

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Bakalářská práce

Bakalářská práce

2012

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Navigační subsystém kolejového robotického vozidla

Tomáš Kadlec

Bakalářská práce

2012

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš Kadlec**
Osobní číslo: **I09462**
Studijní program: **B2646 Informační technologie**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Název tématu: **Navigační subsystém kolejového robotického vozidla**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Práce se bude zabývat návrhem a konstrukcí navigačního subsystému kolejového robotického systému. Navigační subsystém bude sloužit k určení polohy robotického vozidla pohybujícího se po kolejích. Tato informace bude využita v budoucnu pro zpětnovazební řízení robotického vozidla. Při návrhu jednotky budou pro navigační jednotku využity moderní elektronické senzory. Signál ze snímačů bude zpracován mikroprocesorem řady ATmega fy Atmel. Data z navigační jednotky budou zobrazena jak na zobrazovací jednotce navigačního subsystému, tak i zároveň přenášena bezdrátově do osobního počítače. Program mikroprocesora bude vytvořen v jazyce C pro mikroprocesor Atmel v prostředí AVR studia. Testování jednotky bude provedeno na robotickém systému modelu kooperativního řízení v laboratoři specializace.

Teoretická část:

- Rešerše současného stavu řešené problematiky.
- Popis činnosti vybraných komponent pro konstrukci navigační jednotky.

Implementační část:

- Návrh technického řešení jednotky.
- Realizace elektroniky navigační jednotky.
- Naprogramování firmware jednočipového mikroprocesora.
- Testování jednotky s vyhodnocením výsledků.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Novák Petr: Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení - 1. díl, BEN - technická literatura, 2005, ISBN 80-7300-141-1

Záhlava Vít: Návrh a konstrukce DPS, BEN - technická literatura, 2011, ISBN 978-80-7300-266-4

Plíva Zdeněk: Eagle Prakticky, BEN - technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-252-7

Burkhard Mann: C pro mikrokontroléry, BEN - technická literatura, 2003, ISBN 80-7300-077-6

Herout Pavel: Učebnice jazyka C - 1. díl, Koop, 2002, ISBN 978-80-7232-383-8

Herout Pavel: Učebnice jazyka C - 2. díl, Koop, 2002, ISBN 978-80-7232-367-8

www.atmel.com

www.elcad.cz

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Havlíček, Ph.D.

Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce:

5. prosince 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

11. května 2012



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.

děkan



L.S.



doc. Ing. František Dušek, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. března 2012

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci 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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 11. 05. 2012.

Tomáš Kadlec

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, Ing. Liboru Havlíčkovi Ph.D, za poskytnuté odborné rady a připomínky během zpracování této závěrečné práce a dále všem ostatním lidem, kteří mě podporovali.

Anotace

Cílem této práce je navrhnout a vyrobit inerciální navigaci vhodnou pro kolejového robotického vozidla ve 2D prostoru, s pomocí kompasu, gyroskopu a akcelerometru. Systém vypisuje a rekonstruuje skutečnou ujetou dráhu a její tvar, pomocí algoritmu zpracovávaném mikrokontrolérem.

Klíčová slova

Inerciální navigace, akcelerometr, gyroskop.

Title

The navigation subsystem of railway robotic vehicle.

Annotation

The aim of this work is to design and produce innercial navigation for railway robotic vehicle in 2 dimension space using digital compass, gyroscope and accelerometer. The system should print and reconstruct actual path of vehicle and shape of the track, using an algorithm processes by microcontroller.

Keywords

Navigation, accelerometer, gyroscope.

Obsah

<i>Seznam zkratek</i>	9
<i>Seznam obrázků</i>	9
<i>Seznam tabulek</i>	10
<i>Úvod</i>	11
1 Teoretická část	12
1.1 Technologie MEMS	12
1.1.1 Výhody a nevýhody MEMS technologie.....	13
1.2 Akcelerometry	14
1.2.1 Typy akcelerometrů.....	14
1.3 Gyroskopy	16
1.3.1 Mechanický gyroskop	16
1.3.2 Optický gyroskop	17
1.3.3 Jaderný gyroskop	18
1.3.4 Elektrický gyroskop	18
1.3.5 Kvantový gyroskop.....	19
1.4 Magnetometry	20
1.5 Inercialní navigační systémy	20
1.6 Sběrnice I2C	21
1.6.1 Komunikace I2C	23
1.7 ATmega8	24
1.7.1 Základní vlastnosti	24
1.8 Inkrementální rotační snímač	25
2 Praktická část	28
2.1 Blokové schéma navigačního systému vozidla	28
2.2 HDPM01 - Komunikační modul: číslicový kompas, čidlo tlaku	28
2.2.1 Kompas	29
2.2.2 Popis Pinů	29
2.2.3 Zapojení	30
2.3 Akcelerometr MMA7260Q	31
2.3.1 Parametry MMA7260Q.....	31
2.3.2 Popis pinů.....	31
2.3.3 Zapojení akcelerometru.....	32
2.4 Gyroskop LPR530AL	33
2.4.1 Parametry	33
2.3.2 Popis pinů.....	33
2.5 Arduino Uno	34
2.5.1 Parametry	35
2.5.2 Popis pinů.....	36
2.5.3 Arduino schéma	37
2.5 Zapojení senzorů	38
2.5.1 Připojení modulu kompasu HDPM01	38
2.5.2 Zapojení akcelerometru MMA7260Q	40
2.5.3 Zapojení gyroskopu LPR530AL	42
3 Závěr	43
<i>Seznam použité literatury</i>	44
<i>Příloha A – Zdrojový kód programu akcelerometr</i>	46
<i>Příloha B – CD</i>	48

Seznam zkratek

MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
BICMOS	Bimetal Complementary Metal Oxide Semiconductor
USB	Universal Serial Bus
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
I2C	Standart sériové komunikaci vyvinutý firmou Phillips
Precese	fyzikální jev, při němž se působením vnější dvojice sil mění orientace osy setrvačnicku v prostoru
IRC	Inkrementální rotační senzor

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Dělení MEMS technologie.....	12
Obrázek 2 - Mikropohon vyroben MEMS technologií [1]	13
Obrázek 3 – Akcelerometr [3].....	14
Obrázek 4 - Princip akcelerometru s proměnou kapacitou [7].....	15
Obrázek 5 - Mechanický gyroskop [10]	17
Obrázek 6 - Elektrický gyroskop [12]	18
Obrázek 7 - Princip Coriolisovy síly [13]	19
Obrázek 8 – Magnetometr [15]	20
Obrázek 9 - Ukázka spojení I2C [19]	21
Obrázek 10 - Komunikační protokol I2C [20].....	23
Obrázek 11- ATmega8 [22]	24
Obrázek 12 - Popis pinů ATmega8.....	25
Obrázek 13 - Inkrementální rotační senzor	26
Obrázek 14 - Výstup z inkrementálního snímače.....	27
Obrázek 15 - Blokové schéma systému robota	28
Obrázek 16 - Modul HDPM01 [25].....	29
Obrázek 17 - Popis pinů modulu HDPM01	29
Obrázek 18 - Typické zapojení modulu HDPM01	30
Obrázek 19 - Popis pinů.....	31

Obrázek 20 - Zapojení akcelerometru s mikrokontrolérem	32
Obrázek 21 - Popis pinů	33
Obrázek 22 – Arduino Uno	35
Obrázek 23 – Schéma Arduino Uno	37
Obrázek 24 – Zapojení senzoru do modulu Arduino	38
Obrázek 25 – Napěťová redukce	38
Obrázek 26 – Redukce	39
Obrázek 27 – Testování kompasu	39
Obrázek 28 – Vývojový diagram programu pro obsluhu akcelerometru	40
Obrázek 29 – Vývojový diagram programu pro obsluhu gyroskopu	42

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Označení bitů	22
Tabulka 2- Popis pinů	30
Tabulka 3 - Popis jednotlivých pinů	32
Tabulka 4 - Popis pinů	34
Tabulka 5 – Popis pinů desky Arduino	36

Úvod

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout a vyrobit inerciální navigaci pro zjišťování pozice kolejového robota po kolejové dráze. Návrh systému spočíval ve výběru senzorů, mikrokontroléru a dalších komponent. Během zpracovávání práce se moje vize o systému několikrát měnila až do finální fáze, která je v práci popsána. Pro navigaci vozidla bude zásadní znalost funkce akcelerometru, gyroskopu a digitálního kompasu, jež jsou v práci použity. Funkci celého systému bude řídit mikrokontrolér, který bude obsluhovat jednotlivé senzory a na základě navrhnutého algoritmu určí polohu vůči počáteční poloze vozidla.

V první části je vysvětlena technologie minimalizace a integrace senzorů MEMS, díky této technologii mohou být senzory velice malé a vhodné pro použití v malé navigaci pro vozidlo. Dále popisují funkční principy jednotlivých komponent (akcelerometr, gyroskop, magnetometr a vybraný mikrokontrolér). Mezi další teoretické znalosti jsem zahrnul funkci I2C sběrnice a princip inerciální navigace. Na konci kapitoly je vysvětlena funkce IRC senzoru.

V druhé části pak nahlédneme na blokové schéma vybraných komponent pro navigaci vozidla. Tato část pojednává o praktickém řešení zadaného téma především o jednotlivých senzorech (akcelerometr MMA7260Q, digitální kompas HDPM01 a gyroskop LPR530AL). Při zapojení akcelerometru jsem musel vyřešit numerickou integraci v mikrokontroléru pro získání dráhy ze zrychlení získané akcelerometrem. Dále se věnuji popisu platformy Arduino, jelikož jsem ji použil místo samostatného mikrokontroléru. Na konci kapitoly je popsáno zapojení všech senzorů k platformě Arduino a vysvětlení vývoje programu pro navigaci vozidla, které je řešeno pomocí 3 základních senzorů, jejichž data jsou zpracována v mikrokontroléru a poté poslána po sériové lince do počítače. Na konci kapitoly je testování funkce kompasu. Pro lepší představu funkce programu jsem vložil vývojový diagram ke všem programům.

V přílohách se nachází zdrojový kód pro obsluhu akcelerometru a přiložené CD s podklady pro samostatnou práci.

1 Teoretická část

1.1 Technologie MEMS

Micro-Electro-Mechanical Systems (Mikro elektricko mechanické systémy) jsou především mechanické a elektromechanické systémy, které jsou vyráběny pomocí nanotechnologie. Oproti výrobě standardních elektronických systémů pomocí postupů výroby integrovaných obvodů, jsou mikromechanické komponenty vytvářeny pomocí vhodných mikroobráběcích procesů, které vyleptávají nové části křemíkového obvodu, nebo přidávají nové funkční struktury. Elektronické součásti jsou vyráběny technologií CMOS, Bipolar nebo BicMOS.

Obvod MEMS může být velice jednoduchý senzor bez pohybujících se součástí, nebo může být naopak velice složitý a komplexní s mnoha pohybujícími se částmi a funkčními prvky. Za prvky MEMS můžeme označit miniaturizované struktury, senzory, pohony a mikroelektronika z nichž jsou nejvíce důležité mikrosenzory a mikropohony. Senzory a pohony se obvykle považují za převodníky, jejichž úkolem je převod jedné formy energie na jinou, například mikrosenzory převádějí měřenou veličinu na elektrický signál [1].

