Vstupy a výstupy USART obvodů používají běžné logické úrovně, pro přizpůsobení pro linku RS485 se používají specializované obvody. [7, 11, 12]

5.3.1 Asynchronní režim

Pro asynchronní přenos jsou použity 2 piny: **Rx** jako vstup a **Tx** jako výstup. Tento režim je plně duplexní. Klidová úroveň signálu má hodnotu logické 1. Komunikace je zahájena změnou signálu na logickou 0 (*Start bit*). Následně jsou odeslána data tak, že první odeslaný bit je nejméně významný. Po odeslání nejvýznamnějšího bitu následuje *Stop bit* (návrat signálu do hodnoty logické 1). [7, 11, 12]



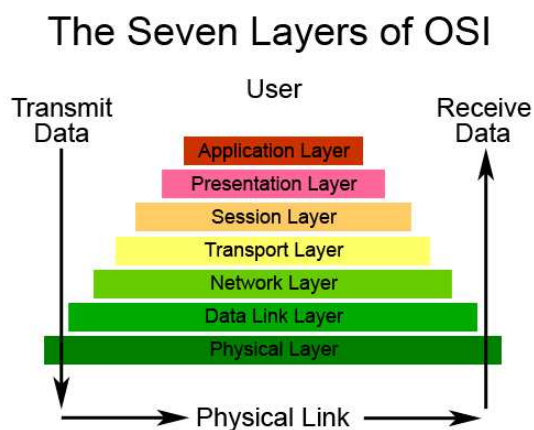
Obrázek 5.5: Odeslání hodnoty 55 pomocí USART
 (Zdroj: USART. In: Wikipedia: the free encyclopedia [12])

5.3.2 Synchronní režim

Synchronní režim je polo duplexní, to znamená, že nemůže vysílat a zároveň přijímat data. Jeden pin je datový a druhý hodinový.

6 BLOK 5: OVLÁDÁNÍ MOTORŮ KOL ROBOTA

Komunikaci s motory kol robota zajišťuje mikrokontrolér ATmega16 pomocí nově navržené struktury. Komunikace probíhá pomocí jednosměrného rozhraní UART.

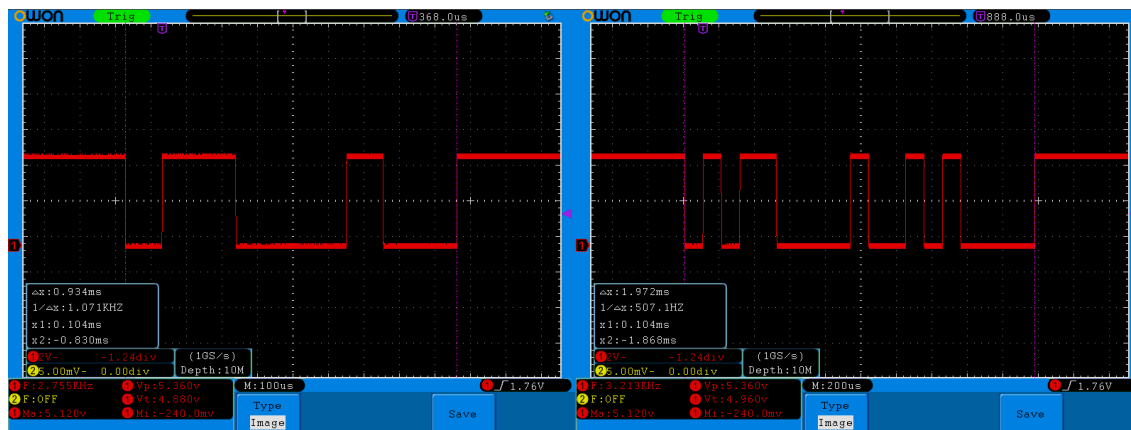


6.1 Fyzická vrstva

Jednosměrné rozhraní UART, modul pouze odesílá data. Napětíové úrovně 5V (log. 1) a 0V (log. 0). Rychlost 9600 kbps. Odesílány jsou ASCII hodnoty znaků.

6.2 Linková vrstva

Startovní sekvence odešle „#“, ukončující sekvence obsahuje „\r“ a „\n“. Mezi daty a ukončující sekvencí je kontrolní součet adresy a dat (bcc) o velikosti 1 bytu.



6.3 Síťová vrstva

Po startovní sekvenci je odeslána adresa cílového zařízení v podobě jednoho ASCII znaku.

