



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOECHANIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND
BIOMECHANICS

ANALÝZA VYUŽITELNOSTI KOMPASU PRO NAVIGACI MOBILNÍHO ROBOTU V INDOOR PROSTŘEDÍ

USABILITY OF COMPASS IN INDOOR MOBILE ROBOT NAVIGATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR PILCH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ KREJSA, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Pilch

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Mechatronika (3906R001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Analýza využitelnosti kompasu pro navigaci mobilního robotu v indoor prostředí

v anglickém jazyce:

Usability of compass in indoor mobile robot navigation

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je zjistit využitelnost dat z kompasu s kompenzací náklonu pro úlohu navigace mobilního robotu v indoor prostředí (určení natočení robotu).

Cíle bakalářské práce:

1. Proved'te sérii měření v běžném indoor prostředí pomocí kompasu s kompenzací náklonu (je k dispozici)
2. Zpracujte data do podoby 3D vektorového pole
3. Analyzujte využitelnost získaných dat v úloze určení natočení mobilního robotu

Seznam odborné literatury:

firemni dokumentace ke kompasu s kompenzací naklonu

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Krejsa, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku
2010/2011. V Brně, dne 9.11.2010

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá využitelností kompasu HMC6343 pro řízení robotu ve vnitřním prostředí. V první části je představena historie kompasu a popsán princip činnosti některých druhů kompasů včetně anizotropního magnetorezistivního senzoru, na kterém je založen i kompas HMC6343. V druhé části práce je samotné měření za použití tohoto kompasu, zhodnocení naměřených hodnot a posouzení použitelnosti k řízení robotu.

Klíčová slova

kompas, elektronický kompas, HMC6343, mobilní robot

Abstract

This work is focused on usability of compass HMC6343 for controlling the mobile robot in an indoor environment. The first part shows the history of compass and describes the principle of operation of some types of compasses including anisotropic magnetoresistive sensor. HMC6343 compass used for the measurements in real environment is based on this principle. The measurement is evaluated and the usability of data gathered this way is discussed the second part of the thesis.

Key words

compass, electronical compass, HMC6343, mobile robot

Bibliografická citace

PILCH, P. *Analýza využitelnosti kompasu pro navigaci mobilního robotu v indoor prostředí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 30 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Krejsa, Ph.D..

Prohlášení autora

Já, Petr Pilch, prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Brně 27.5.2011

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Krejsovi, Ph.D., za rady a připomínky, které mi udělil při zpracovávání této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za podporu a přítelkyni za gramatickou korekci bakalářské práce.

Obsah

1. Úvod	10
I. Teoretická část	11
2. Zemský magnetismus	11
2.1 Magnetická deklinace.....	11
2.2. Magnetická inklinace.....	13
3. Historie kompasu	14
4. Moderní kompas	15
4.1. Moderní magnetické kompasy.....	15
4.2. Gyrokompas	15
5. Elektronické kompas	16
5.1. Anizotropní magnetorezistivní senzory.....	16
5.3. Indukční kompas.....	17
II. Praktická část.....	19
6. Měřicí přístroje.....	19
6.1. Elektronický kompas	19
6.2. Software	20
6.2.1. Speciální aplikace pro účely měření	20
6.2.2. Matlab	21
7. Metodika měření.....	22
8. Místa měření	23
9. Výsledky měření	23
9.1. Kuchyň	23
9.2. Měření v nulové výšce.....	24
9.3. Opakované měření v nulové výšce.....	24
9.4. Měření v 15 centimetrech.....	25
9.5. Měření v 30 centimetrech.....	26
9.6. 3D vektorové pole	27
III. Závěr	29
Seznam použitých zdrojů	30
Seznam obrázků	30
Seznam příloh.....	30

1. Úvod

Kompas je jeden ze základních přístrojů, který je využíván k navigaci. Pro zjištění světových stran využívá magnetické pole Země. Během své dlouhé historie, kdy byl používán hlavně v námořní navigaci, prošel mnohými změnami a stal se nedílnou součástí mnoha zařízení.

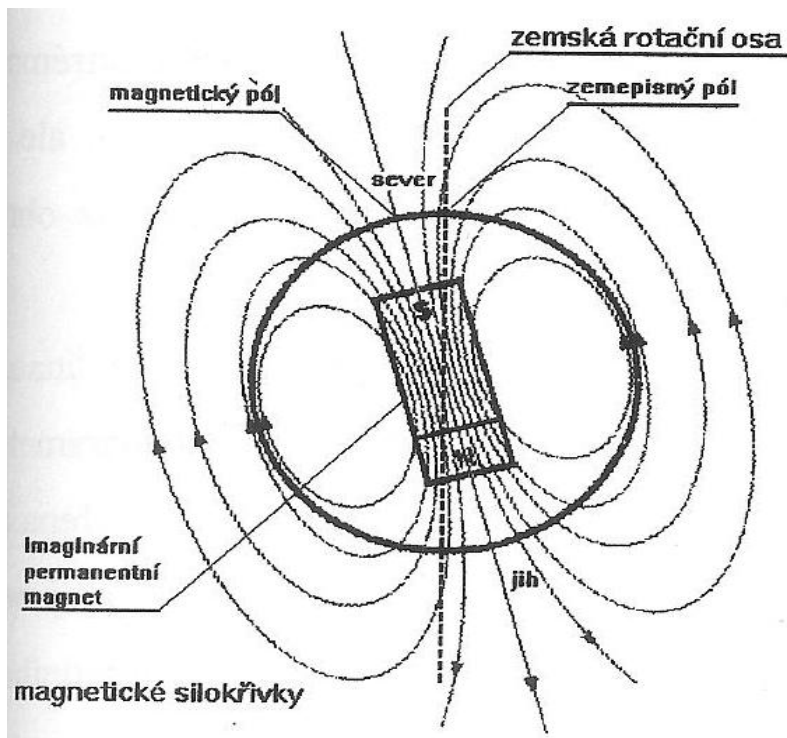
V mobilní robotice se používá kompas ke zjištění směru natočení robota. Problémy mohou nastat v blízkosti drátů elektrického vedení nebo větších kovových objektů. Tento problém nastává zejména ve vnitřním prostředí. Zjistit homogenitu magnetického pole v běžném indoor prostředí lze prakticky pouze přímo, pomocí měření. Pokud budeme znát odchylky v měřených hodnotách od skutečného natočení kompasu (a potažmo robota), lze této znalosti využít při nastavení parametrů estimátoru, který určuje například polohu robota. Takové měření a jeho vyhodnocení je proto předmětem této práce.

Cílem bakalářské práce je zjistit velikost odchylky naměřeného směru od severu v indoor prostředí, kde se vyskytují rušivé elementy, a zjistit v tomto prostředí použitelnost kompasu HMC6343 od firmy Honeywell pro navigaci mobilních robotů. Pro zjištění použitelnosti jsem provedl sérii měření v areálu Fakulty strojního inženýrství a v dalších vybraných indoor prostorech v různé denní doby a naměřil odchylku směru od severu, získaná data jsem zpracoval pomocí programu Matlab.

I. Teoretická část

2. Zemský magnetismus

Magnetické pole Země si lze představit jako magnetické pole magnetu, který je umístěn ve středu Země. K tomuto poznatku začátkem 17. století došel anglický lékař a fyzik William Gilbert. Místa, kde siločáry procházejí povrchem Země, označujeme jako severní a jižní magnetický pól. Magnetický pól se neustále pohybuje. V rámci svého prvního pohybu driftuje během dne po elipsovité dráze v rozmezí asi 40 metrů. Další jeho důležitý pohyb je postupný přesun jižního a severního magnetického pólu směrem k severnímu a jižnímu geografickému pólu.