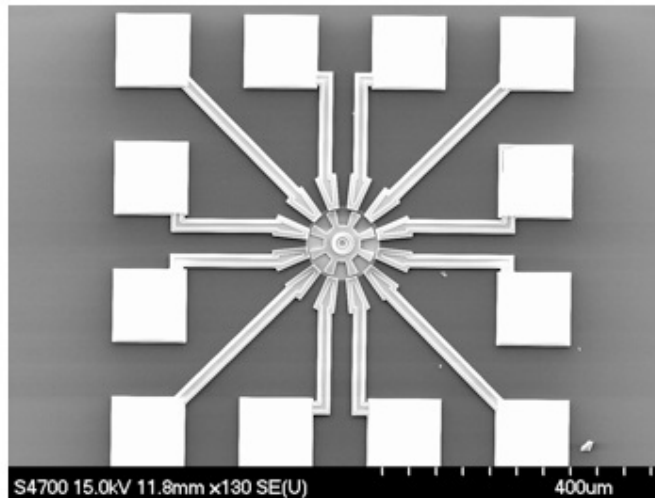


Obrázek 1 - Dělení MEMS technologie

Z hlediska vývoje a výroby mikrosenzorů se dá říci, že se vyrábějí všechny druhy a typy senzorů pro měření téměř všech fyzikálních veličin. Například senzory pro měření magnetického pole, tlaku, radiace a chemického složení. Díky vývoji nanotechnologie a zlepšení automatizačních výrobních postupů můžeme dosáhnout velmi nízké výrobní ceny

senzoru. Cenová dostupnost a vynikající spolehlivost měřících prvků zajišťuje velkou poptávku po těchto senzorech.

Mikropohony prezentují řadu vnitřních řídicích prvků např. mikroventily pro kontrolu proudění kapalin a plynů, optické přepínače nebo zrcadla umožňující rozptýlení a modulování světelného paprsku [2].



Obrázek 2 - Mikropohon vyroben MEMS technologií [1]

Vývoj MEMS technologií a zvláště mikrosenzorů MEMS zajišťuje miniaturizaci a zlepšení vyráběných senzorů.

1.1.1 Výhody a nevýhody MEMS technologie

Výhody MEMS

- Miniaturizace systému
- Vysoká odolnost proti mechanickému namáhání
- Nízká spotřeba elektrické energie
- Nízké náklady na hromadnou výrobu
- Kompaktnost systému

Nevýhody MEMS

- Nemožnost opravy
- Vysoké náklady na výrobu jednotlivých kusů

1.2 Akcelerometry

Akcelerometry jsou senzory používající se pro měření zrychlení, měření vibrací při pohybu struktur, měření natočení, měření odstředivé síly a také v automobilovém průmyslu pro měřicí čidla Airbagů. Podle působení zrychlení na akcelerometr ho můžeme rozdělit na dynamické zrychlení a statické zrychlení. Dynamické zrychlení resp. síla vzniklá změnou rychlosti pohybujícího se tělesa (senzoru). Statické zrychlení resp. síla vzniklá při působení gravitace země, je to zrychlení, které působí na objekt neustále a v případě dynamického měření jej musíme odfiltrovat, abychom získali přesnou hodnotu zrychlení očištěnou od statického zrychlení.



Obrázek 3 – Akcelerometr [3]

1.2.1 Typy akcelerometrů

Mezi nejpoužívanější typy akcelerometrů patří piezoelektrický, piezorezistivní akcelerometr a akcelerometr s proměnou kapacitou.

- **Piezoelektrické akcelerometry (PE)**

Tento snímač se skládá ze dvou částí z piezoelektrického materiálu (piezoelektrický krystal), který funguje jako měřicí snímač zrychlení a seismická hmota, která převádí dle Newtonova zákona hodnotu zrychlení na sílu $F = m \cdot a$, kde a je zrychlení a m je hmotnost seismické hmoty. Piezoelektrický materiál je uložen pod seismickou hmotou, proto při působení zrychlení na seismickou hmotu se na piezoelektrický materiál přenáší síla přímo

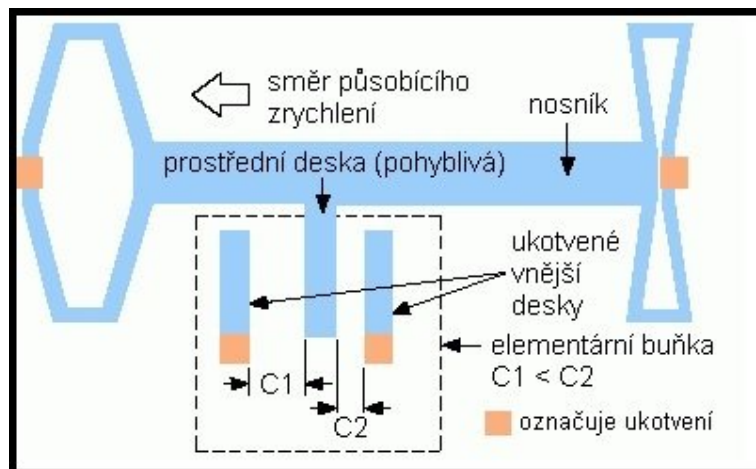
úměrná velikosti zrychlení a hmotnosti seismického tělesa. Díky této síle se na piezoelektrickém materiálu generuje elektrický náboj Q . Protože seismická hmota má konstantní hmotnost, výstupní signál v podobě náboje je přímo úměrný zrychlení senzoru [4].

- **Piezorezistivní akcelerometry (PR)**

Tento senzor je založen na stejném principu jako piezoelektrický akcelerometr. Piezorezistivní akcelerometr využívá piezorezistivní materiál na rozdíl od piezoelektrického snímače zrychlení. Tento materiál při tlaku jaký na něj působí seismická hmota mění svůj odpor, proto je změna zrychlení rovna změně odporu. V integrovaných piezorezistivních akcelerometrech se využívá sítě vyleptaných měřících piezorezistivních snímačů (můstků) zapojených ve Wheastonově můstku. Piezorezistivní akcelerometry mají tu výhodu proti piezoelektrickým, že mohou měřit i stálou (neměnnou) akceleraci, tj. frekvenci změn od 0 Hz [5].

- **Akcelerometry s proměnou kapacitou (VC)**

Princip činnosti těchto senzorů je založen na změně kapacity vnitřního integrovaného kondenzátoru působením síly, která byla udělena akcelerací senzoru. Samostatné čidlo je vlastně mikromechanická polykřemíková struktura plovoucí na povrchu křemíkového monokrystalu jak je vidět na obr. 4.



Obrázek 4 - Princip akcelerometru s proměnou kapacitou [7]

Pod monokrystalickou deskou jsou umístěny dva kondenzátory v diferenčním zapojení. Proto dojde-li k posunutí či deformaci pohyblivé struktury působením zrychlení, je tato

změna zaznamenána jako změna poměru kapacity. Struktura senzoru umožňuje měřit kladná a záporná i statická a dynamická zrychlení [6].

Změna poměru kapacity je vyjádřena jako změna jednotlivých kapacit, která je přímo úměrná permitivitě ϵ a nepřímo úměrná podílu obsahu ploch elektrod S a vzdálenosti elektrod d dle vztahu

$$C = \epsilon \cdot \frac{S}{d} \quad (1)$$

1.3 Gyroskopy

Gyroskopy jsou snímače používající se k stanovení úhlové rychlosti a natočení. V praxi se používají zejména v navigaci např. u letadel a balistických raket. Přístroj obsahuje setrvačnick, který zachovává polohu osy své rotace v inerciálním prostoru. Přesnost gyroskopu závisí na stabilitě udržení jeho otáček [8].

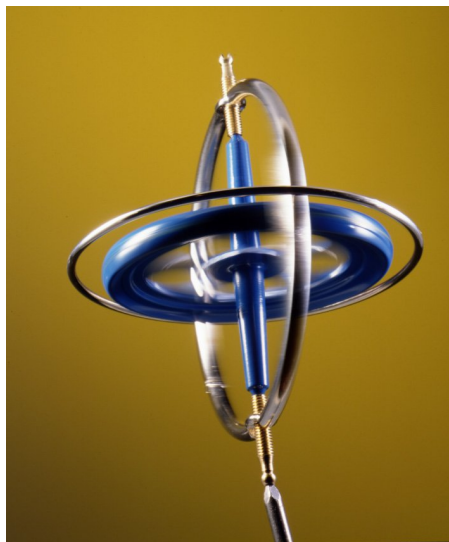
Gyroskopy lze rozdělit podle fyzikálního principu na tyto kategorie:

- **Mechanické**
- **Optické**
- **Jaderné**
- **Elektrické**
- **Kvantové**

1.3.1 Mechanický gyroskop

Gyroskop na obr. 5 se skládá z otáčejícího setrvačnicku a kovové konstrukce gyroskopu v podobě dvou kruhů na sebe kolmých. Osou setrvačnicku vede kovová osa, která jej spojuje s kovovou konstrukcí. Otáčející se setrvačnick má moment hybnosti, takže jeho osa bez působení vnějších sil udržuje stále stejný směr – je to tedy zařízení, které dokáže určit svoji orientaci v prostoru (setrvačnick nemění při rotaci svou polohu a tím dává informaci o orientaci dopravního prostředku v prostoru). Obvykle je setrvačnick uložen v tzv. Cardanových závěsech, má tzv. 3 stupně volnosti). Pro tuto vlastnost je hojně využíván např. v letectví (tzv. umělý horizont), dále jako gyromouse, spaceball,

či na lodích atd. Pokud se v gravitačním poli zavěsí gyroskop na lanko a roztočí, osa otáčení se změní do pravého úhlu k závěsu a gyroskop se otáčí podél osy shodné se směrem působení gravitační síly (každé rotující těleso má snahu dostat se do polohy s největším momentem setrvačnosti, což je v případě rotujícího válce, resp. tenké kruhové desky rotace kolem osy kolmé k ose válce). Tento typ pohybu se nazývá precese. Čím větší je setrvačnická a čím rychleji jej roztočíme, tím je precese výraznější. Pevnost osy gyroskopu v prostoru je dána prvním Newtonovým zákonem, který říká, že těleso které je v klidu nebo v pohybu zůstává v setrvačném stavu, dokud na něj nezačne působit síla zvnějšku. Takto i osa gyroskopu, která je ze začátku rychle roztočena, má svou vlastní tendenci ve své rotaci a poloze setrvat [9].



Obrázek 5 - Mechanický gyroskop [10]

1.3.2 Optický gyroskop

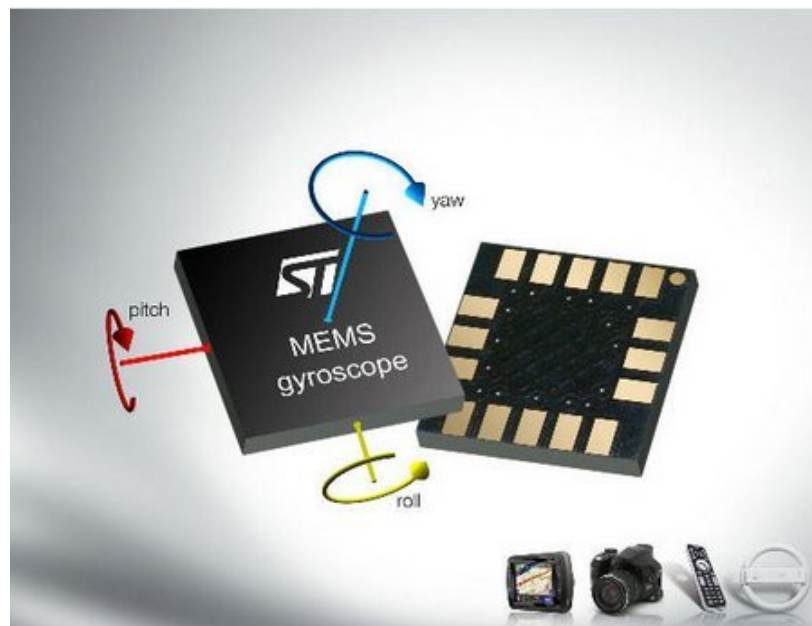
Optické nebo také laserové gyroskopy jsou velice přesné senzory, které umí změřit změnu úhlové rychlosti a následně určit změnu rychlosti. Optické gyroskopy jsou založeny na principu Sagnacova interferometru, kdy jsou proti sobě vystřeleny dva laserové paprsky. Vlivem rotace dochází k vzájemné změně optické dráhy, kterou projdou oba svazky za stejnou dobu. Vyhodnocením získáme úhlovou rychlost otáčení. Obvykle se konstruují jako tři gyroskopy s navzájem kolmými osami, aby bylo možné určovat vektor úhlové rychlosti a pozici v prostoru [11].