6.4 Aplikační vrstva

Po odeslání startu jsou data odesílána s periodou 20ms. Pokud nesedí kontrolní součet, pak je příkaz ignorován. Jestliže po sobě přijde 5 paketů s neshodujícím se kontrolním součtem, nebo robot nepřijme žádná data po dobu 0,5s, pak robot zastaví. Robot tedy může ujet bez kontroly při maximální rychlosti 0,3m/s 15cm. Robot se pohybuje základní rychlostí 0,1m/s čímž se vzdálenost, kterou může robot nekontrolovaně ujet, zmenší na 5cm. Odesílána je žádaná rychlost pohybu jednotlivých kol. Rychlost kol je dvoubytová hodnota. Maximální rychlost odpovídající hodnotě FFFFh je 0,3m/s, 8000h a 7FFFh znamená 0m/s a 0000h reprezentuje maximální zápornou rychlost, tedy -0,3m/s. Řízení je ukončeno odesláním dat stop.

6.4.1 Příklad dat:

Start: `'#' 'M' '*' 'G' <bcc> '\r' '\n'`

Stop: `'#' 'M' '*' 'E' <bcc> '\r' '\n'`

Vzdálenost překážky: `'#' 'M' '*' 'B' <vzdálenost v cm> <bcc> '\r' '\n'`

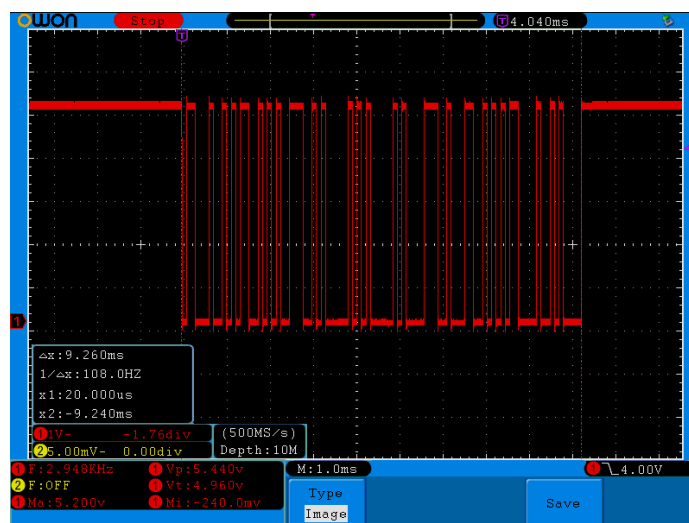
Rychlost kol: `'#' 'M' <rychlost levé> <rychlost pravé> <bcc> '\r' '\n'`