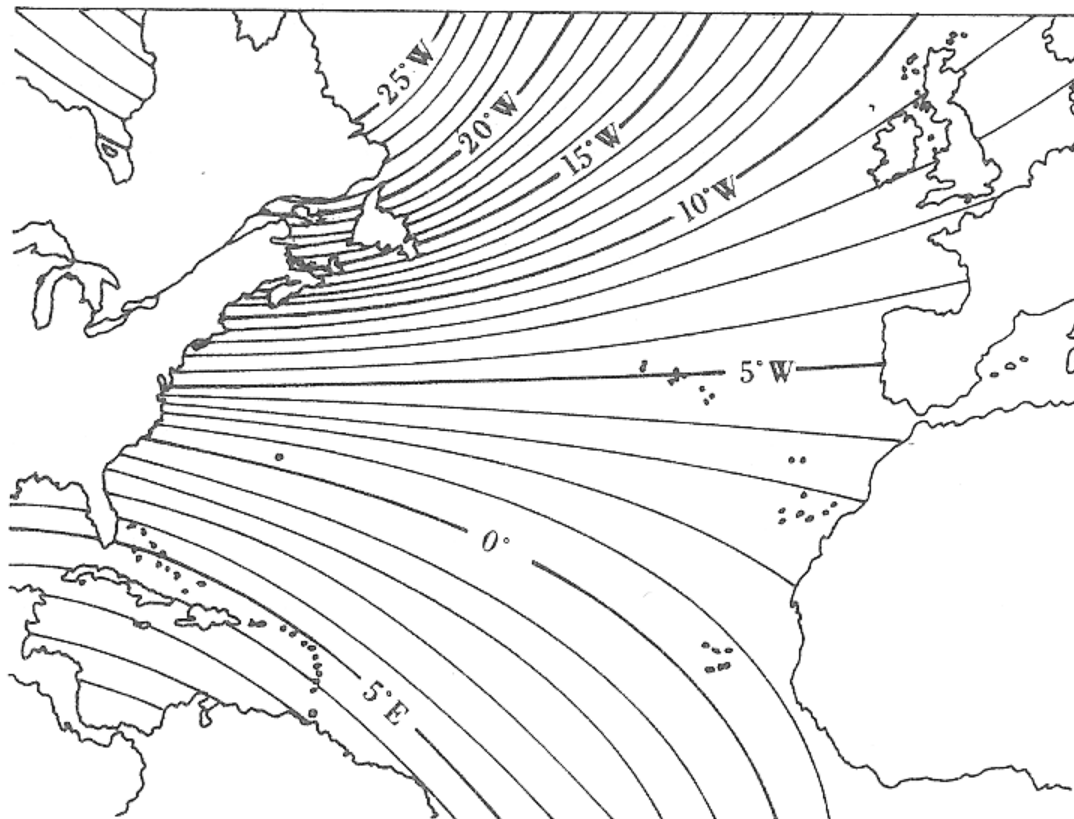


Obr. 1: Magnetické pole země (1 str. 125)

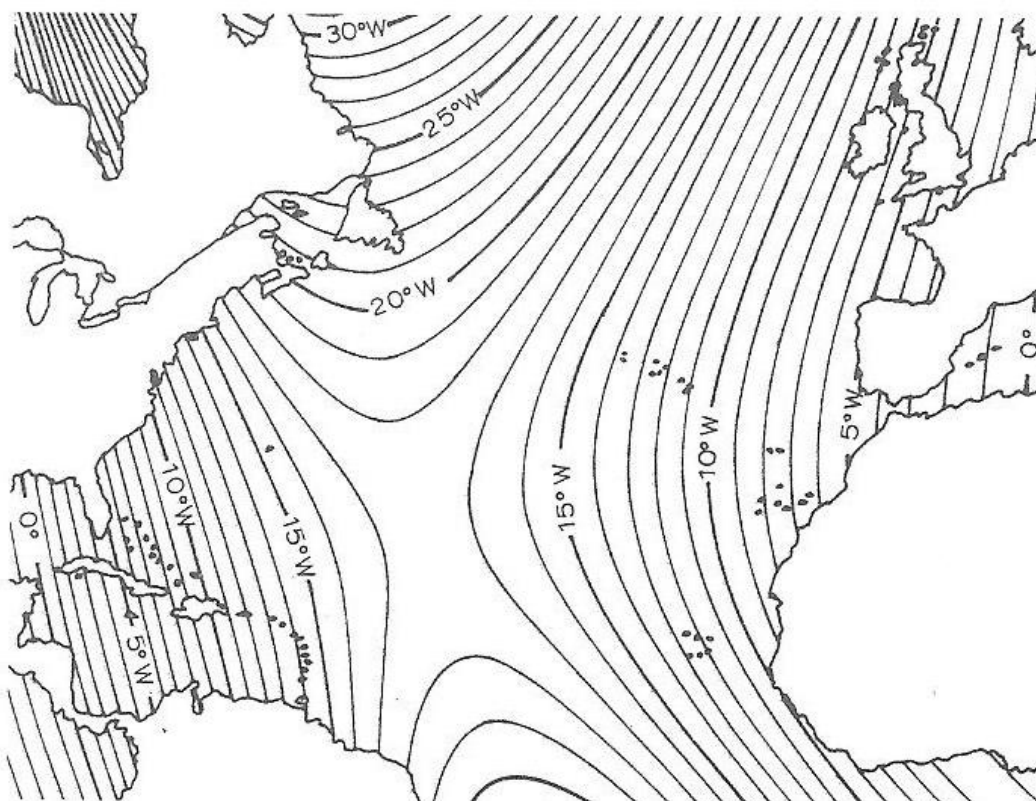
2.1 Magnetická deklinace

Magnetická deklinace je úhel mezi magnetickým polem a polem zeměpisným. Tato hodnota se neustále mění a v každém místě Země má jinou hodnotu. Proto se neustále měří a zapisuje do tabulky. Jako první začal ve velkém sepisovat mapu magnetické deklinace Edmond Halley na konci 17. století. Tehdy provedl dvě objevitelské plavby, během kterých měřil

magnetickou deklinaci, a v roce 1701 vydal tištěnou verzi map magnetických deklinací nejprve pro severní Atlantik a poté pro celý svět.



Obr. 2: Mapa deklinací severního Atlantiku z roku 1701 (2 str. 77)



Obr. 3: Mapa deklinací severního Atlantiku z roku 2001 (2 str. 78)

2.2. Magnetická inklinace

„Magnetická inklinace je úhel, který svírá místní vektor intenzity zemského magnetického pole s místní vodorovnou rovinou.” (1 str. 128)

Z toho vyplývá, že magnetická inklinace je v malých zeměpisných šířkách nízká a s přibývajícím zeměpisnou šířkou roste. Pro Brno má magnetická inklinace hodnotu zhruba 64,4°.

3. Historie kompasu

Kompas byl objeven Číňany, kteří ho využívali k harmonizaci obydlí a prostředí v souladu s přírodou podle učení Feng-šuej, kolem roku 247 před Kristem.

Kompas pro navigaci byl vyvinut učením v Číně v 11. století. Ti používali zmagnetizovanou jehlu v misce s vodou.