1.3.3 Jaderný gyroskop

U jaderných gyroskopů se využívá jaderného paramagnetismu látek, každý atom nebo molekula má určitý spin (moment hybnosti jader). Spin nabývá celých nebo polocelých násobků redukované Planckovy konstanty $h = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Js. Vystavíme-li jádra vnějšímu magnetickému poli, jádra se přeorientují podle směru magnetického pole. Když poté vliv pole zrušíme, jádra atomů nám zachovávají stejnou orientaci. Podle orientace jader atomů můžeme získat pozici v prostoru.

1.3.4 Elektrický gyroskop

Gyroskopy vyráběné pomocí technologie MEMS. Dnes již můžeme používat gyroskop v podobě integrované logiky, obvodů a samotného snímače. Výstupem MEMS gyroskopu je pak digitální nebo analogový signál.

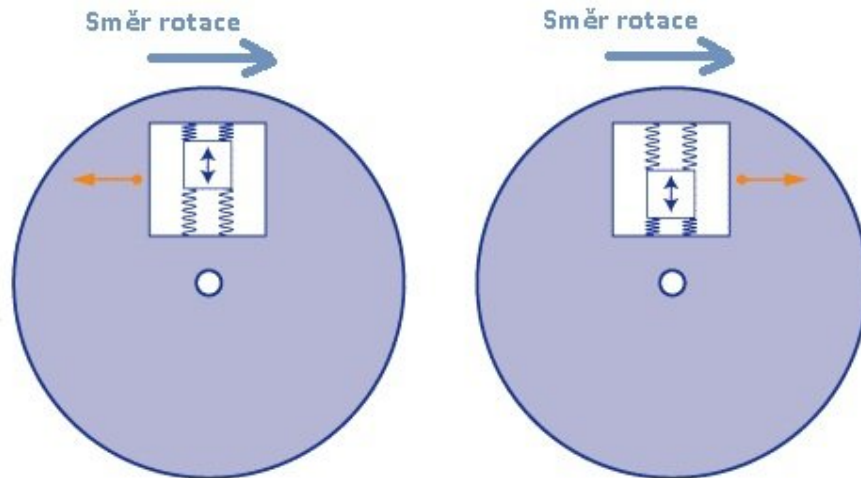


Obrázek 6 - Elektrický gyroskop [12]

Princip senzoru je založen na Coriolisově síle, to je virtuální síla, která působí na libovolný hmotný předmět či objekt o hmotnosti m , který se pohybuje rychlostí v v soustavě rotující kolem své osy úhlovou rychlostí ω . Coriolisova síla působí na každý objekt na zemi.

Vzorec pro výpočet Coriolisovy síly:

$$F_c = m \cdot v \times \omega. \quad (2)$$



Obrázek 7 - Princip Coriolisovy síly [13]

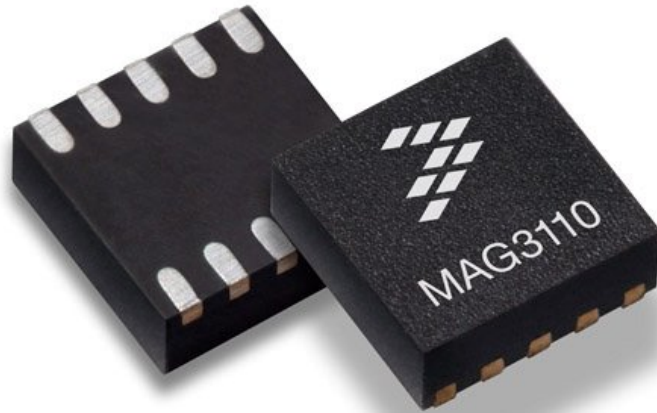
V praktickém použití Coriolisovy síly v integrovaných gyroskopech se používá technologie MEMS, kde se při výrobě vytváří na samotném senzoru mechanické mikročásti a elektrické obvody. Základem každého senzoru je periodicky se pohybující struktura o přesně definované hmotnosti, která je upevněna pomocí pružin do rámu. Při samotné rotaci systému dochází k působení Coriolisovy síly na pohybující strukturu, která má za důsledek stlačování pružin na Obr. 7. Stlačení vnějších pružin způsobí vzájemný posuv měřících plošek fungujících jako elektrody vzduchových kondenzátorů. Výstup je tedy změna kapacity odpovídající změně úhlové rychlosti. Typické použití MEMS gyroskopů je ve spotřební elektronice např. v chytrých mobilních telefonech [14].

1.3.5 Kvantový gyroskop

Kvantový gyroskop patří mezi zvláštní typy gyroskopů, jež nevyužívají setrvačnosti hmoty, ale vlastností atomových jader.

1.4 Magnetometry

Magnetometr se používá pro měření velikosti a směru magnetické indukce. Mají velice široké uplatnění ve všech technických oborech, např. se používají ve zkoumání elektromagnetického pole země, v letectví, v ponorkách a dále se používá pro průzkum složení hornin z důvodů hledání vzácných kovů (zlato, stříbro, měď, platina a diamanty).



Obrázek 8 – Magnetometr [15]

V praxi se pro měření používá protonový magnetometr, který využívá k měření magnetického pole precese protonů. Protony neboli protonová jádra vodíku v kapalině bohaté na vodík se chovají jako malé dipóly. Ty se ve výchozím stavu zmagnetizují pomocí budící cívky. Poté se budící cívka vypne a protony se přizpůsobí vnějšímu magnetickému poli a generují v cívce malý signál. Nevýhodou protonového magnetometru je, že měří pouze velikost magnetického pole a celkový vektor. Nelze měřit zvlášť vertikální a horizontální složku geomagnetického pole [16].

Existují také další magnetometry, které měří magnetické pole pomocí převodů jiných parametrů jako například Hallův magnetometr, který měří Hallovo napětí a pomocí něho vypočítává sensor magnetické pole [17].

1.5 Inerciální navigační systémy

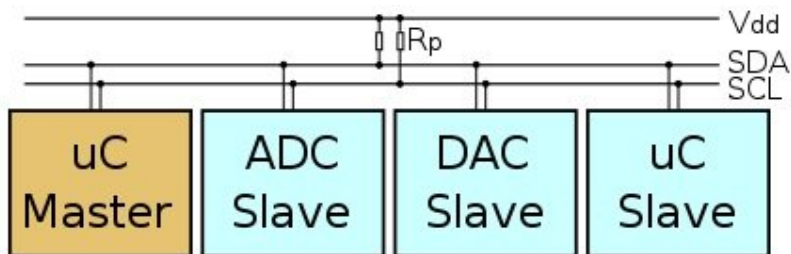
Inerciální navigace se používá pokud známe výchozí tj. nulovou polohu. Všechny objekty ve vesmíru mají 6 stupňů volnosti 3 stupně, které udávají polohu objektu

v prostoru (x,y,z) a 3 stupně volnosti rotace. Známe-li všechny tyto hodnoty můžeme říci, že známe polohu objektu. Při delším monitorování objektu můžeme získat údaje o rychlosti a směru pohybu, toho se využívá zejména při navádění např. u raket.

Pro zjištění směru pohybu objektu se používají gyroskopy a pro určení rychlosti či pozice akcelerometry. Gyroskopem se změří vektory pohybu ve všech třech osách a výsledný vektor nám udává směr pohybu. Při snímání objektu akcelerometrem získáme jeho zrychlení ve všech třech osách, integrací zrychlení získáme rychlost pohybu objektu a při druhé integraci pozici objektu. Známe-li tedy rychlost (polohu) a směr pohybu máme všechny informace potřebné pro navigaci. Mezi nejjednodušší implementace inerciální navigace patří odometrie [18].

1.6 Sběrnice I2C

Sběrnice I2C (I2C-bus, Inter-IC-bus) je dvou vodičové datové propojení mezi jedním nebo několika procesory (Masters) a speciálními periferními součástkami (Slaves). Sběrnice byla vyvinuta firmou Philips. Všechny součástky jsou připojeny na téže sběrnici a jsou cíleně vybírány svými adresami. Adresy i data se přenášejí týmiž vodiči. Sběrnice umožňuje velmi jednoduché propojení mezi několika integrovanými obvody a bezproblémové dodatečné rozšiřování. Řídící Master – zahajuje a ukončuje komunikaci, generuje hodinový signál SCL. Řízený Slave – zařízení adresované masterem.



Obrázek 9 - Ukázka spojení I2C [19]

V tabulce 1 jsou uvedeny všechny druhy bitů, používajících se pro určení stavu I2C sběrnice.

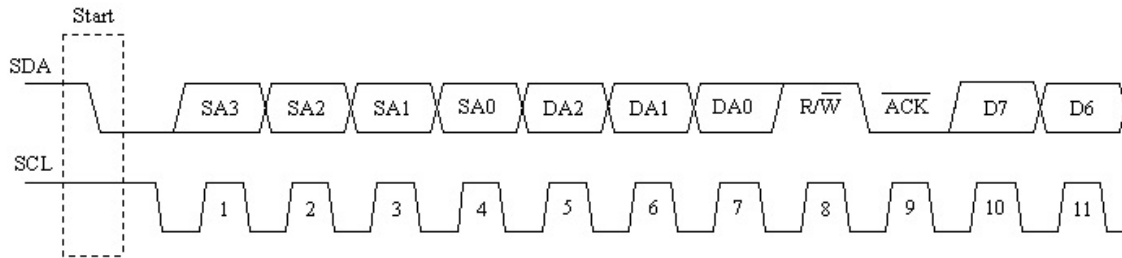
Tabulka 1 - Označení bitů

Označení bitu	Význam bitu
STOP bit	Bit se používá pro oznámení o ukončení spojení
START bit	Bit pro oznámení navazování spojení
ACK bit	Přijímací bit
Adresové bity	Bity obsahující jedinečnou adresu
Datové bity	Vlastní data

Sběrnice I2C umožňuje propojení až 128 různých zařízení s pomocí pouze dvou obousměrných vodičů SDA a SCL. Hodinový signál SCL (Synchronous Clock) a druhý datový kanál SDA (Synchronous Data). Z elektrického hlediska jsou oba kanály zapojeny jako otevřený kolektor. Maximální délka obou vodičů je dána jejich nejvyšší přípustnou kapacitou 400 pF. Každý ze dvou vodičů musí být zapojen jedním rezistorem ke kladnému napětí, což zajistí vysokou úroveň (vysoká logická úroveň) v klidovém stavu. Při probíhajícím přenosu na SDA jsou vysílány jednotlivé datové bity a platí pravidlo, že logická úroveň na SDA se smí měnit pouze, je-li SCL v úrovni L. Toto pravidlo je porušeno ve dvou speciálních případech a to při vysílání podmínek START a STOP. START se používá pro zahájení komunikace a STOP pro ukončení navázané komunikace. Maximální frekvence signálu SCL je podle verze I2C 100 kHz nebo 400 kHz. Pro obě frekvence je dána minimální povolená doba setrvání SCL v úrovni L a H. Při komunikaci i při přenosu dat si jednotlivé stanice synchronizují generátory hodin tak, že trvání úrovně H na SCL je odměřováno vnitřním časovačem každé stanice až od okamžiku, kdy SCL dosáhne skutečné úrovně H (protože je SCL typu otevřený kolektor, může být v úrovni L držen i v situaci, kdy se daná stanice snaží nastavit úroveň H). Podobně je doba trvání úrovně L na SCL odměřována od sestupné hrany. Tento mechanismus umožňuje některé ze stanic zpomalit přenos. Pomalá stanice může podržet po určitou dobu signál SCL v úrovni L, a tím zabránit vysílající stanici ve vyslání dalšího bitu. Sběrnice I2C je poloduplexní tzn., že v jednom okamžiku vysílá jen jedno zařízení. Všechna zařízení připojená na sběrnici musí mít svou vlastní jedinečnou adresu o délce 7 nebo 10 bitů a implementovaný mechanismus komunikace pomocí I2C sběrnice [19].