`<bcc> = 'A' 'C'`

`<vzdálenost v cm> = '3' '6'`

`<rychlost levé> = '2' 'E' '4' 'F'`

`<rychlost pravé> = 'C' 'A' '3' '9'`

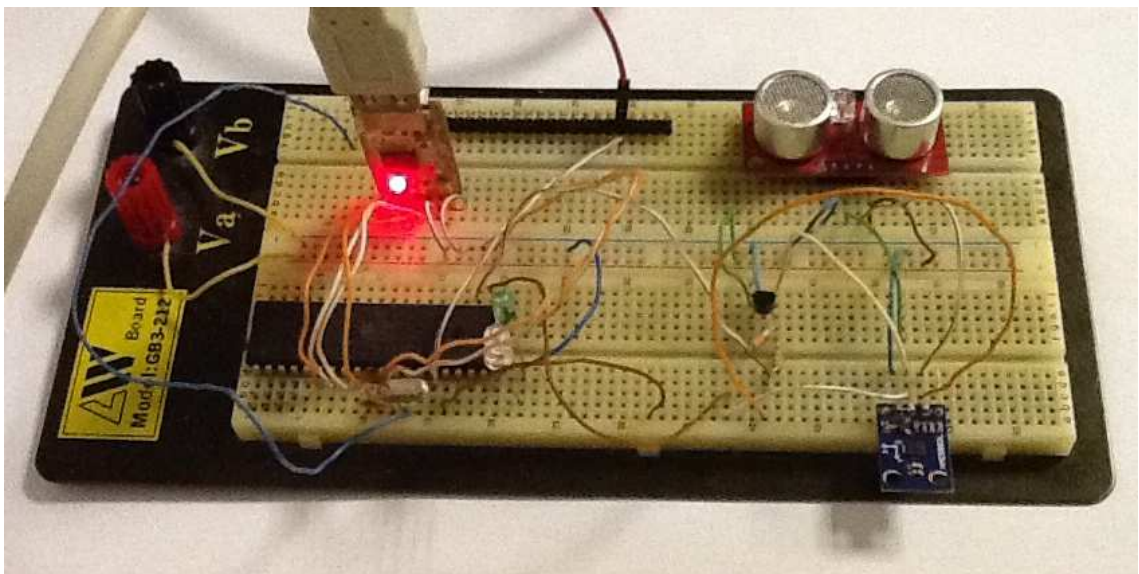


Obrázek 6.3: Příklad odeslání rychlostí motorům kol

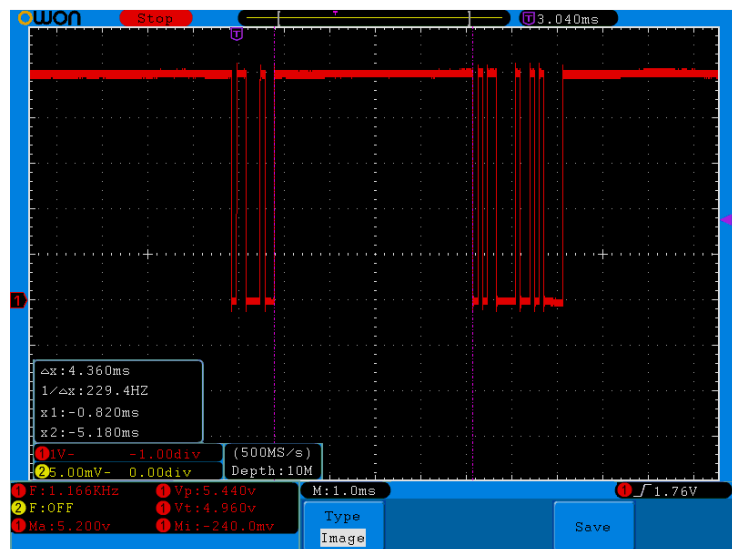
7 REALIZACE

Tento modul bude řídit mikroprocesor **ATmega16**. Ultrazvukové sonary **SFR 08** budou zajišťovat bezpečnost osob v okolí. Jejich hodnoty bude přijímat mikroprocesor **ATmega16** pomocí směrnice **I²C**. Pokud procesor skrze sonary vyhodnotí překážku a v případě detekování překážky zpomalí rychlost pohybu robota, nebo jej úplně zastaví. Přítomnost magnetické pásky vyhodnocuje tříosý kompas **HMC5883L** měřením hodnoty magnetického pole na osách X a Z. Kde Z osa měří přítomnost robota u magnetické pásky a osa X odchylku středu kompasu od středu magnetické pásky.

Z měření magnetické pásky byla vybrána varianta, kdy je senzor umístěn 4 cm nad magnetickou páskou. Při této hodnotě dosahoval dobré přesnosti určení odchylky od pásky a zmenšuje se šance na poškození senzoru vlivem nerovností a drobných překážek na povrchu.