Poté se vývoji kompasu věnovala především Evropa. Jelikož jehla v misce s vodou byla příliš nepřesná a při velkém pohybu lodi byl problém s přílišným pohybem jehly ve vodě, umístila se zmagnetizovaná jehla na vertikální osu do nádoby bez vody. Na tuto jehlu se umístila kruhová karta, které se začalo říkat kompasová růžice. Kompasová růžice tehdy obsahovala italské názvy hlavních větrů. Tento kompas označovali jako suchý kompas.

Kolem roku 1750 ho zdokonalil Gowin Knigh. Dělal pokusy na starých typech kompasů a zjistil, že některé střelky mají šest pólů místo dvou. Dva póly měla na koncích, dva póly byly u zúžení a další dva póly se vytvořily u otvoru. Dalšími pokusy zjistil, „že *nejlepší a nejjednodušší je dlouhá pravoúhlá střelka bez otvoru pro osu.*“ (2 str. 93) Vytvořil tak kompas, který na klidném moři převyšoval všechny ostatní. Potíže nastaly, když se zvedly vlny. Problém byl v příliš lehké kompasové růžici, která nebyla schopna dostatečně absorbovat rázy rozbouřeného moře.

Na začátku 19. století navrhl Mathew Flinders doplnit kompasnici o vertikální železnou tyč, která by měla korigovat deviaci způsobenou železnými věcmi na lodi. Tato úprava však zůstala zapomenuta a nepoužívala se. O několik desítek let později začal George Airy přidávat pod kompas železnou tyč a spirálu.

Roku 1840 ustanovila admirální kompasová komise Standardní admirální kompas. Tento kompas byl odlišný v tom, že místo jedné střelky měl čtyři.

Roku 1854 si John Gray nechal patentovat kompasnici, která mu umožňovala seřizovat kompas na palubě lodi. Jeho kompasnice se lišila tím, že magnety potřebné k seřízení kompasu byly uvnitř kompasnice, pomocí šroubů se s nimi dalo pohybovat všemi směry a zároveň umožňovaly okamžité zkorrigování kompasu. Tato kompasnice se však příliš nepoužívala a zhruba o 20 let později ji zdokonalil William Thomson neboli lord Kelvin of Largs. Jeho kompasnice a kompas se brzo začaly používat u mnoha lodních společností.

V té době se však začínal objevovat nový typ kompasu, který měl předčít suché kompasu hlavně svou stabilitou na rozbouřeném moři. Byl to plovoucí kompas.

Tento druh kompasu představil královské společnosti již v roce 1690 Sir Edmund Halley. Pokrok v konstrukci plovoucích kompasů udělal až Francis Crow v roce 1813, kdy získal patent na zdokonalení kompasu. Místo dříve používané vody použil alkohol, aby zabránil zamrznutí kapaliny. Kompas dále vybavil expanzní komorou, z důvodu změny objemu při různých teplotách.

Roku 1863 představil Edward Samuel Ritchie svůj plovoucí kompas, který začalo využívat americké námořnictvo. Britské námořnictvo začalo používat plovoucí kompas, který vytvořil Ettrick Creak společně s L. W. P. Chetwyndem, až v roce 1908.

4. Moderní kompas

4.1. Moderní magnetické kompas

Nynější moderní kompas obsahují kovovou jehlu, která je umístěna v kapalině, nejčastěji v oleji, petroleji nebo alkoholu. Starší typy kompasů obsahovaly pružnou membránu nebo měly vůli v pouzdra, které umožňovaly rozpínání kapaliny v důsledku změn teploty nebo nadmořské výšky.

Novější typy kompasů jsou vyráběny v menších rozměrech, nebo se pouzdra vyrábějí z pružných materiálů k dosažení stejného výsledku. Kapalina, kterou je naplněn kompas pomáhá tlumit pohyby jehly, a tak se rychleji ustálí stříška, když se změní směr, než u suchého kompasu, kde jejich stříšky mnohem více oscilovaly. Některé kompas mají také povrch jehly a další důležité body pokryty fosforeskujícím nebo luminiscenčním materiálem pro lepší odečítání při zhoršené viditelnosti.

Další vymoženosti, které moderní kompas obsahují, jsou referenční karta neboli Romer, která umožňuje lepší odečítání polohy na mapě, a různé zaměřovací mechanismy jako zrcadlo nebo hranol.

4.2. Gyrokompas

Gyrokompas je zařízení určené k zjištění geografického severního pólu. Tento přístroj není ovlivňován okolním magnetickým polem. Jeho historie se datuje od roku 1908, kdy ho vyvinul Američan Elmer Ambrose Sperry a v tomtéž roce si ho nechal patentovat. Tento jeho kompas měl zásadní roli v 1. světové válce.

„Gyrokompas závisí na čtyřech přírodních jevech: gyroskopická setrvačnost, precese, zemská rotace a gravitace.” (3 str. 93) Gyrokompas je v podstatě směrový gyroskop, ten se skládá ze setrvačnicku zavěšeném na kardanovém závěsu, který je tvořen vnitřním a vnějším kardanovým rámem. Vnitřní kardanův rám nese vlastní rotor gyroskopu a může se otáčet kolem osy kolmé na hlavní osu rotace. Vnější rám se otáčí s vnitřním rámem i rotorem gyroskopu. *„Úhel natočení kolem osy vnějšího cardanova rámu představuje informaci o měřeném kursu a bývá nazýván termínem "gyroskopický kurs".* (1 str. 112)

K tomu aby gyrokompas mohl najít severní pól jsou potřeba 3 podmínky. První, gyroskop musí být udělán tak, aby zůstal v rovině poledníku. Druhá, musí být v horizontální poloze. Třetí podmínkou je, že musí v této poloze zůstat, aby mohl ukazovat k severnímu pólu.

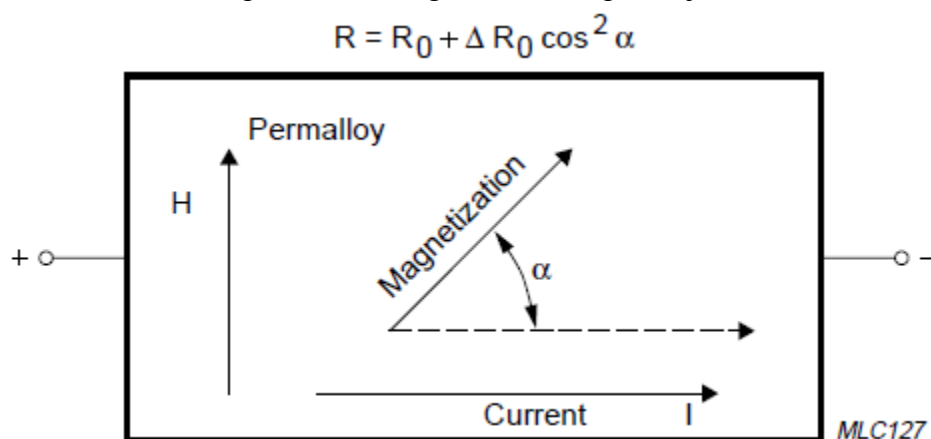
5. Elektronické kompasy

5.1. Anizotropní magnetorezistivní senzory

Anizotropní magnetorezistivní (AMR) snímač je založen na magnetoresistivním jevu. Tento jev byl objeven v roce 1857 a ukazuje schopnost materiálu měnit svůj elektrický odpor v závislosti na magnetickém poli, které na něj působí.