Každému přenosu předchází vyslání podmínky START, která stabilizuje přenos mezi vybranými zařízeními obr. 10. Potom je vysílána 7 bitová adresa příjemce a jeden bit R/W, který indikuje požadovanou operaci (čtení/zápis). Další bit ACK je vysílán s úrovní

H a je určen k potvrzení přijímací stanice o připravenosti přijímat. Dále jsou přenášena data ve směru určeném předchozím bitem R/W. Každý byte je následován jedním bitem ACK. Po ukončení přenosu je vyslána podmínka STOP, která ukončuje spojení [20].



Obrázek 10 - Komunikační protokol I2C [20]

1.6.1 Komunikace I2C

Mezi základní operace komunikace patří tyto 3 prvky:

- **Řízení komunikace**
- **Adresování**
- **Potvrzování**

Řízení komunikace

Pro řízení komunikace na I2C sběrnici se používá metoda s detekcí kolizí. Každá ze stanic může kdykoliv zahájit komunikaci, je-li sběrnice v klidovém stavu. Během vysílání se musí neustále porovnávat vysílané bity se skutečným stavem SDA. Kolize je indikována rozdílem mezi skutečným stavem SDA a očekávaným stavem SDA. Vzhledem k charakteru sběrnice (otevřené kolektory) může k této situaci dojít, pokud určitá stanice vysílá úroveň H a jiná stanice vysílá úroveň L. Stanice, která na lince zjistí úroveň L, zatímco sama vysílá H, musí vysílání okamžitě ukončit. K řízení komunikace většinou dochází během vysílání několika prvních bitů, kdy je vysílána adresa přijímací stanice. Pokud by se např. dvě stanice současně pokusily o zápis do stejného obvodu, kolize nastane až při samotném přenosu vlastních zapisovaných dat. V některých případech, kdy několik stanic zapisuje současně stejná data na stejnou adresu, nemusí být kolize vůbec detekována [19].

Adresování

Každá stanice připojená na I2C sběrnici má přidělenou svou jedinečnou 7 bitovou adresu, podle které se adresuje. Po zachycení podmínky START porovnávají všechny obvody svou adresu s vyslanou adresou na sběrnici. Zjistí-li některý z obvodů shodu, je vysílání určeno právě jemu a musí přijetí adresy potvrdit bitem ACK. Potom přijímá nebo vysílá další data. Několik adres je na I2C vyhrazeno pro speciální účely např. adresa 0000000 je určena pro vysílání broadcast [19].

Potvrzování

Každý vysílaný byte a vyslaná adresa je následována vysláním jednoho bitu ACK jak je uvedeno na obr. 10. Tento bit se vysílá pro ukázání správnosti posláni dat (indikuje potvrzení). Vysílající stanice jej vysílá na úrovni H. Přijímající stanice potvrzuje přijetí tím, že v době vysílání ACK připojí SDA na úroveň L a tím se inicializuje korektnost přenosu dat. Pokud vysílající stanice nedostane potvrzení příjmu, pokračuje vysláním ukončovací podmínky STOP [19].

1.7 ATmega8

Osmibitový mikročip typu RISC s harvardskou architekturou vyrábí firma Atmel, kapitola čerpána z [21].

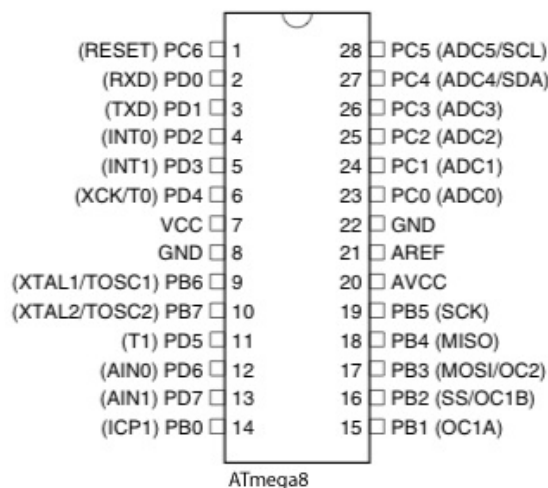


Obrázek 11- ATmega8 [22]

1.7.1 Základní vlastnosti

- Až 130 výkonných instrukcí
- 32 * 8 Hlavních pracovních registrů

- Maximální frekvence: 16 MHz
- Velikost paměti Flash: 8KiB
- Velikost paměti EEPROM: 512 B
- Velikost paměti SRAM: 1024 B
- Napájecí napětí v rozsahu 4,5 – 5,5 V
- 6 nebo 8 kanálový 10-bit A/D převodník

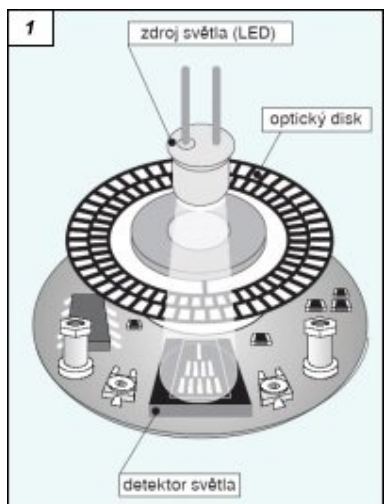


Obrázek 12 - Popis pinů ATmega8

1.8 Inkrementální rotační snímač

Inkrementální senzory obr. 13 jsou typicky používané ve zpětnovazebních systémech řízení polohy, rychlosti a případně zrychlení. Používají se v robotice, pro zdravotní techniku a v dalších technologických odvětvích. Kapitola čerpána z [23].

Inkrementální senzory jsou charakteristické svou vysokou rozlišovací schopností, malými rozměry a nízkou hmotností. Název inkrementální značí princip činnosti, založeném na otáčivém mezikruží s pravidelně se střídajícími se průhlednými a neprůhlednými ryskami. Na rysky svítí LED dioda a jak je vidět na obrázku, a světelný paprsek projde nebo neprojde disky. Toto světlo je na druhé straně disku detekováno fototranzistorem. Do optické cesty mezi LED diodou a fototranzistorem je ještě zařazen nepohyblivý maskovací kotouč s ryskami o stejné rozteči, jako má kotouč pohyblivý. Světlo ze zdroje prochází přes průhledné rysky pohyblivého kotouče.



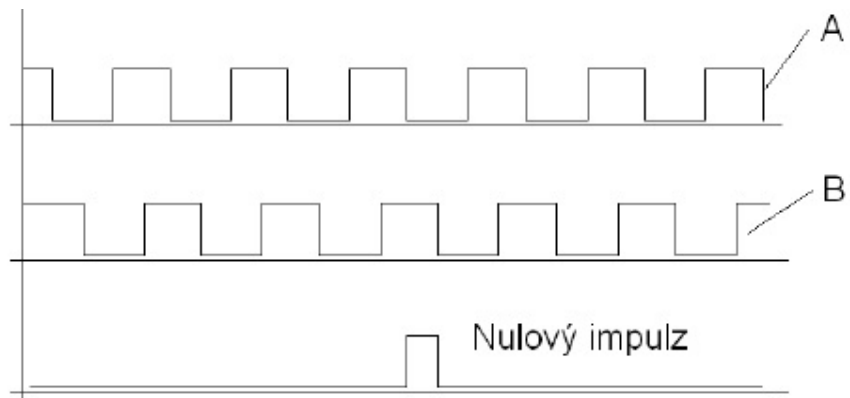
Obrázek 13 - Inkrementální rotační senzor

Jsou-li v zákrytu průhledné rysky pohyblivého kotouče a rysky pevného maskovacího kotouče, dopadá na fototranzistor maximální světelný tok. Jestliže některý z kotoučů blokuje průchod paprsků tak je světelný tok dopadající na fototranzistor minimální. Výstupní signál snímače v podobě sinusového průběhu je tedy přímo úměrný počtu rysek na otáčku a rychlosti otáčení pohyblivého kotouče. Tento sinusový průběh je pomocí komparátoru převeden na obdélníkový průběh. Je-li potřeba rozeznat smysl otáčení, musí být maskovací kotouč opatřen druhým segmentem s ryskami posunutými vůči ryskám prvního segmentu o úhel α

$$\alpha = \left(k + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{2\pi}{n} \quad (3)$$

kde n je počet rysek na otáčku
 k celé číslo.

Na obr. 14 je výstup inkrementálního rotačního snímače. Průběh A znázorňuje signál z prvního fotosenzoru a druhý průběh B je fázově posunutý signál z druhého fotosenzoru. Na obrázku je také ukázán nulový impulz, který je daný nulovou (referenční) pozicí kotouče tzn. je generován jednou za otočení kotouče.



Obrázek 14 - Výstup z inkrementálního snímače

Detekováním změny fáze těchto dvou signálů A a B získáme informaci o směru otáčení senzoru. Signály A a B se také často označují jako kvadrurní. Pro aplikaci se v praxi často používá senzor, využívající Hallovy sondy, tzn. je založen na Hallově jevu vzniku elektrického napětí U_H na bocích elektrického materiálu, kterým protéká proud I a působí na něj magnetická indukce B .

$$U_H = \tilde{R} \frac{IB}{d} \quad (4)$$

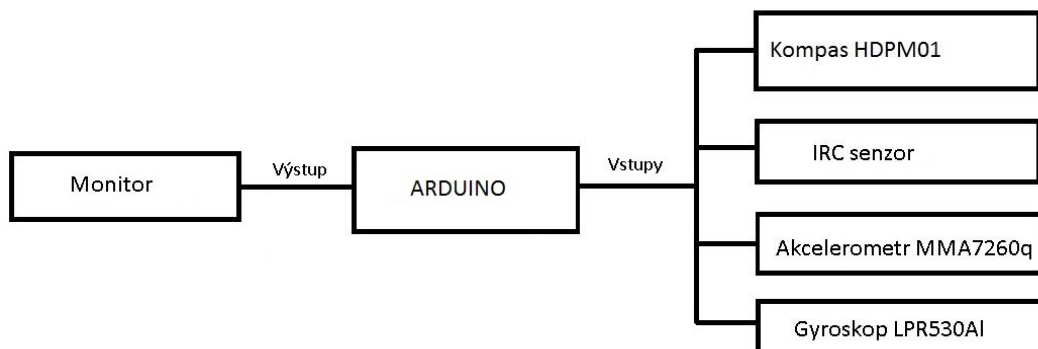
kde d je tloušťka pásku

\tilde{R} je Hallova konstanta.

2 Praktická část

2.1 Blokové schéma navigačního systému vozidla

Na obr. 15 je blokové schéma navigačního systému vozidla, jak jsem jej navrhl. Celý systém vozidla bude ovládat mikrokontrolér ATMEGA8 umístěný na platformě Arduino. Do mikrokontroléru budou přicházet údaje o úhlovém natočení z kompasu HDPM01 a gyroskopu LPR530AL. Pro zjištění rychlosti pohybu vozidla bude využit akcelerometr MMA7260Q. Jelikož se jedná o kolejového robota, chtěl bych implementovat IRC senzor kvůli prokluzu kol s kolejnicí. Obě tyto metody zjištění dráhy budou sloužit k vzájemnému porovnání odchylek při chybách měření. Po zpracování informací ze senzorů v mikrokontroléru se informace o rychlosti a směru pohybu zobrazí na monitoru PC připojeného pomocí kabelu k Arduino. Na monitoru se zobrazí ujetá dráha vláčku (kolejového robota).