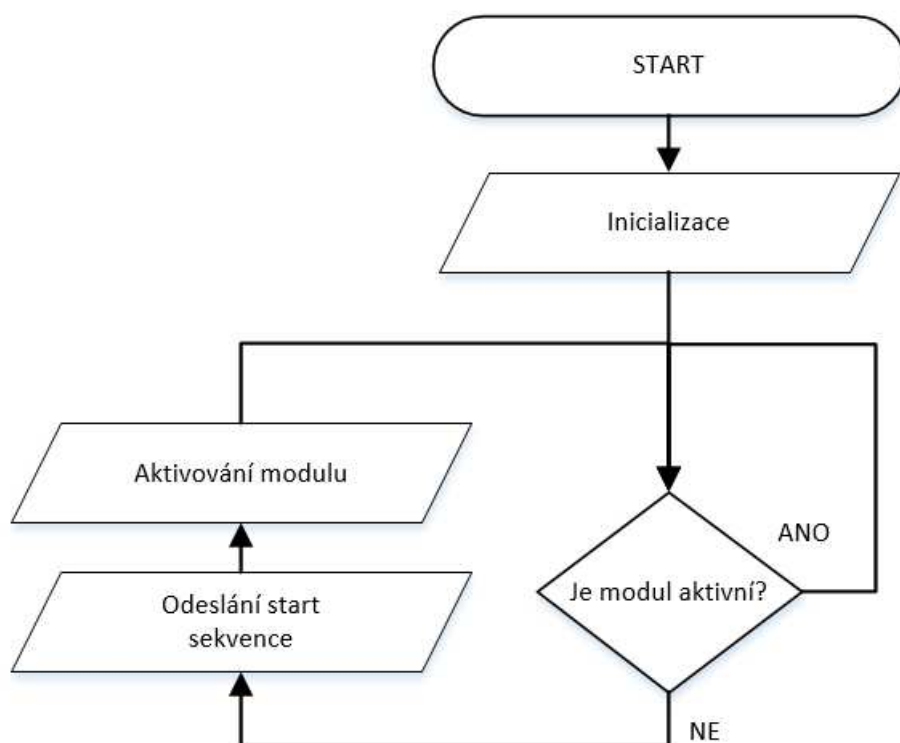


Obrázek 7.1: Testovaný modul na nepájitvém poli.



Obrázek 7.3: Doba měření SRF08 pro maximální měřicí rozsah 516mm

7.3 Programu mikroprocesoru ATmega16 pro řízení modulu



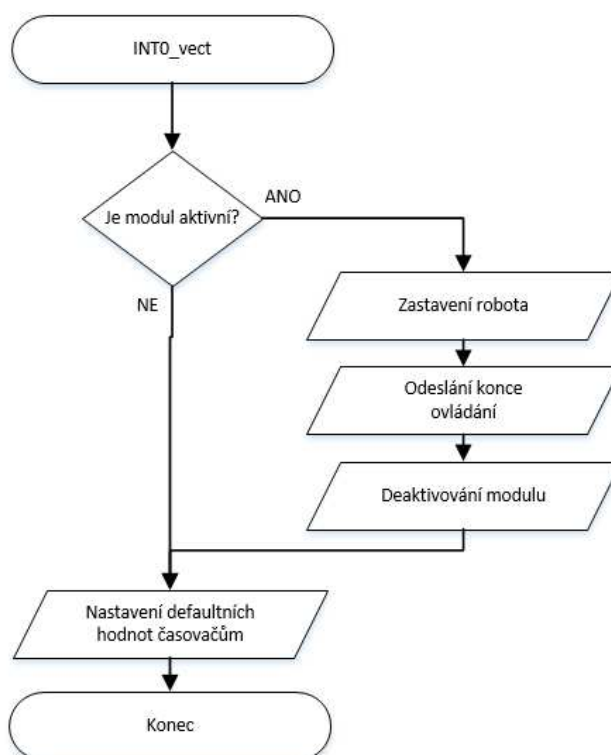
Obrázek 7.4: Algoritmus programu hlavní smyčky modulu

Project se skládá ze souborů main.c (hlavní program), function.c a function.h (knihovna funkcí pro obsluhu modulu). Komunikaci pomocí rozhraní **uart** zajišťuje knihovna Bc. Ondřeje Závodského (uart.c a uart.h). Tato knihovna je psaná pro mikrokontrolér ATmega8 pročez

musela být upravena inicializační funkce. Sběrnice I²C je obsluhována knihovnou, kterou vytvořil Peter Fluery (twi_lib.c a twi_lib.h).

Inicializace v hlavní smyčce povolí externí přerušení 0, přerušení časovače 0 a časovače 1. Dále inicializuje I2C, UART, měření sonaru SRF08 a měření kompasu HMC5883L. V hlavní smyčce se testuje aktivita modulu. To určuje proměnná *isRunning*. Pokud modul aktivní není pak je motorům kol odeslána informace o startu. Přerušení je vyvoláno uzemněním INT0.

Vyvoláním externího přerušení 0 je zastaveno měření. Pokud byl modul aktivní pak je motorům kol odeslána informace o ukončení ovládání. Časovače 0 a 1 jsou nastaveny na výchozí hodnotu, proměnná *isRunning* je nastavena 0.



Obrázek 7.5: Algoritmus programu přerušení INT0

Měření překážek v cestě robota je řízeno časovačem 0 nastaveným na přerušení po 4,554μs. Testuje se, který z ultrazvukových snímačů naposled zahájil měření. Data z tohoto snímače se uloží a začne měřit další snímač. Pokud již proběhlo měření všech snímačů pak je do proměnné *barrierDistance* je uložena vzdálenost nejbližší překážky. Překážky ve vzdálenosti rovné a větší 50cm robot ignoruje, se zkracující se vzdálenosti je zmenšována žádaná rychlost motorů kol a po přiblížení se na 10cm robot zastaví.