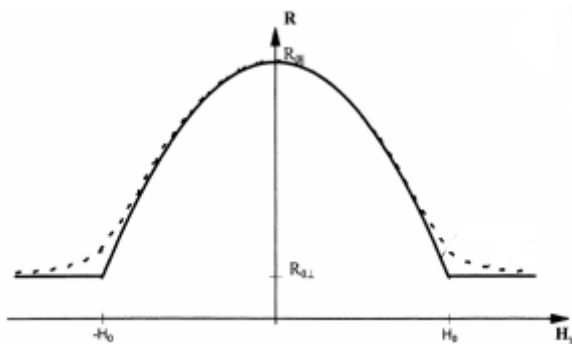
Tyto snímače jsou vyrobeny ze směsi železa a niklu, která se nazývá Permalloy (Py). Poměr železa a niklu bývá různý, ale pohybuje se okolo 20% železa a 80% niklu.

„Elektrický odpor významně závisí na úhlu mezi protékajícím proudem a magnetizací proužku. Dojde-li tedy v důsledku působení vnějšího pole k vychýlení magnetizace ze směru podélné osy proužku, změní se jeho odpor.“ (4 str. 6) Nejvyššího odporu dosahuje materiál při nulovém úhlu mezi proudem a magnetizací, naopak nejnižších hodnot dochází při úhlu 90°.



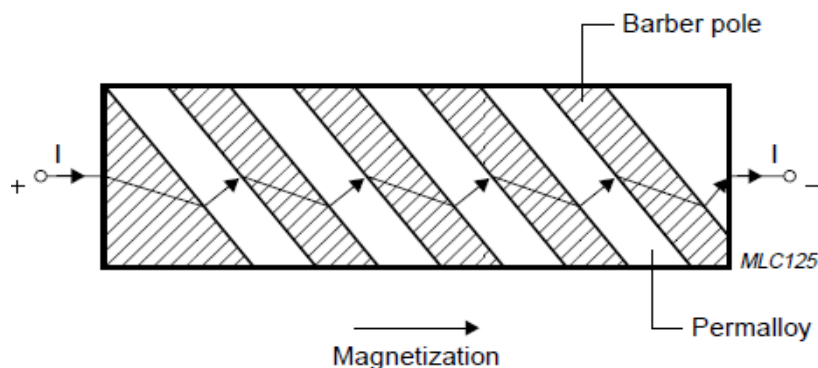
Obr. 4: Princip magnetorezistivního jevu (5 str. 3)

Na obr. 5 lze však vidět, že takto sestrojený senzor nedokáže rozlišit jestli je vektor magnetizace shodný s vektorem proudu nebo, jestli má opačný směr.



Obr. 5: Závislost rezistivity na magnetickém poli (4 str. 7)

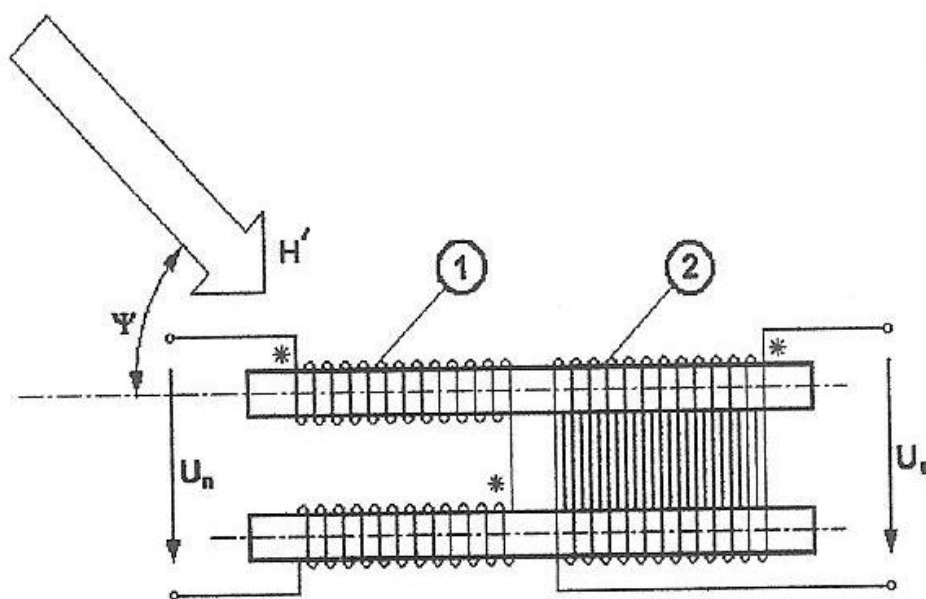
Z toho důvodu se používá tzv. „Barber Poles” struktura. „Na povrch Py proužku se deponují úzké hliníkové pásy pod úhlem 45° vzhledem k podélné ose Py proužku.” Tímto je umožněno zjistit vektor magnetizace vzhledem k procházejícímu proudu. Pro úplné zjištění směru magnetizace se zapojují dva páry Py proužků do plného Wheatstoneova můstku.



Obr. 6: Uspořádání do "Barbar Poles" struktury (5 str. 11)

5.3. Indukční kompas

Indukční magnetický kompas byl vyvinut v roce 1924. Sestrojil ho Američan Morris Titterington. Indukční kompas se dnes používají jako dálkové, nebo společně se směrovými gyroskopy se používají jako gyroindukční kompas. Základním stavebním kamenem je magnetometr. Ty jsou vyráběny z magneticky měkkých materiálů s velkou hodnotou relativní magnetické permeability např. permalloy. „Indukční magnetometr je tvořen dvěma stejnými, např. permalloyovými tyčkami, které představují jádra cívek viz obr. 7. Jádra jsou mechanicky spojena tak, aby jejich podélné osy byl rovnoběžné. Na jádrech jsou navinuta dvě vinutí - budicí a snímací.” (1 str. 138) Budicí vinutí jsou navinuta na každém jádře zvlášť. Tato budicí vinutí jsou zapojena do série, aby v každém jádře byly magnetické toky s opačnou polaritou. Snímací vinutí je navinuto na obě jádra společně a z něho odebíráme signál o směru. Jestliže začne působit vnější magnetické pole, tak se začne v snímacím vinutí indukovat napětí. Pro zjištění směru magnetického pole se magnetometry umísťují do tvaru rovnostranného trojúhelníku nebo hvězdy.



Obr. 7: Indukční magnetometr (1 str. 138)

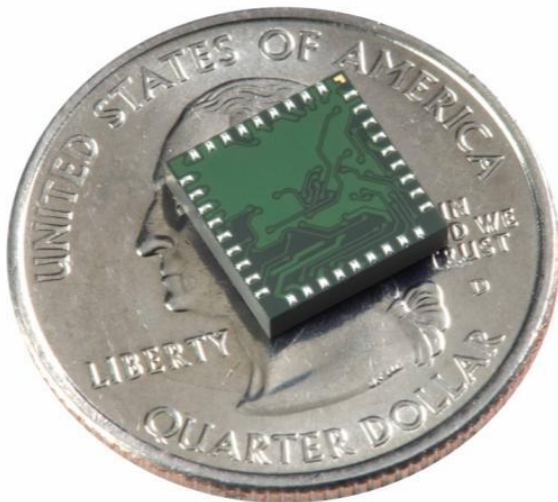
II. Praktická část

V Praktické části bakalářské práce byla provedena měření pro zjištění směru magnetického pole Země. Bylo provedeno celkem pět měření. První měření v kuchyni bylo zkušební. Další měření byla provedena v areálu Fakulty strojního inženýrství. Pro zjištění závislosti výchylky magnetického pole na výšce byla dvě měření provedena v nenulové výšce nad podlahou.