Obrázek 15 - Blokové schéma systému robota

2.2 HDPM01 - Komunikační modul: číslicový kompas, čidlo tlaku

Modul senzoru vyrábí firma HOPE MICROELEKTRONICS. Modul HDPM01 obsahuje integrovaný tlakový senzor s měřícím rozsahem 300-1100 hPa a dále číslicový kompas. Tlakový senzor je realizován pomocí piezorezistivního tlakového senzoru. Modul HDPM01 je možno připojit k mikroprocesoru pomocí I2C sběrnice bez nutnosti použití A/D převodníků a časovacího zdroje. Toto vše je obslouženo díky I2C sběrnici. Modul bude sloužit pro určení vektoru, kterým se kolejové robotické vozidlo pohybuje. Napájecí napětí 2,5 V - 5.25 V DC. Kapitola čerpána z [24].

2.2.1 Kompas

Modul kompasu obsahuje speciálně navržené rezistory vyrobeny z permalloy (magneticky měkká slitina železa a niklu), který se při výrobě zmagnetizuje silným magnetickým polem. Permalloy je nanesen jako tenký film na silikonovou vrstvu. Působením vnějšího magnetického pole se rezistory natačejí ve směru magnetického pole. Pomocí Wheastonova můstku je změna vektoru natočení vyhodnocena jako změna napětí. Změna napětí je poslána přes I2C sběrnici do mikroprocesoru, kde je vyhodnocena.

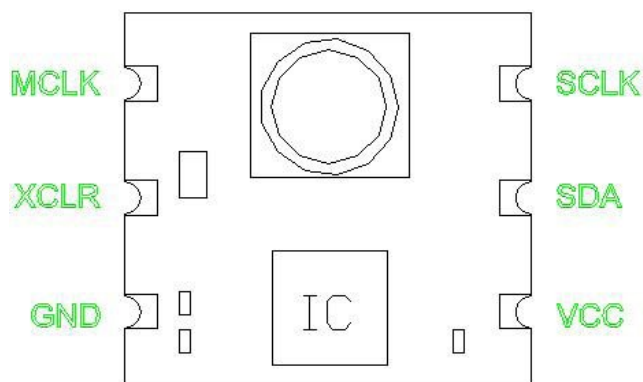


Obrázek 16 - Modul HDPM01 [25]

2.2.2 Popis Pinů

Na obr. 17 je zobrazeno schéma pinů modulu HDPM01, které jsou popsány v tab.

2.



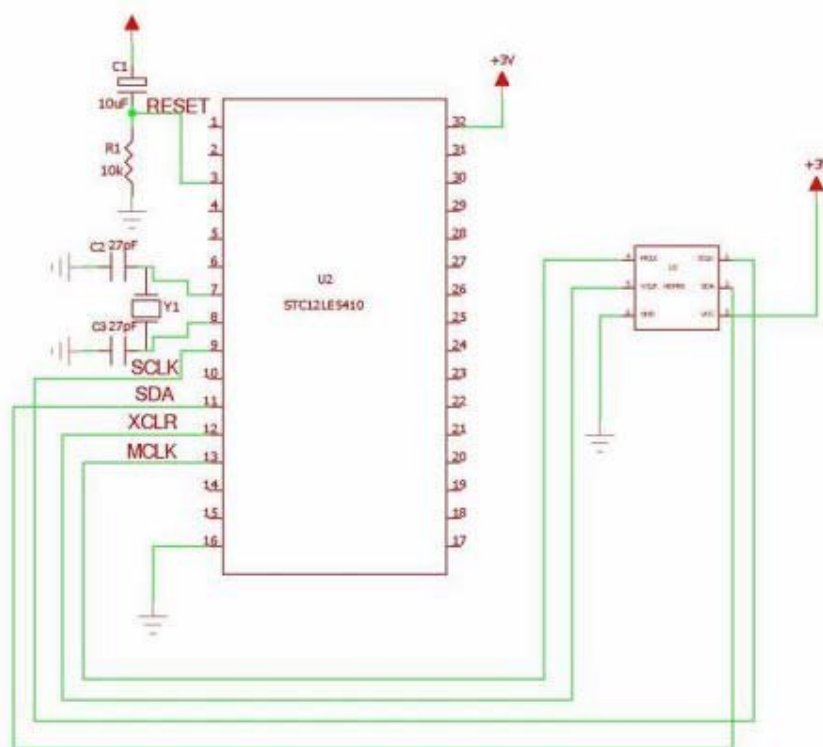
Obrázek 17 - Popis pinů modulu HDPM01

Tabulka 2- Popis pinů

Jméno pinu	Číslo pinu	Typ	Funkce pinu
GND	6	G	Uzemnění
VDD	5	P	napájení VCC
MCLK	4	I	hodinový signál
XCLK	3	I	ADC reset
SDA	2	I/O	I2C data vstup/výstup
SCL	1	I	I2C hodinový vstup

2.2.3 Zapojení

Typické zapojení kompasu s mikrokontrolérem nalezneme na obr. 18. Do mikrokontroléru je zapojen datový vodič SDA spolu s hodinovým vodičem SCL I2C sběrnice. Dále jsou zapojeny hlavní hodinový signál MCLK a ADC reset XCLK. Pin GND ground je uzemněný a poslední zbývající pin VDD napájení je připojen ke zdroji.



Obrázek 18 - Typické zapojení modulu HDPM01

Celou oficiální dokumentaci pro produkt senzoru HDPM01 lze nalézt [24].

2.3 Akcelerometr MMA7260Q

Jedná se o 3D akcelerometr vyráběn mikrotechnologií MEMS od firmy Freescale Semiconductor. V mé navigaci bude sloužit jen jako 2D akcelerometr, protože vozidlo bude jezdit pouze ve 2D prostoru, nebude tak potřebovat informaci o vertikální rychlosti či poloze. Akcelerometr MMA7260Q byl vybrán díky dobrým parametrům dostačujícím v mém použití.

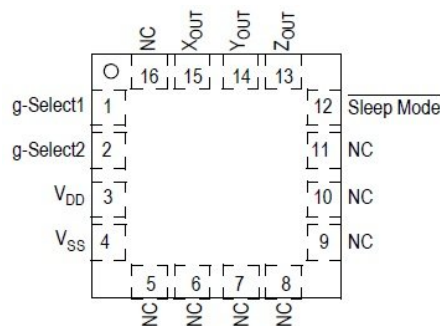
Akcelerometr lze použít pro detekci volného pádu u citlivých přístrojů jako např. laptopů a MP3 přehrávačů. Další uplatnění ve spotřební elektronice je v natáčení obrázků či textu u chytrých mobilních telefonů a tabletů. Samozřejmě v mé práci je nejdůležitější použití akcelerometru pro navigaci robota. Kapitola čerpána z [26].

2.3.1 Parametry MMA7260Q

- Nastavitelná sensitivita (1,5 g ; 2 g ; 4 g ; 6 g)
- Nízká spotřeba proudu: 500 μ A
- Nízká spotřeba proudu při sleep módu (režim spánku): 3 μ A
- Nízké provozní napětí: 2,2 V – 3,6 V
- Vysoká sensitivita při nastavení 1,5 g: 800 mV/g
- Integrovaná úprava signálu s dolním pásmovým filtrem
- Nízká cena produktu
- Velmi malé rozměry: 6 mm \times 6 mm \times 1,45 mm
- Schopnost okamžité funkce po zapnutí
- Robustní design
- Vysoká odolnost obvodu

2.3.2 Popis pinů

Na obr. 19 je uveden popis pinů akcelerometru, které jsou popsány v tab. 3.



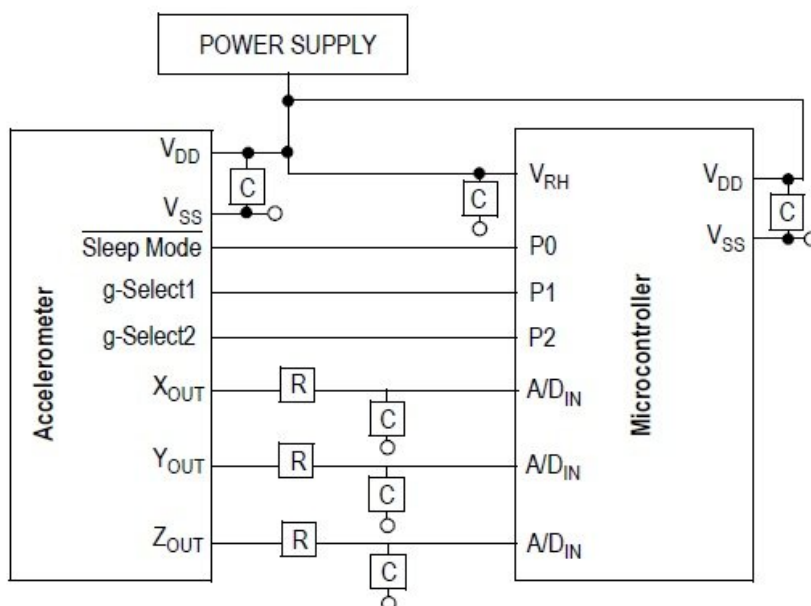
Obrázek 19 - Popis pinů

Tabulka 3 - Popis jednotlivých pinů

Číslo pinu	Jméno pinu	Popis funkce pinu
1	g-select1	logický vstup nastavení sensitivity úrovně g (zrychlení)
2	g-select2	logický vstup nastavení sensitivity úrovně g (zrychlení)
3	VDD	napájení
4	VSS	uzemnění
5-7	N/C	nechte odpojené
8-11	N/C	použito pro tovární nastavení, nechte odpojené
12	Sleep mode	Pin pro přepnutí senzoru do režimu spánku
13	Zout	výstup naměřené hodnoty zrychlení osy Z
14	Yout	výstup naměřené hodnoty zrychlení osy Y
15	Xout	výstup naměřené hodnoty zrychlení osy X
16	N/C	nechte odpojené

2.3.3 Zapojení akcelerometru

Na obr. 20 je schéma zapojení akcelerometru s mikrokontrolérem. Podle jednotlivých funkcí pinů z tab. 3 se zapojují do schématu.



Obrázek 20 - Zapojení akcelerometru s mikrokontrolérem

Více informací o senzoru lze nalézt v oficiální dokumentaci [26].

2.4 Gyroskop LPR530AL

Gyroskop vyráběn mikrotechnologií MEMS firmou STMicroelectronics, je velice úsporný a s nízkou spotřebou el. proudu je vhodný pro systémy napájené z baterie, jako v mém případě. Dvouosý gyroskop je schopný měření jakéhokoliv stupně natočení ve 2D prostoru. Výsledky měření můžeme získat buďto jako nezesílenou analogovou hodnotu nebo jako 4krát zesílenou hodnotu napěťové úrovně. Vnitřní MEMS struktura tohoto senzoru obsahuje jeden mikropohon a jeden akcelerátor, které jsou uloženy na jedné mikromechanické struktuře.

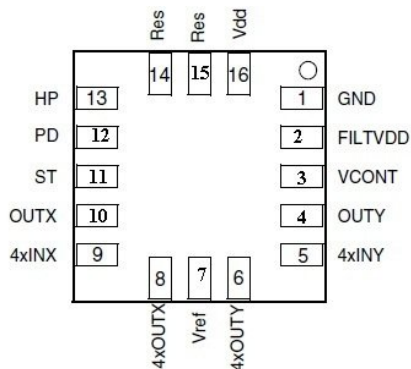
Tento gyroskop se používá v polohovacích zařízeních, herních zařízeních, GPS navigačních systémech, v průmyslu a z mého hlediska nejpodstatnější je jeho použití v robotice pro navigaci. Kapitola čerpána z [27].

2.4.1 Parametry

- Vysoká stabilita při přehřátí
- Nízká spotřeba proudu: 6,8 mA
- Široký rozsah operační teploty: (-40 °C – 85 °C)
- Nízké provozní napětí: 2,7 V – 3,6 V
- Integrovaný nízko úroňový filtr
- Dva oddělené výstupy pro každou osu (X, Y)
- Umožňuje přepnutí do úsporného módu odběru proudu: 1-5 μ A
- Vestavěný self-test (samostatná kontrola obvodu po zapnutí)
- Schopnost okamžité funkce po zapnutí

2.3.2 Popis pinů

Na obr. 21 je uveden popis pinů gyroskopu, které jsou popsány v tab. 4.