Měření dat z kompasu HMC5883L a odesílání dat je řízeno časovačem 1. U tohoto časovače jsou povoleny 2 přerušení, při shodě TCNT1, OCR1A a rovnosti TCNT1, OCR1B. OCR1A je nastaveno tak, aby k přerušení došlo po 10ms. V tomto přerušení se načtou data z magnetického kompasu. OCR1B je nastaveno na 20ms, po uplynutí tohoto času se vyhodnotí naměřené hodnoty a odešle se žádaná velikost rychlosti kol definovaným způsobem po uartu.

Všechny funkce využívané modulem jsou popsány v hlavičkovém souboru function.h.

7.4 Vyhodnocení měření

Z tabulek naměřených hodnot kompasu snímače HMC5883L je vidět, že snímač je na magnetickou pásku velice citlivý a jeho výstupní hodnoty se pohybují převážně poblíž limitních hodnot 0000h a FFFFh což vyzývá k řešení v podobě stavového automatu reagující na krajní stavy. V programu byly vytvořeny 2 varianty vyhodnocování, z nichž se jedna chová jako stavový automat a druhá ovládá robota pomocí PSD regulátoru. Výběr vyhodnocovací varianty zvolíme za/okomentováním třináctého řádku „#define PSD” v souboru main.c. Pokud se robot dostane mimo dosah magnetické pásky snímaným osou Z magnetického kompasu pak se zastaví.

7.4.1 Stavový automat

Způsob vyhodnocení měřených veličin jako stavový automat spočívá ve změně rychlosti jednotlivých kol o konstantní hodnotu. Tato hodnota je definována na začátku souboru jako *sm_speed_const*. Tato varianta řízení je jednodušší, ovšem její výsledek je horší než u použití PSD regulátoru. U vyhodnocení měření jako stavový automat je zapotřebí zkoušením nastavit konstantu tak, aby robot kmital okolo magnetické pásky co nejméně a zároveň zvládl sledovat i prudké zatáčky.

```
#ifndef TF_FC
#define HMC5883L_INTEGRATOR_VALUE (0xFF)

#define Kp (0.7)
#define Ki (0.3)
#define Kd (0.1)

#define sm_speed_const (0.25)

#define Zero_Speed (0x8000)
#define Normal_Speed (0xAAAA)

#define TF_FC
#endif
```

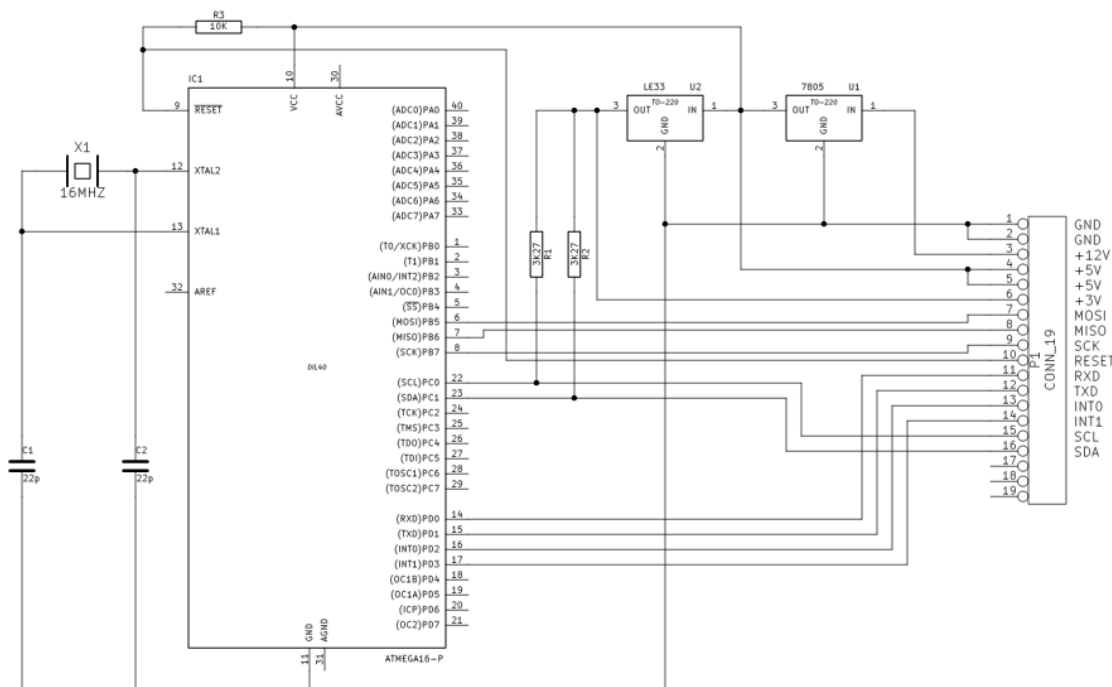
Obrázek 7.6: Definování konstant pro stavový automat a PSD regulátor