6. Měřicí přístroje

6.1. Elektronický kompas

Pro měření byl použit kompas firmy Honeywell HMC6343.



Obr. 8: Kompas HMC6343 (6 str. 1)

Tento kompas je vybaven:

- trojosý Anizotropní magnetorezistivní senzor
- trojosý MEMS akcelerometr
- EEPROM paměť
- I²C rozhraní

Rozměry kompasu HMC6343 jsou 9x9x1,9 mm (pro porovnání s mincí viz obr. 8). Přesnost udávaná výrobcem je 2° a přesnost při náklonu je 1°. K napájení stačí napětí 3,3 V a během provozu odebírá průměrný proud 4,5 mA, což umožňuje napájení přes USB kabel. Celý kompas je uložen společně s elektronikou v ochranném pouzdru (viz obr.9), který je propojen s počítačem pomocí USB kabelu, ten zajišťuje napájení a přenos hodnot do počítače.

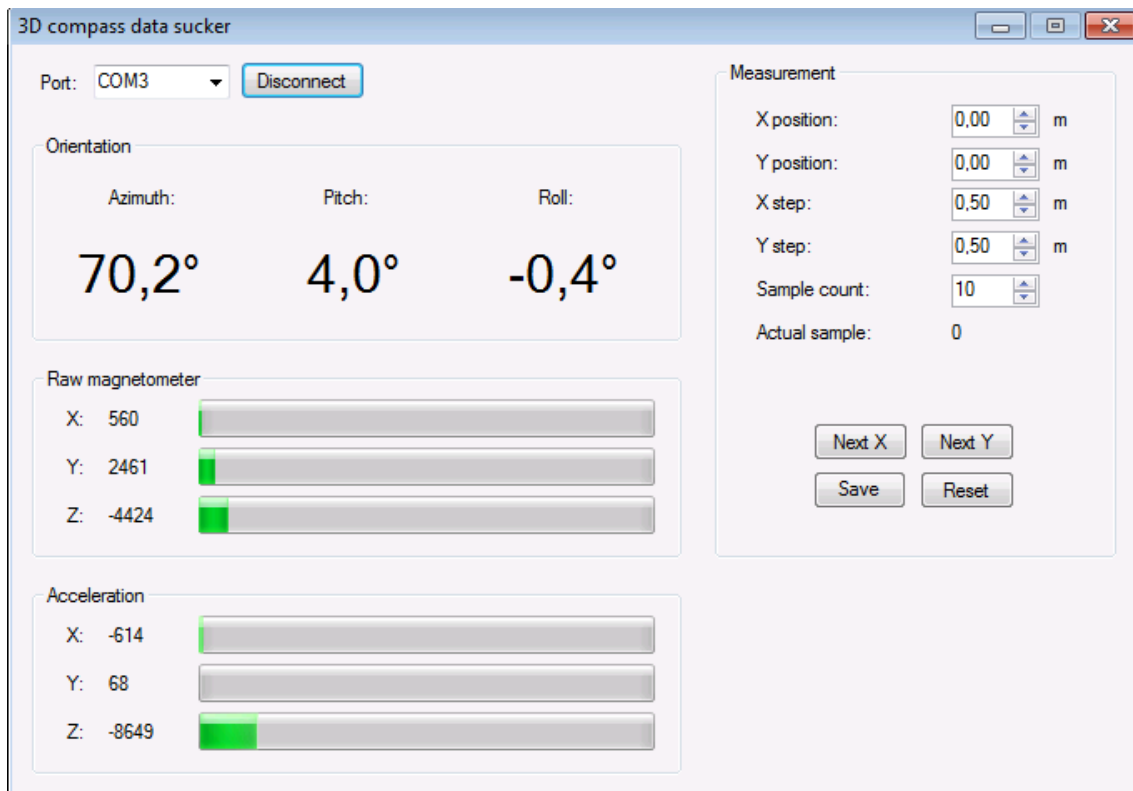


Obr. 9: Finální provedení kompasu

6.2. Software

6.2.1. Speciální aplikace pro účely měření

Software byl vytvořen na Ústavu mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky pro potřebu měření s kompasem HMC6343. Interface má jednoduché ovládání(viz obr.10). Po připojení kompasu k počítači a nastavení portu začne okamžitě vypisovat hodnoty pro úhel magnetického pole ve všech třech osách. Dále pro měření jsou důležitá pole, kde lze nastavit polohu kompasu v osách X a Y, krok, o který se změní poloha pro další měření a počet měření pro každou polohu. Dále jsou k dispozici tlačítka, které provedou měření a změní polohu o nastavený krok v daném směru, vymažou naměřené hodnoty nebo uloží naměřené hodnoty do počítače. Program ukládá do souboru s příponou .mat, se kterým se nadále pracuje v programu Matlab.



Obr. 10: Náhled na interface softwaru

6.2.2. Matlab

Pro zpracování výsledných dat jsem využil programu Matlab, kde jsem vytvořil skript pro převedení hodnot do vektorového pole.

Výsledný skript vypadá takto:

```
clear;clc;
load('paternoster30.mat', '-mat');%nacteni mat filu
s=struct(data);

L1=[-0.25,-0.25,4,4,9,9,-0.25];
L2=[-0.5,8.5,8.5,11.5,11.5,-0.5,-0.5];
L3 = [2,3,4,3,2];
L4 = [2,3,2,1,2];                                %souradnice pro funkci Line

for k=1:161                                       %pocet mereni
    x = [s(k).pos];                               %nacteni polohy
    angle = s(k).vals;                            %nacteni hodnot z kompasu
    angle1 = angle(1:10)/10;                     %vydeleni 10(hodnota ulozena v
                                                    %matfilu je 10x vetsi)
    angle2 = deg2rad(angle1(1:10));               %prevedeni uhlu na radiany
    [W,Z] = pol2cart((angle2),1);                 %prevedeni na cartezke souradnice
    U = mean(W);                                  %udelani aritmetického prumeru
    V = mean(Z);                                  %udelani aritmetického prumeru
```

```

colormap(hsv) %vybrani barev
cmap=colormap;
[ba,rho]=cart2pol(U,V); %prevod zaokrouhlenych hodnot
if ba<0, ba= ba+(2*pi); %zajistení kladných hodnot uhlu
end
b = ceil(64*((ba)/(2*pi))); %prevedení uhlu na hodnoty od 1 do 64
bar=[cmap(b), cmap(b+64), cmap(b+128)]; %prirazení barvy

hold on
rectangle('Position',[5.75,-0.25,0.5,0.5],...
    'Curvature',[0,0],'facecolor','k')
rectangle('Position',[5.75,2.1,0.5,0.5],...
    'Curvature',[0,0],'facecolor','k')
rectangle('Position',[5.75,8.4,0.5,0.5],...
    'Curvature',[0,0],'facecolor','k')
%vykreslení sloupu

line(L3,L4,'color','k','LineWidth',2) %vykreslení tvaru místnosti
line(L1,L2,'LineWidth',2) %vykreslení stolu

quiver(x(1),x(2),U,V,0.4,'color',bar) %vytváření grafu
xlabel(' [m] ') %popis os
ylabel(' [m] ')
hold off
end;

```

7. Metodika měření

Pro měření jsem používal magnetický kompas HMC6343, notebook se speciální aplikací a ovladači pro měření s magnetickým kompasem, dřevěné krejčovské pravítko, metr a buzolu. Prvním krokem měření bylo zjištění referenční hodnoty směru magnetického severního pólu. Tento směr jsem určil pomocí výrazného orientačního bodu ve větší vzdálenosti od budovy. Azimut toho bodu jsem určil z mapy a zkontroloval pomocí buzoly umístěné v prostoru, ve kterém jsem předpokládal nízkou míru ovlivnění kovovými předměty v okolí. Je důležité zdůraznit, že cílem měření jsou především relativní odchylky v rámci místnosti, nikoliv absolutní hodnoty azimutu.