Obrázek 21 - Popis pinů

Tabulka 4 - Popis pinů

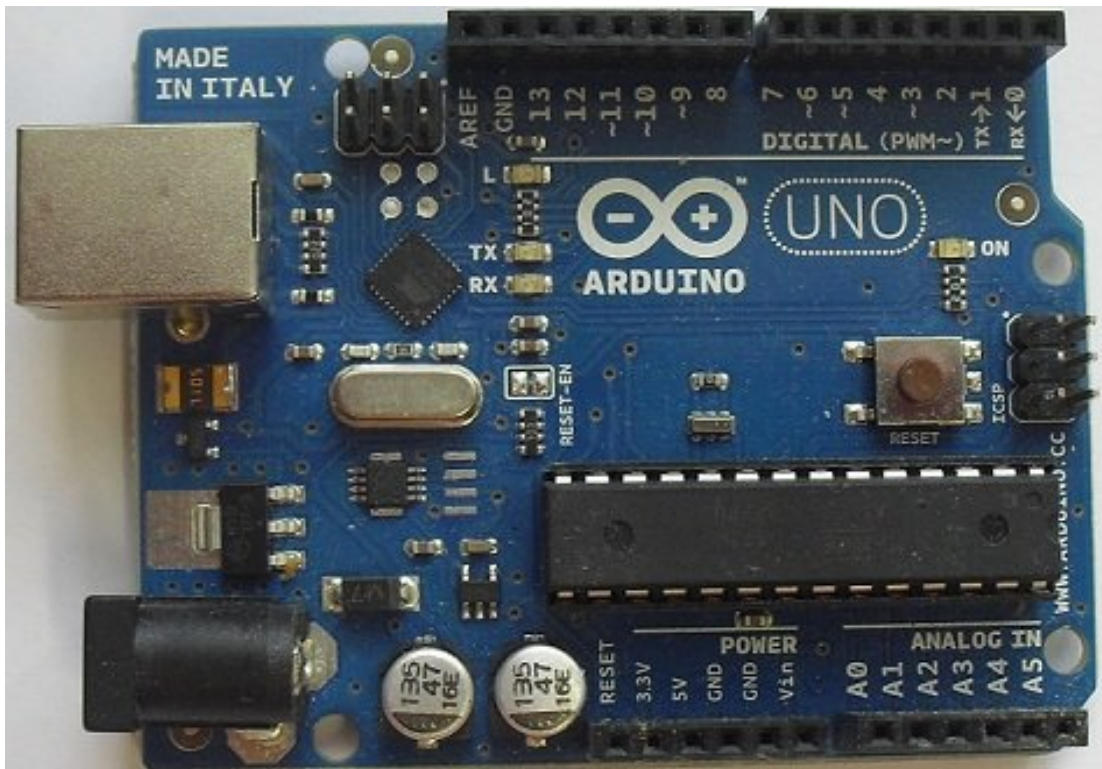
Číslo pinu	Jméno pinu	Funkce pinu
1	GND	Uzemnění
2	FILTVDD	PLL filtr konektor 2
3	VCONT	PLL filtr konektor 1
4	OUTY	Nezesílený výstup Y
5	4xINY	Vstup osy Y 4krát zesílený
6	4xOUTY	Y hodnota napěťové úrovně výstupu (zesílená)
7	Vref	Referenční napětí
8	4xOUTX	X hodnota napěťové úrovně výstupu (zesílená)
9	4xINX	Vstup osy X 4krát zesílený
10	OUTX	Nezesílený výstup X
11	ST	Self-test(logická 0: normální mód ; logická 1: self-test)
12	PD	Úsporný mód (logická 0: normální režim ; logická 1: úsporný režim)
13	HP	Reset filtru
14, 15	Res	Připojeno k Vdd
16	Vdd	Napájení

Více informací o senzoru lze nalézt v oficiální dokumentaci [27].

2.5 Arduino Uno

Arduino uno vyrobené italskou společností Arduino, bude v mém navigačním systému sloužit jako centrální jednotka, která bude zpracovávat data ze senzorů pomocí mikrokontroléru ATmega328. K tomuto mikrokontroléru bude připojen akcelerometr, kompas a gyroskop pomocí analogových a digitálních vstupně výstupních pinů, které jsou již na desce Arduino integrovány. Tuto desku jsem vybral především díky jednoduchosti zapojení komponent a také díky velice dobře zpracovaným materiálům a nápověd k tomuto produktu. Platforma Arduino má také upravenou verzi programovacího jazyka C, ke kterému nabízí spoustu knihoven pro usnadnění přístupu k připojeným zařízením. Deska se skládá z mikrokontroléru, 14 digitálních vstupně/výstupních pinů, 6 analogových pinů

a USB konektoru pro naprogramování mikrokontroléru a napájení desky. Kapitola čerpána z [28].



Obrázek 22 – Arduino Uno

2.5.1 Parametry

- Mikrokontrolér ATmega 328
- Operační napětí: 5V
- Doporučené vstupní napětí: 7-12V
- Maximální vstupní napětí: 20V
- Počet digitálních V/V pinů: 14
- Počet Analogových pinů: 6
- Flash paměť: 32 kB
- SRAM: 2 kB
- EEPROM: 2 kB
- Frekvence: 16 MHz
- Napájení pomocí USB konektoru

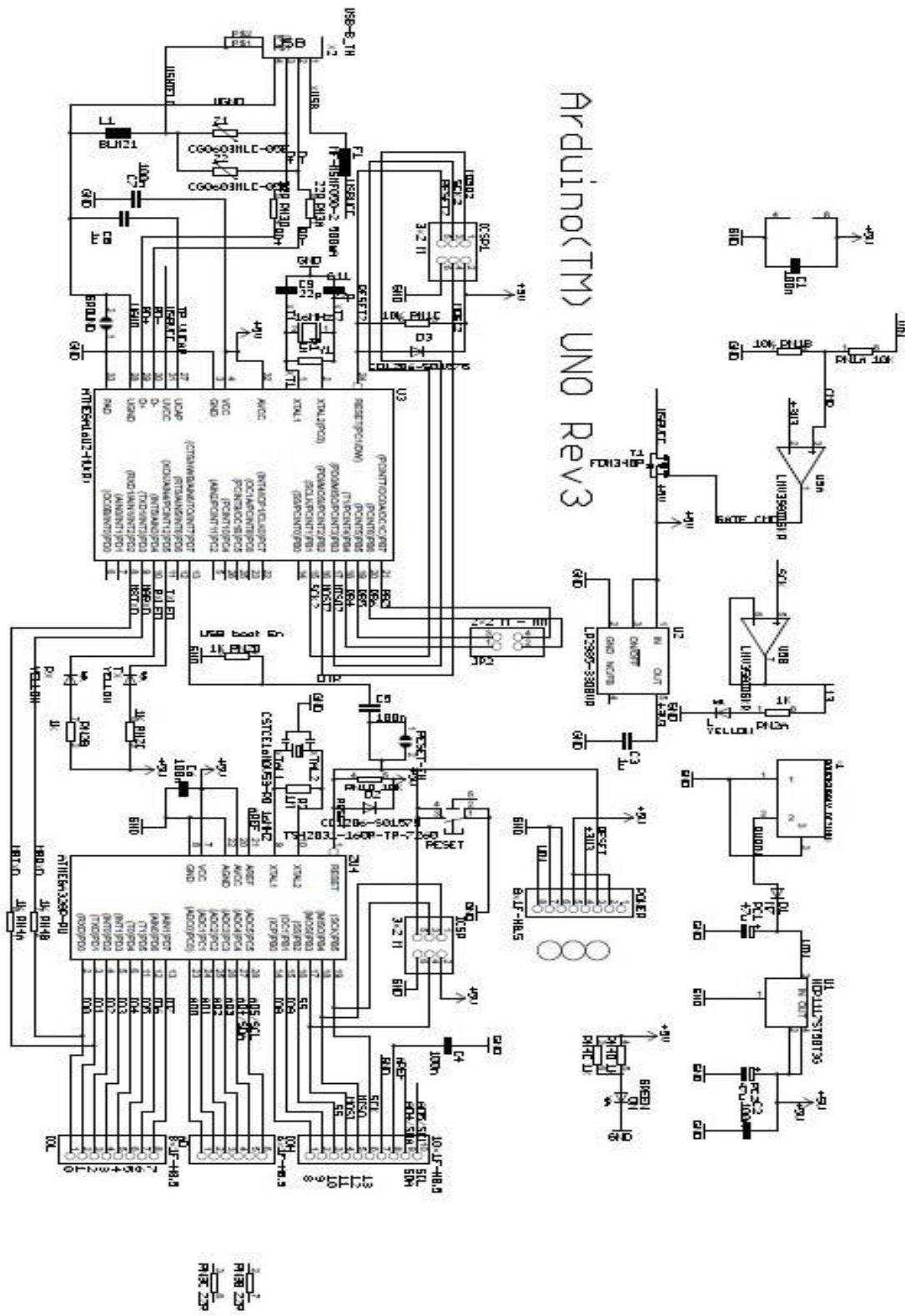
2.5.2 Popis pinů

Podrobný přehled funkcí pinů tab. 5.

Tabulka 5 – Popis pinů desky Arduino

Číslo pinu	Jméno pinu	Funkce pinu
	RESET	slouží pro resetování mikrokontroléru
	3,3 V	generuje napětí 3,3 voltů
	5 V	generuje napětí 5 voltů
	GND	uzemnění
	GND	uzemnění
	Vin	vstupní napětí pro arduino
A0 - 5	A0 -5	analogový vstup
0	RX	digitální pin používaný pro přijímání dat po sériové lince
1	TX	digitální pin používaný pro odesílání dat po sériové lince
2 - 13	D2 -13	digitální V/V piny. Piny 3, 5, 6, 9, 10 a 11 umožňují PWM signál
	GND	Uzemnění
	AREF	referenční napětí

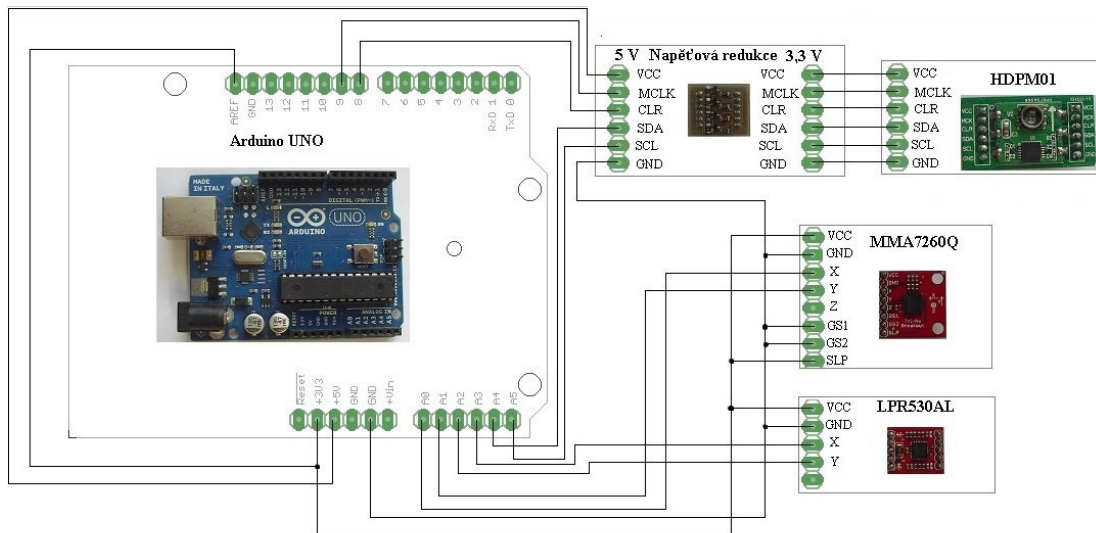
2.5.3 Arduino schéma



Obrazek 23 – Schéma Arduino Uno

2.5 Zapojení senzorů

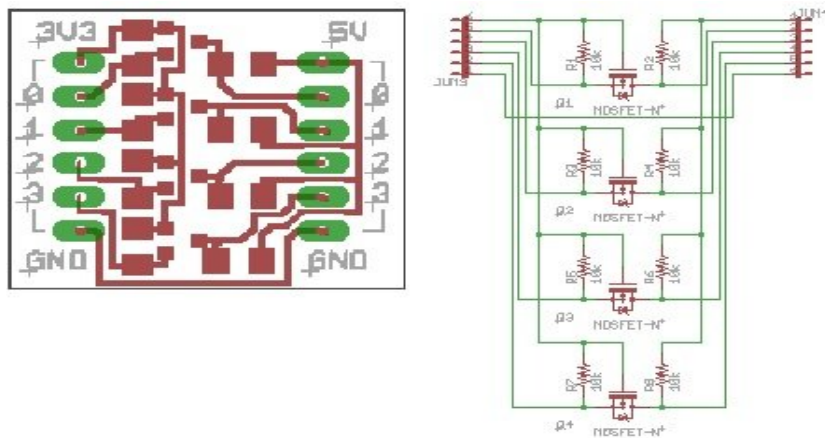
Jednotlivé senzory jsem zapojil do obvodu Arduino pomocí drátků k nepájivému poli, ve kterém jsou zapojeny jednotlivé senzory dle obr. 24. Celá navigace je zapojena v nepájivém poli z důvodů lepšího připojování a testování komponent. Jednotlivé popisy k zapojení senzorů jsou popsány dále v této kapitole.