7.4.2 PSD regulátor

Při použití PSD regulátor je potřeba nejen experimentálně nastavit jeho konstanty, ale i upravit hodnoty snímané magnetickým kompasem tak, aby se nejednalo pouze o skokovou změnu. Tuto vlastnost zařizuje funkce *HMC5583L_UpdateValue(volatile int* updatedValue, int reallyValue)* využívající konstantu *HMC5883L_INTEGRATOR_VALUE*.

7.5 Schéma zapojení

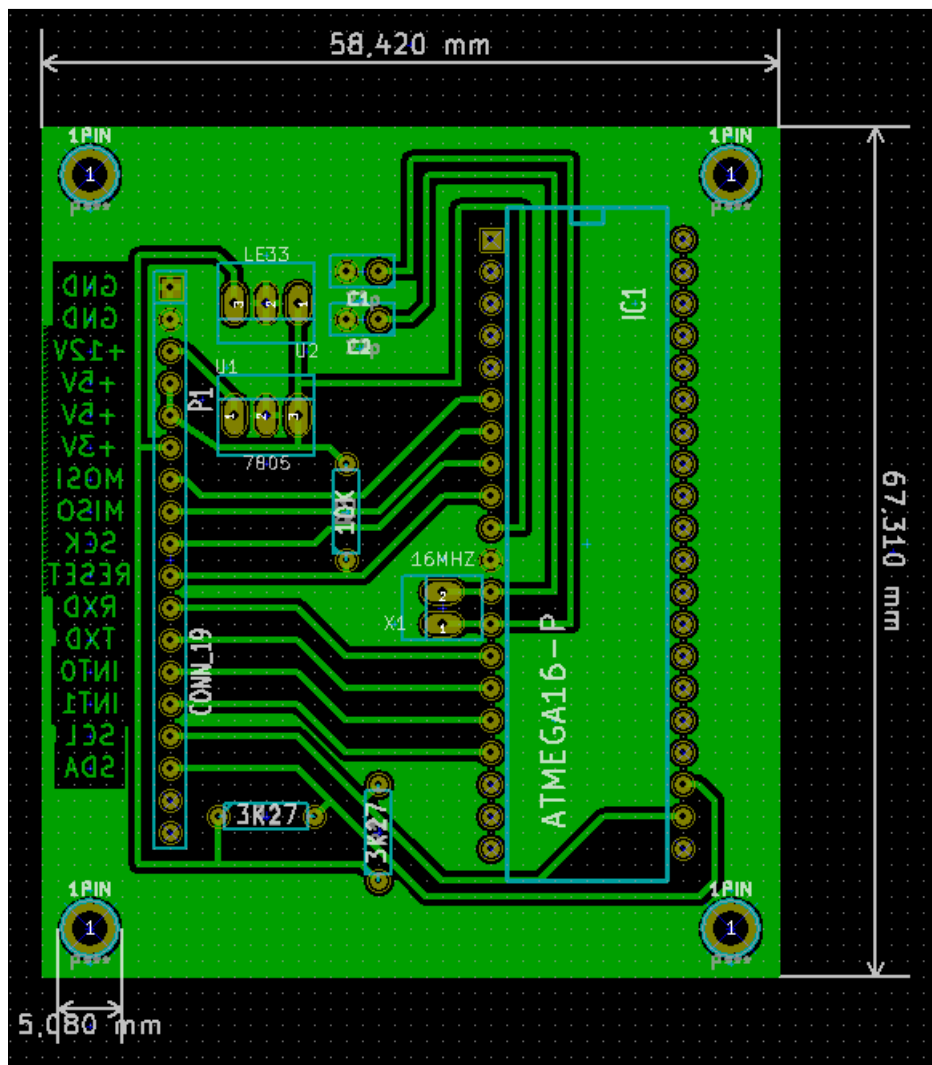
Schéma obsahuje pin pro stabilizované vstupní napětí +12V a společnou zem GND. Toto vstupní je napětí ovým regulátorem 7805 (U1) převedeno na +5V, které jsou opět vyvedeny z hlavního modulu pro napájení ultrazvukových sonarů SRF08 a tříosých kompasů HMC5883L. Hlavní schématu je mikrokontrolér ATmega16 připojený na napájecí napětí +5V. Frekvence mikrokontroléru je určena externím krystalovým oscilátorem 16MHz (X1). Oba vývody oscilátoru jsou přes kondenzátor s kapacitou 22pF připojeny na zem. RESET mikrokontroléru je přes rezistor 10kΩ (R3) připojen na +5V a vyveden na výstupní pin. Na výstup jsou také vyvedeny piny MOSI, MISO, SCK, externí přerušení (INT0, INT1), uart (RXD, TXD) a I²C (SDA, SCL). Oba vodiče sériové sběrnice I²C jsou přes 3,27kΩ pull-up rezistory (R1, R2) připojeny na napětí +3V. Toto napětí zajišťuje napětí ový regulátor LE33 (U2).