Dále jsem si určil vzdálenost mezi jednotlivými body měření (většinou půl metru). Poté jsem položil magnetický kompas, připevněný na krejčovské pravítko, na zem, počkal jsem, až se ustálí hodnoty a stiskl jsem tlačítko pro změření hodnot. Tím se provedlo 10 měření, ze kterých se při vytváření grafů dělал průměr. V následujícím kroku jsem posunul kompas dál a znovu provedl měření. Takto jsem postupoval, dokud jsem nenaměřil směr magnetického pole v celém prostoru. Krejčovské pravítko bylo ke kompasu připevněno z důvodu zajištění konstantní orientace kompasu a zároveň sloužilo pro snadnější odměřování vzdálenosti mezi jednotlivými body měření.

8. Místa měření

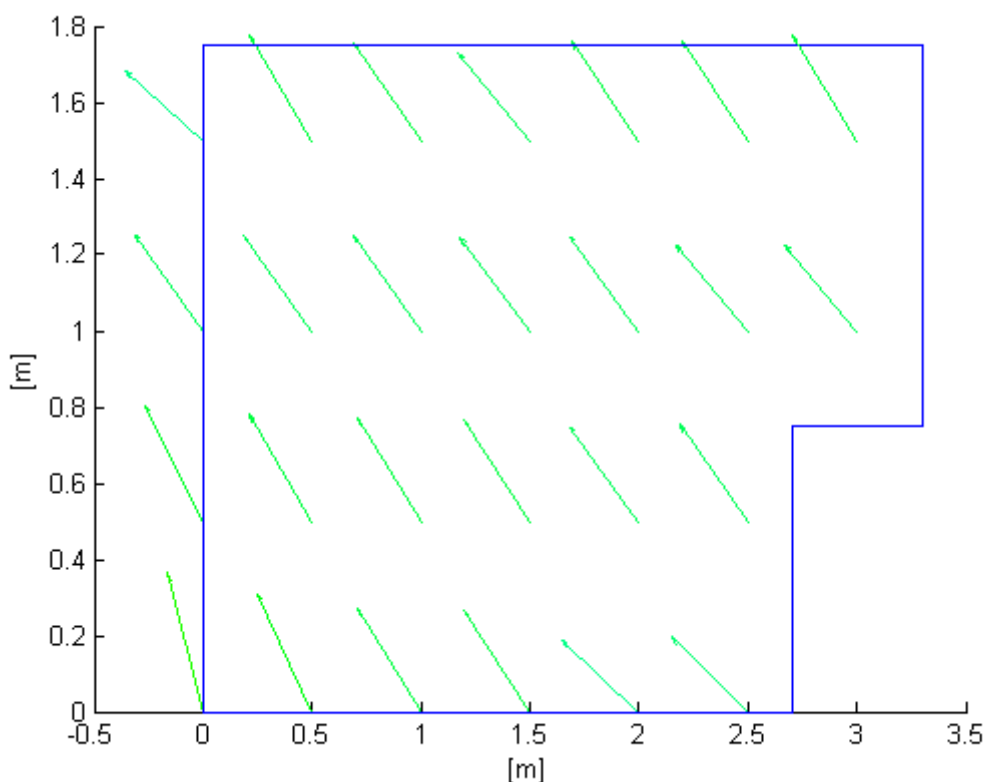
Měření probíhalo na vybraných místech uvnitř budov. Pro první zkušební měření jsem zvolil kuchyň v bytě. Je to menší místnost s několika elektrickými spotřebiči a vodovodními trubkami.

Další měření probíhala v budově Fakulty strojního inženýrství. Jedno z měření probíhalo v průchodu mezi budovami A2 a A4 v sedmém patře. Je to prostor větších rozměrů, ve kterém se nachází několik radiátorů, kovových židlí, stolů a dalších železných objektů, které mohou ovlivňovat kompas.

9. Výsledky měření

9.1. Kuchyně

Měření v kuchyni probíhalo za dne při normální činnosti elektrických přístrojů.

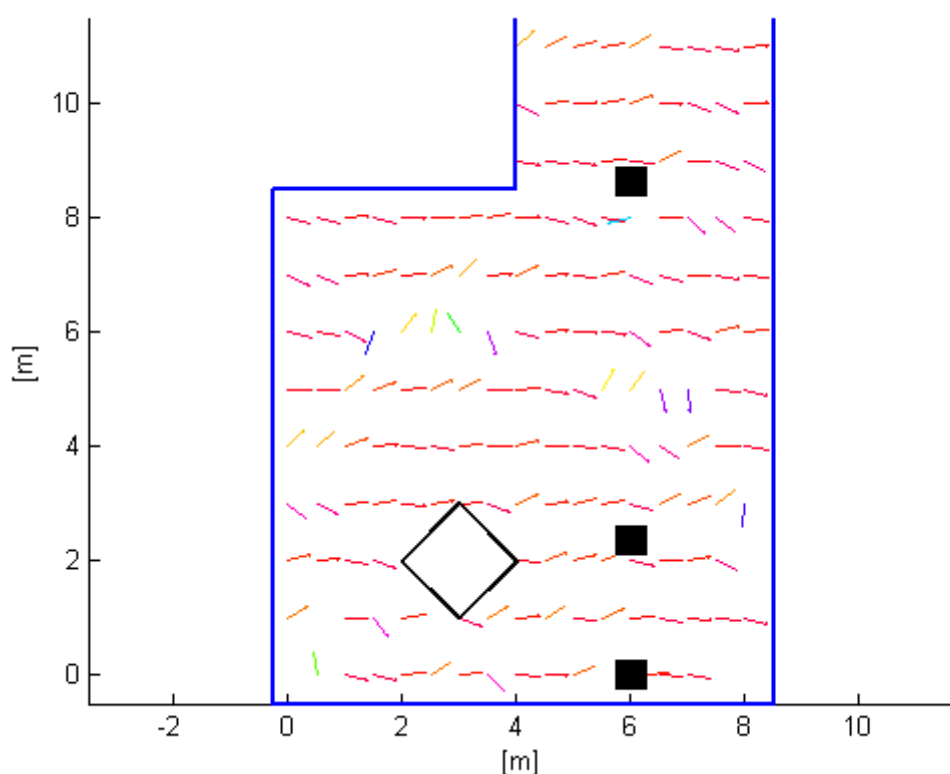


Obr. 11: Výsledek měření v kuchyni

Z měření vyplývá, že elektrické spotřebiče a kovové trubky ovlivnily kompas a změnily vektor magnetického pole. Patrné to je na nulové ypsilonové souřadnici, kdy v bodě $x=0$ byl kompas u lednice, v bodě $x=2$ a $2,5$ byl kompas poblíž vodovodních trubek a sporáku. A v bodě $x=0$, $y=1,5$ byl kompas ovlivňován jinou kovovou trubkou.