Obrázek 24 – Zapojení senzoru do modulu Arduino

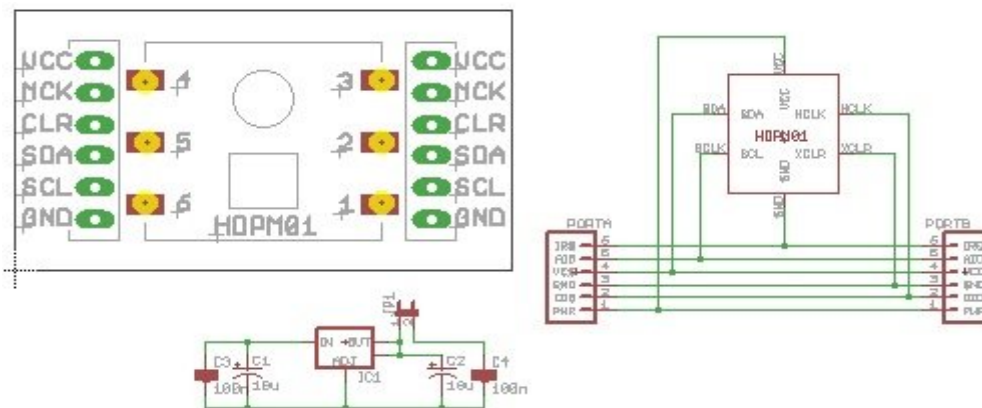
2.5.1 Připojení modulu kompasu HDPM01

Mezi modul kompasu HDPM01 a platformu Arduino jsem musel vyrobit speciální redukci obr. 25, kvůli rozdílné napěťové logice. Kdybych připojil 5V výstup z platformy Arduino do senzoru s vstupním maximem napětí 3,3 Voltů, senzor by se zničil.



Obrázek 25 – Napěťová redukce

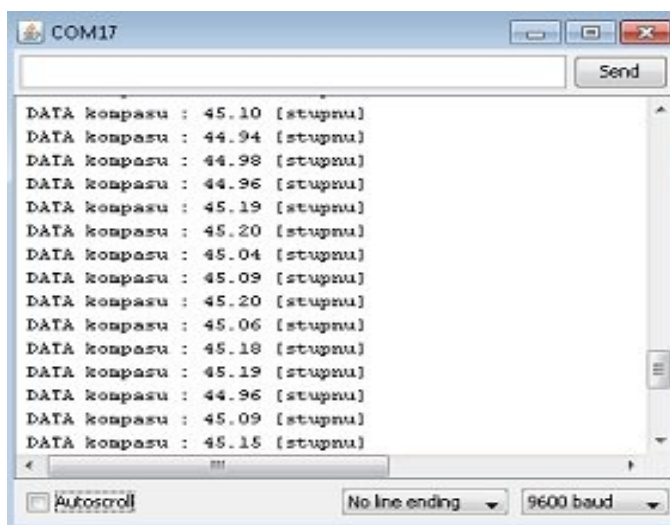
Mezi připojení senzoru k nepájivému poli jsem navrhl redukcí dle obr. 26. Při programování kompasu jsem v programu inicializoval 2 digitální piny (piny D8 a D9) a dva analogové piny (A4 a A5) pro umožnění komunikace po I2C sběrnici mezi senzorem a mikrokontrolérem. Kompas je naprogramován tak, aby vypisoval po sériové lince údaje o natočení kompasu ve stupních. Jih na kompasu je definován jako 0°, východ 90°, sever 180° a západ 270°. Samozřejmě sensor neukazuje přesná čísla, ale čísla s určitou odchylkou v rozmezí +/- 1°.



Obrázek 26 – Redukce

Kalibrace kompasu

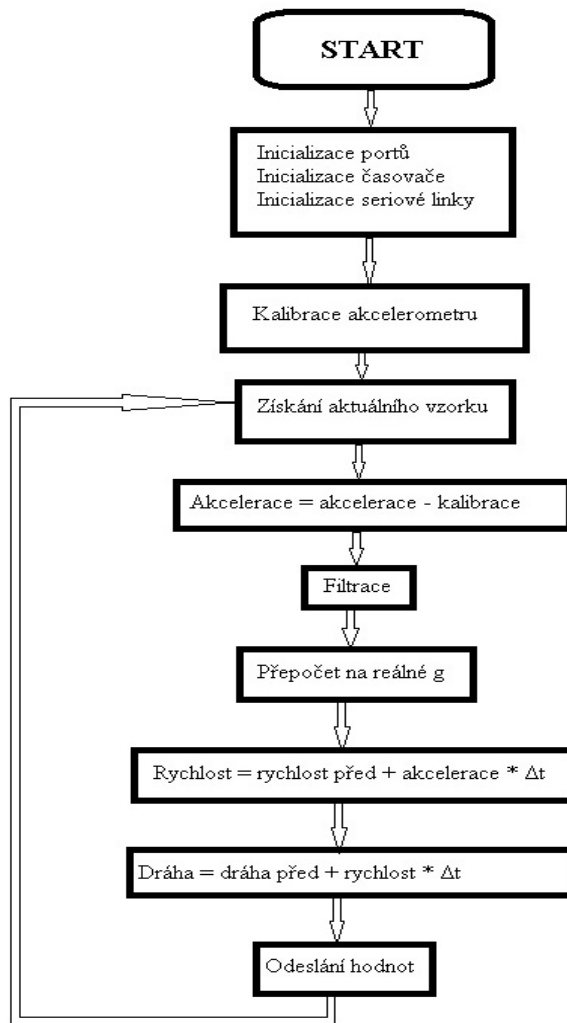
Pod podložkou na kompas jsem si nakreslil úhel 45° přičemž 0° byl směřován na jih a úhel 45° ukazoval na jihovýchod. Kompas jsem plynulým pohybem nasměřoval na jihovýchod tj. 45° a sledoval údaje z kompasu. Na obr. 27 je zobrazen výstup ze senzoru, podle testování senzoru se zdá být přesný a funkční.



Obrázek 27 – Testování kompasu

2.5.2 Zapojení akcelerometru MMA7260Q

Akcelerometr je zapojen dle obr. 24. Při vývoji programu jsem si inicializoval 2 analogové porty (A0 a A1) na Arduino pro posílání výsledků zrychlení ze senzoru. Dále jsem si po připojení inicializoval v programu rychlost sériové linky a inicializoval časovač. Vývojový diagram k programu na obr. 28.



Obrázek 28 – Vývojový diagram programu pro obsluhu akcelerometru

Přestože může být zrychlení kladné nebo záporné, vzorky jsou vždy kladné (vychází z výstupních charakteristik akcelerometru MMA7260Q), proto musí být provedena kompenzace, kvůli získání referenční nulové hodnoty musím provést po zapnutí akcelerometru kalibraci. Poté od hodnoty získané z měření akcelerometru odečtu referenční hodnotu pro nulu a získám pravý údaj ekvivalentní pro hodnotu zrychlení, tímto odečtením rozdělím funkční

rozmezí hodnot akcelerometru na polovinu, jednu pro kladné zrychlení a druhou polovinu rozmezí pro záporné zrychlení. Po získání přesného údaje o zrychlení přistoupíme k filtrování chybových hodnot, které je řešeno v programu jednoduchým rozhodovacím cyklem if. Odfiltrované hodnoty od chyb vynásobím gravitačním zrychlením g ($9,81 \text{ m/s}^2$). Celý tento postup musíme provést pro obě osy zrychlení zvlášť. Nyní když už mám hodnoty zrychlení mohu přistoupit k získávání rychlosti a ujeté dráhy a to provedu numerickou integrací v mikrokontroléru.

Získání dráhy z akcelerometru

Pomocí numerické integrace získám z akcelerace rychlost a z rychlosti dráhu. Akcelerace je míra změny rychlosti objektu. Zároveň platí, že rychlost je míra změny pozice téhož objektu. Jinými slovy, rychlost je derivace dráhy podle času (6) a zrychlení je derivace rychlosti podle času (7):

$$\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt} \quad (6)$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (7)$$

Integrace je protiklad derivace, když je akcelerace objektu známá, můžeme získat data o poloze, tím že použijeme dvojitou integraci (8) a (9) za předpokladu nulových počátečních podmínek:

$$\vec{v} = \int \vec{a} \cdot dt \quad (8)$$

$$\vec{s} = \int \vec{v} \cdot dt \quad (9)$$

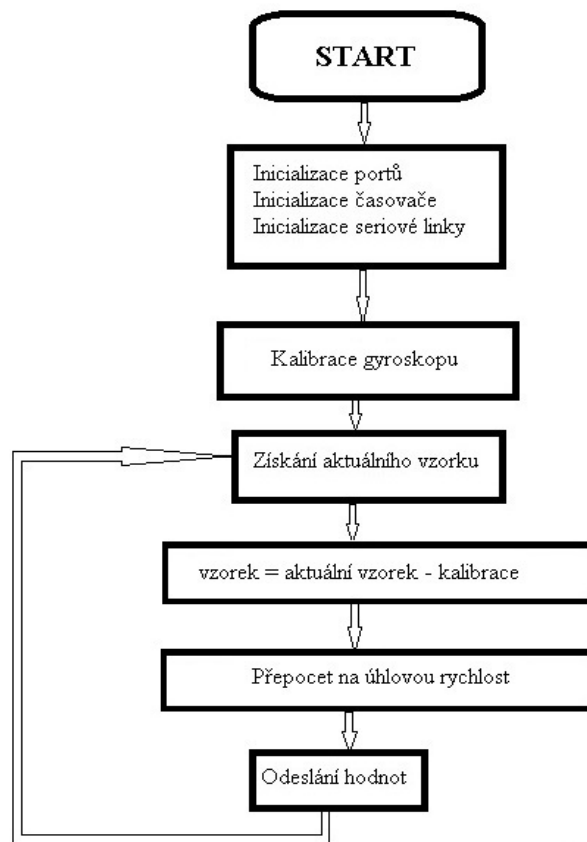
Vyjádřením tohoto výrazu je definice integrálu kolem křivky, kde integrace je suma malých přírůstků, jejichž šířka je téměř rovna nule. Jinými slovy suma integrálů reprezentuje křivku vzdálenosti.