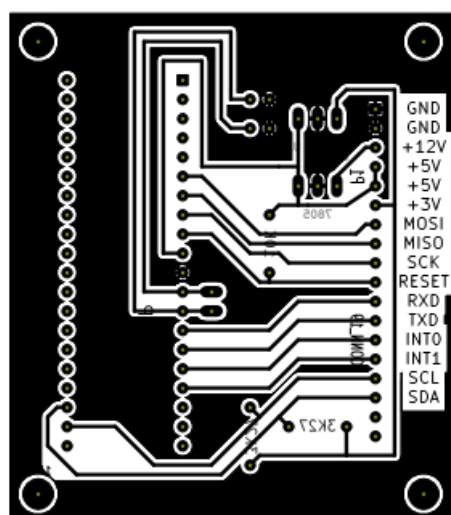
Obrázek 7.7: Schéma zapojení modulu

7.6 Návrh desky plošného spoje

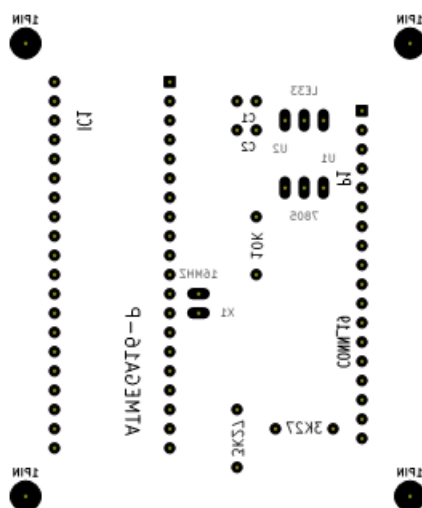
Modul má rozměry 67,3x58,4mm. Jedná se o jednovrstvý plošný spoj pouze se spodní vrstvou mědi. Tloušťka čar byla zvolena 0,5mm a minimální izolační mezera 0,254mm. 4 piny v rozích s průměrem 5mm představují montážní díry.



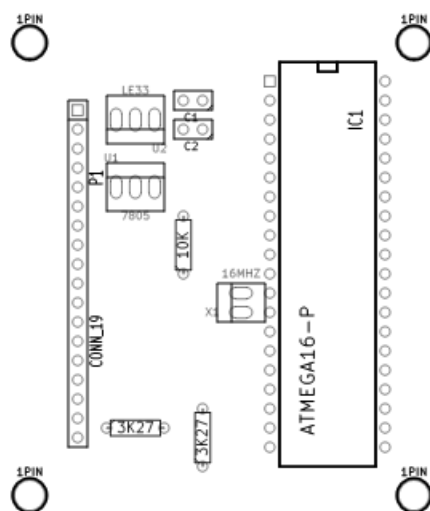
Obrázek 7.8: Návrh DPS hlavního modulu



Obrázek 7.9: Spodní strana DPS hlavního modulu



Obrázek 7.10: Osazení součástek spodní strany hlavního modulu



Obrázek 7.11: Osazení součástek horní strany hlavního modulu

7.7 Ovládání motorů kol robota

Program pracuje s nově navrženou strukturou ovládání kol. Ovládá se hodnotou v rozmezí 0000h až FFFFh. Předpokládaná normální rychlost pohybujícího se robota bez přítomnosti překážek je 0,1m/s. Snímač detekuje pásku do vzdálenosti 4cm odchyly středu magnetické pásky a středu snímače. Měřicí smyčka proběhne za 20ms. Modul je tedy schopný reagovat zaručit správné měření do rychlosti 1m/s.