9.2. Měření v nulové výšce

Měření probíhalo v prostorách na FSI mezi bloky A2 a A4 jako příklad běžného indoor prostředí, ve kterém by se robot mohl pohybovat. Vzdálenosti mezi jednotlivými měřeními byla 0,5 metrů pro osu x a 1 metr pro osu y.

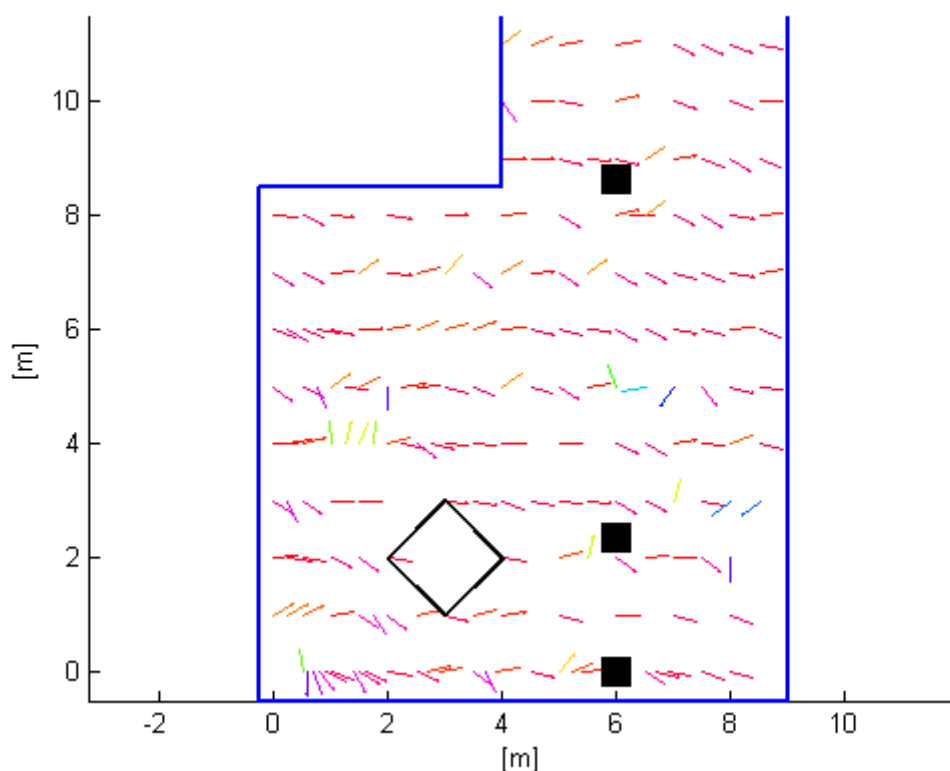


Obr. 12: Výsledek měření u páternosteru v nulové výšce

Na obr. 12 lze vidět naměřené hodnoty. Malé plné černé čtverce naznačené v místnosti označují sloupce a čtverec bez výplně značí velký stůl, který se tam nachází. Z výsledků je patrné, že zde docházelo k většímu ovlivnění kompasu kovovými předměty. V nulové ypsilonové ose k němu docházelo kvůli blízkosti masivních litinových radiátorů. Další výrazné změny magnetického toku byly zaznamenány v blízkosti kovových noh stolů a židlí, které se nachází v daném prostoru. K výrazným výchylkám (až 180°) oproti normálu došlo dvakrát, a to v těsné blízkosti nohy židle a kovového koše.

9.3. Opakované měření v nulové výšce

Další měření, pro zjištění časové proměnlivosti hodnot v prostoru mezi bloky A2 a A4, bylo provedeno s rozměry mezi jednotlivými měřeními jednoho metru pro obě osy. V blízkosti kovových předmětů a výrazných výchylek byly vzdálenosti mezi jednotlivými měřeními zmenšeny.

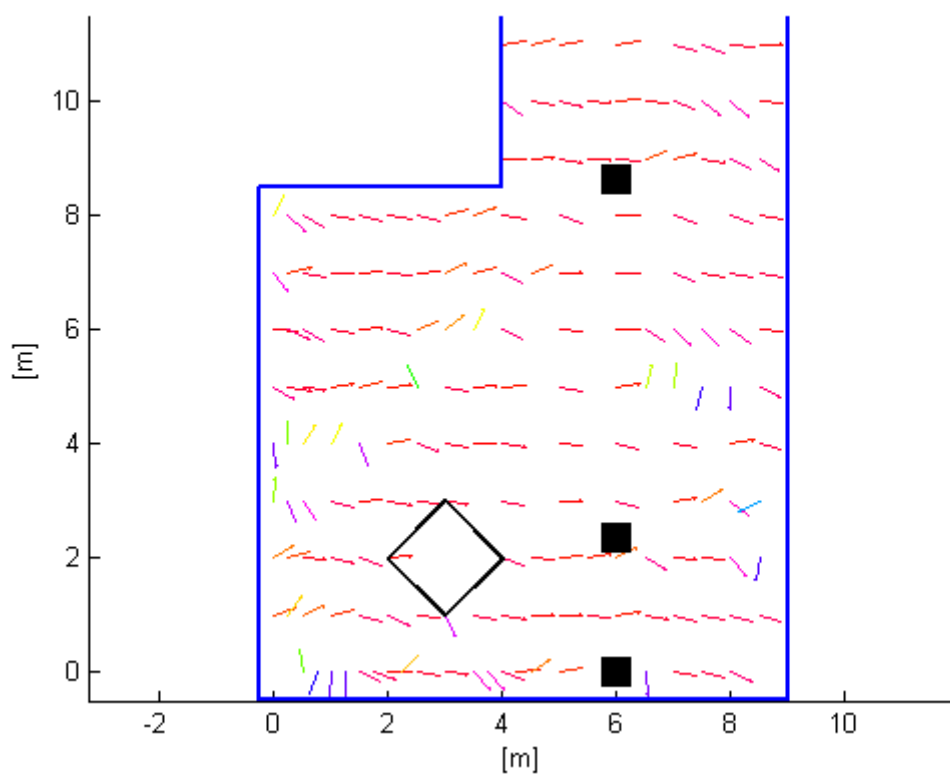


Obr. 13: Výsledek opakovaného měření u páternosteru v nulové výšce

Druhé měření znova ukázalo, že v blízkosti kovových předmětů, ale i ve volném prostoru dochází ke značným odchylkám od severu. Tyto odchylky jsou zřejmě způsobeny elektrickým vedením nebo kovovými předměty pod podlahou. Měření také vykazuje podobnost dat s předchozím měřením provedeným ve stejné hladině, tudíž stačí provést jedno měření pro dané místo a hladinu.

9.4. Měření v 15 centimetrech

Další měření bylo provedeno pro výšku 15 centimetrů nad podlahou. Vzdálenosti mezi měřeními byly 1 metr. V blízkosti kovových předmětů byla vzdálenost zmenšená.