Jelikož jsem pomocí numerické integrace získal ze zrychlení rychlost v ose x a y, můžeme pomocí Pythagorovy věty získat velikost přepony pravoúhlého trojúhelníku, která je rovna výsledné rychlosti. Výslednou rychlost po každém cyklu programu přičítáme ke dráze a tato informace udává výslednou ujetou dráhu vozidla.

```
//Vzorec pro výpočet ujeté výsledné rychlosti dle Pythagorovy věty  
vysledna_rychlost = sqrt(pow((float)rychlost_x, 2) + pow((float)rychlost_y, 2));
```

2.5.3 Zapojení gyroskopu LPR530AL

Při vytváření programu pro obsluhu gyroskopu jsem si nejprve inicializoval 2 analogové porty, časovač a rychlost sériové linky. Obr. 29 vývojový diagram pro obsluhu senzoru. Před začátkem měření se provede funkce kalibrace pro obě osy. Odečtením výsledků funkce kalibrace od aktuálního vzorku se rozdělí funkční pásmo gyroskopu na dvě, jedno pro kladnou úhlovou rychlost a druhá pro zápornou. Pro přepočtení na úhlovou rychlost používám jednoduchý vztah, který jsem vytvořil pomocí přepočtu výstupní charakteristiky senzoru na stupně za sekundu.



Obrázek 29 – Vývojový diagram programu pro obsluhu gyroskopu

3 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout inerciální navigaci pro robotické kolejové vozidlo, aby bylo možné v čase sledovat a vypisovat jeho polohu. Podařilo se mi zprovoznit a naprogramovat všechny použité senzory (akcelerometr, gyroskop a digitální kompas) tak, aby komunikovali a předávali data mikrokontroléru zabudovaném na platformě Arduino.

Pro praktické řešení práce jsem využil platformu Arduino a k ní jsem připojil ostatní senzory přes nepájivé pole. Arduino se ukázalo jako skvělá volba, jsem s ním velice spokojený. Práce s ním mi šla mnohem rychleji než při navrhování a výrobě vlastního plošného spoje. K Arduinu není potřeba žádný externí programátor, ten je integrován přímo v desce. Celý navigační systém jsem nepřipojoval na kolejového robota, tudíž jsem nemohl použít IRC senzor na sledování otáček kol a případného prokluzu kol po kolejnici. Myslím, že by bylo velice zajímavé porovnat data z akcelerometru a IRC senzoru a zjistit, jak velké budou odchylky mezi jednotlivými měřeními díky prokluzu po kolejnici. Jediný problém na který jsem narazil, byla určitá klouzavost dat z gyroskopu, o které jsem věděl. Největší díl práce zabralo programování senzorů a převod výstupu z senzorů na potřebnou jednotku výstupu, ze které jsem přepočítával ujetou dráhu vozidla.

Tato práce byla velice zajímavá a nabízí mnoho možností do budoucna. Chtěl bych v ní nadále pokračovat v magisterském studiu, kde bych rád celý systém připevnil na kolejové vozidlo s IRC senzorem a pomocí LCD panelu vypisoval ujetou trajektorii vozidla.

Seznam použité literatury

- [1] *What is MEMS Technology?* [online]. 1.1.2011 [cit. 2012-04-10]. Dostupné na:
<https://www.memsnet.org/mems/what_is.html>
- [2] NĚMEC, Miloš. *MEMS - předchůdce nanotechnologií* [online]. 4.5.2007 [cit. 2012-04-10]. Dostupné na: <www.milosnemecek.cz>
- [3] *Akcelerometry* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na:
<<http://botland.com.pl/58-akcelerometr-3-osiovy-3-11g.html>>
- [4] VOJÁČEK, Antonín. *Principy akcelerometrů - 1. díl – Piezoelektrické* [online]. 2007, roč. 1, č. 1 [cit. 2012-04-10]. Dostupné na:
<<http://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>>
- [5] VOJÁČEK, Antonín. *Principy akcelerometrů - 2. díl - Piezorezistivní* [online]. 2007, roč. 1, č. 2 [cit. 2012-04-10]. Dostupné na:
<<http://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>>
- [6] ROZSÍVAL, Pavel. *Akcelerometry* [online]. 2011. [cit. 2012-04-10]. Dostupné na:
<<http://vyuka.pavelrozsival.cz/isame/Akcelerometry.pdf>>
- [7] *Akcelerometry* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na:
<<http://www.digizone.cz/clanky/dalkove-ovladani-pro-interaktivni-televizi/>>
- [8] Wikipedia: the free encyclopedia. *Gyroskop* [online]. 2001- [cit. 2012-04-13]. Dostupné na: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Gyroskop>>
- [9] *Gyroskop* [online]. 30.9.2008 [cit. 2012-04-13]. Dostupné na:
<<http://fyzmatik.pise.cz/76205-gyroskop.html>>
- [10] *Gyroskop* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na:
<<http://www.1800pocketpc.com/does-windowsphone7-have-a-gyroscope-like-the-iphone-4/13481/>>
- [11] *Lasery a moderní fyzika. Zaměření katedry, Katedra fyziky - Fakulta stavební ČVUT* [online]. 2009 [cit. 2012-04-13]. Dostupné na:
<<http://departments.fsv.cvut.cz/k102/vyuka/lasery-moderni-fyzika?prezentace>>
- [12] *Elektrický gyroskop* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na:
<<http://embeddedsystemnews.com/images/embedded/2009/06/mems-gyroscope1.jpg>>
- [13] VOJÁČEK, Antonín. *Gyroskopy v integrovaném provedení MEMS* [online]. 2006. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na: <<http://automatizace.hw.cz/clanek/2006010401>>
- [14] VOJÁČEK, Antonín. *Integrované MEMS GYROSKOPY* [online]. 2009, roč. 1, č. 1 [cit. 2012-04-13]. Dostupné na: <<http://automatizace.hw.cz/integrované-mems-gyroskopy>>

- [15] *Magnetometr – technologie pro mobilní telefony* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2].
Dostupné na: <<http://mobilizujeme.cz/stitky/magnetometr/>>
- [16] *Co je a k čemu slouží magnetometr?*. [online]. 2008, roč. 1, č. 1 [cit. 2012-04-13].
Dostupné na: <<http://www.enviweb.cz/clanek/geologie/71131/co-je-a-k-cemu-slouzi-magnetometr>>
- [17] *Magnetometr*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA):
Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-13]. Dostupné na:
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetometer>>
- [18] *Inerciální navigace* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na:
<<http://wiki.kn.vutbr.cz/robot/index.cgi?inerci%C3%A1ln%C3%AD%20navigace>>
- [19] *I2C*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia
Foundation, 2001- [cit. 2012-04-14]. Dostupné na:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>>
- [20] HANKOVEC, David. **DH servis* Vývoj a výroba elektroniky na zakázku* [online].
2005 [cit. 2012-04-14]. Dostupné na: <<http://www.dhservis.cz/iic.htm>>
- [21] *Atmega8* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na:
<<http://www.atmel.com/images/doc2486.pdf>>
- [22] *Atmega8* [online]. 2012. [cit. 2012-04-14]. Dostupné na: <<http://products.li2.in/59-114-large/atmega8.jpg>>
- [23] *Mobilní roboty: pohony, senzory a řízení*. 1. vyd. Praha: BEN-technická literatura,
2007, s. 100-102. ISBN 80-7300-141-1.
- [24] *HDPM01* [online]. 2009 [cit. 2012-04-13]. Dostupné na:
<<http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/HDPM01.pdf>>
- [25] *HDPM01* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na: <<http://hdpm01.katalog-tme.pl/>>
- [26] *Akcelerometr MMA7260Q* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na:
<<http://hercules.uni-mb.si/projects/AVMA/dokumentacija/MMA7260Q.pdf>>
- [27] *Gyroskop LPR530AL* [online]. 2012. [cit. 2012-06-2]. Dostupné na:
<<http://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/IMU/lpr530al.pdf>>
- [28] *Arduino - ArduinoBoardUno*. [online]. 2012 [cit. 2012-06-05]. Dostupné na:
<<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>

Příloha A – Zdrojový kód programu akcelerometr

```
#include <math.h>
const int ACC_X=A0; //piny pro čtení analogových hodnot
const int ACC_Y=A1;

// použité proměné
int acc_x_raw=0;
double center_x=0;
double acc_x=0.0;
double cas;
int acc_y_raw=0;
double center_y=0;
double acc_y=0.0;
double T1 = 0.0, T2 = 0.0 , delta_T=0.0;
double rychlost_x = 0.0, rychlost_y = 0.0, rychlost_pred_x = 0.0, rychlost_pred_y = 0.0;
double draha_X = 0.0, draha_Y = 0.0, draha = 0.0 , draha_pred_x = 0.0, draha_pred_y = 0.0;
double vysledna_rychlost = 0.0, vysledna_draha = 0.0;

//hlavni program
void setup()
{
  Serial.begin(115200); //rychlost seriové linky
  analogReference(EXTERNAL); //referenční napětí 3,3 V

  pinMode(ACC_X,INPUT); //pin bude považovan za vstupni
  pinMode(ACC_Y,INPUT);

  center_x = (double)analogRead(ACC_X) * 3.3 / 1023; //cteni hodnoty z pinu
  center_y = (double)analogRead(ACC_Y) * 3.3 / 1023;
}

//programová smyčka
void loop()
{
  cas = millis();
  acc_x_raw = analogRead(ACC_X);
  acc_y_raw = analogRead(ACC_Y);
  T1 = cas;
  //osa X
  acc_x = ((double)acc_x_raw * 3.3 / 1023 - center_x) / 0.8;
  //filtrovani chyb
  delay(50);
  if(acc_x < 0.032 && acc_x > -0.032)
  {
    acc_x = 0;
  }
  else{
    acc_x = acc_x;
  }

  acc_x = acc_x * 9.81; // m/s-2 (vynasobeni gravitační konstatnou
  //numerická integrace
```

```

delta_T = T1 - T2;
delta_T = delta_T/1000;
T2 = T1;
rychlost_x = rychlost_pred_x + acc_x*delta_T;
rychlost_pred_x = rychlost_x;
draha_X = draha_pred_x + rychlost_x*delta_T;
draha_pred_x = draha_X;
draha_X = draha_X * 100;//převod na centimetry
/*Serial.print("rychlost X : ");
Serial.print(rychlost_x);
Serial.println(" [cm]");*/

//osa Y
acc_y = ((double)acc_y_raw * 3.3 / 1023 - center_y) / 0.8;
//filtrovani chyb
delay(50);
if(acc_y < 0.032 && acc_y > -0.032)
{
  acc_y = 0;
}
else{
  acc_y = acc_y;
}

acc_y = acc_y * 9.81; // m/s-2
//numericka integrace
rychlost_y = rychlost_pred_y + acc_y*delta_T;
rychlost_pred_y = rychlost_y;
draha_Y = draha_pred_y + rychlost_y*delta_T;
draha_pred_y = draha_Y;
draha_Y = draha_Y * 100;//prevod na centimetry
/*Serial.print("rychlost Y : ");
Serial.print(rychlost_y);
Serial.println(" [cm]");*/
//Vzorec pro výpočet ujeté výsledné rychlosti dle Pythagorovy věty
vysledna_rychlost = sqrt(pow((float)rychlost_x, 2) + pow((float)rychlost_y, 2));
draha = vysledna_rychlost * delta_T;
draha = draha * 100;//prevod na centimetry
vysledna_draha += draha;//výsledná dráha
/*Serial.print("Vysledna rychlost : ");
Serial.println(vysledna_rychlost);
Serial.print("celkova draha");
Serial.println(draha);*/
Serial.println(vysledna_draha);//vysledna dráha
delay(100);
}

```

Příloha B – CD

Obsah adresáře:

- KadlecT_NavigačníSubsystem_LH_2012.pdf – vlastní text práce

Složka Software:

- Akcelerometr.pde – zdrojový kód
- Bakalarska_prace.pde – zdrojový kód
- Gyroskop.pde – zdrojový kód

Složka Návrh:

- Obsahuje podklady pro tvorbu plošných spojů softwarem EAGLE