8 ZÁVĚR

Dřívější návrhy modulu umožňující jízdu FEKTBOTu po trase definované magnetickou páskou byly kompletně změněny. Dříve navrhovaný magnetorezitivní můstek KMZ51 byl nahrazen tříosým kompasem HMC5883L čímž došlo ke zjednodušení celého modulu a ušetření součástek, které KMZ51 vyžadoval pro správnou činnost.

Byla navržena deska plošného spoje pro hlavní modul obsahující mikrokontrolér ATmega16, regulátory napětí, výstupy pro I2C, UART, externí přerušení 0 a 1. Deska také obsahuje piny umožňující opětovné programování mikrokontroléru (RESET, MISO, MOSI, SCK).

Bylo navrženo a realizováno monitorování překážek v cestě robota pomocí ultrazvukových senzorů SRF08. Také bylo vytvořeno snímání přítomnosti magnetické pásky pomocí kompasu HMC5883L.

Byla navržena a naprogramována nová struktura (packet) umožňující komunikaci s motory kol robota přes jednosměrné rozhraní UART.

Modul byl naprogramován a vyzkoušen na nepájivém poli.

Literatura

- [1] Bayer, R.: Jízda po čáře pro reklamní robot FEKT VUT v Brně – semestrální práce, VUT v Brně, 2011
- [2] Cerný, O., Marek, P., Herman, T.: *Jízda po čáře pro reklamní robot – projekt předmětu MRBT*, VUT v Brně, 2012
- [3] Ultrazvukové sonary. [online] [cit. 2014-05-23]. Dostupné z:
http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32330
- [4] Devantech SRF08 UltraSonic Ranger. [online] [cit. 2014-05-23]. Dostupné z:
<http://coecsl.ece.illinois.edu/ge423/DevantechSRF08UltraSonicRanger.pdf>
- [5] HONEYWELL. *3-Axis Digital Compass IC HMC5883L*. 2010, 20 s. [online] [cit. 2014-05-23] Dostupné z: http://www.adafruit.com/datasheets/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf
- [6] HITCHCOCK, Russell. OSI Reference Model: Layer 1 hardware. *OSI Reference Model*: [online]. 2008 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.windowsnetworking.com/articles-tutorials/common/OSI-Reference-Model-Layer1-hardware.html>
- [7] ZÁVODSKÝ, Ondrej. *Programujeme AVR v jazyku C* [online]. 2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://svetelektro.com/Download/avr_kniha.pdf
- [8] ATMEL. *ATmega16(L) Complete* [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>

- [9] TIŠNOVSKÝ, P. Komunikace po sériové sběrnici I2C. *Root.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbornici-isup2supc/>
- [10] I²C. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
- [11] KARAS, O. AVR – USART. *Programujte.com* [online]. 2006 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://programujte.com/clanek/2006111611-avr-uart/>
- [12] USART. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/USART>
- [13] FLEURY, Peter. *I2C master library using hardware TWI interface*. 2005. Dostupné z: <http://www.kvetakov.net/clanky/avr/79-sbornice-i2c.html>
- [14] VOJÁČEK, Antonín. Integrované AMR senzory magnetického pole. *Integrované AMR senzory magnetického pole* [online]. 2011 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/integrované-amr-senzory-magnetickeho-pole>
- [15] Using the I2C Bus. [online]. [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://www.robot-electronics.co.uk/acatalog/I2C_Tutorial.html

Seznam součástek

- 1x ATmega16
- 2x Kondenzátor 22 pF
- 2x Rezistor 3,27 kΩ
- 1x Rezistor 10 kΩ
- 1x Krystalový oscilátor 16 Mhz
- 1x Napěťový regulátor 7805
- 1x Napěťový regulátor LE33
- 3x Ultrazvukový sonar SRF 08
- 1x Magnetický kompas HMC 5883L

Seznam příloh

Příloha 1. Přiložené CD

- a) Elektronická verze bakalářské práce
- b) KiCad - schéma a DPS hlavního modulu
- c) KiCad - schéma a DPS modulu pro HMC5883L
- d) Překompilovaný soubor pro mikroprocesor ATmega16 .hex
- e) Schéma a DPS hlavního modulu
- f) Schéma a DPS modulu pro HMC5883L
- g) Zdrojové kódy a celý projekt pro Atmel Studio

Příloha 2. DPS hlavního modulu, osazení součástek horní strana

Příloha 3. DPS hlavního modulu, osazení součástek spodní strana

Příloha 4. DPS hlavního modulu, spodní strana

Příloha 4. DPS modulu pro HMC583L, horní strana