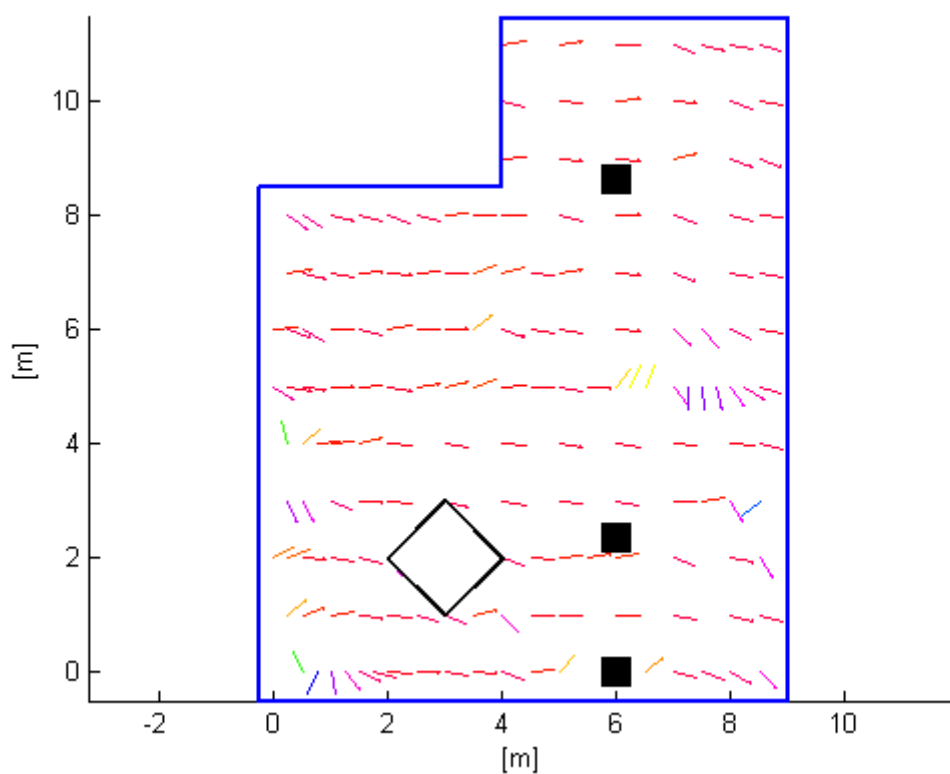


Obr. 14: Výsledek měření ve výšce 15cm

Z měření vyplývá, že ve výšce 15 centimetrů jsou hodnoty stabilnější. Výjimkami jsou znova oblasti poblíž kovových předmětů a místo s pravděpodobným výskytem elektrického vedení v podlaze.

9.5. Měření v 30 centimetrech

Poslední měření bylo provedeno ve výšce 30 centimetrů nad podlahou. Vzdálenosti mezi měřeními byla jeden metr. V blízkosti kovových předmětů a v případě velkých výchylek byla vzdálenost opět zmenšená.

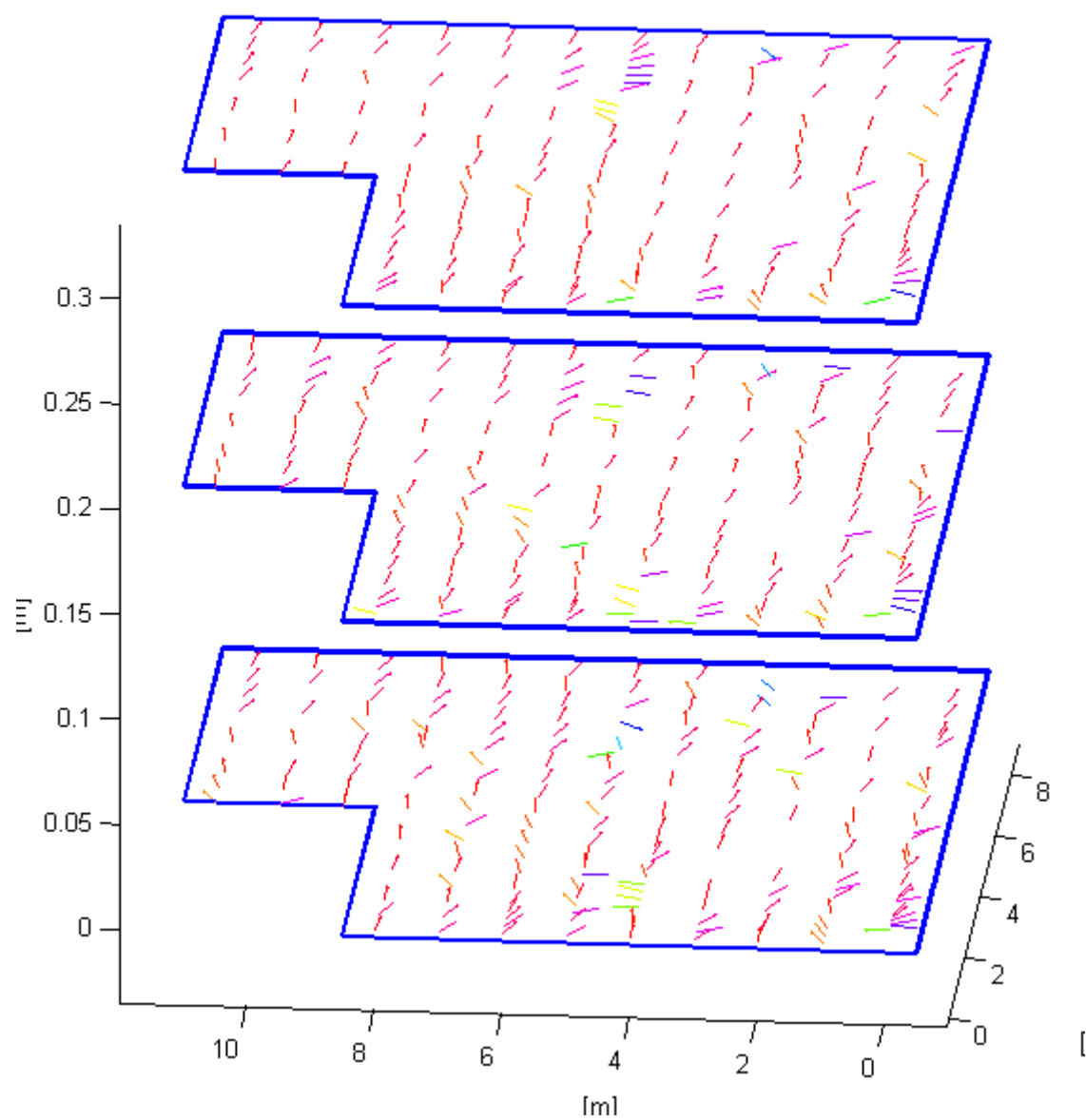


Obr. 15: Výsledek měření ve výšce 30 cm

Poslední měření ukazuje stabilizaci hodnot ve volném prostoru, s výjimkou oblasti na pátém metru v ose y, kde jsou zřejmě dráty elektrického vedení. Další výchylky byly způsobeny opět radiátory, stoly a železnými dveřmi.

9.6. 3D vektorové pole

Na obrázku 16. lze vidět poslední tři měření spojená do 3D vektorového pole. Lze tam vidět jak se mění hodnoty v závislosti na výšce od podlahy a lze z nich vyčíst, že s rostoucí výškou se hodnoty ustalují.



Obr. 16: 3D vektorové pole

III. Závěr

V teoretické části jsem popsal vývoj kompasu od středověku po nynější dobu a vybral některé druhy moderních kompasů a popsal činnost anizotropního magnetorezistivního senzoru, který je použit v kompasu HMC6343.

V praktické části je popsána metodika měření společně s měřicími přístroji a následně jednotlivá měření a jejich vyhodnocení.

Z naměřených hodnot vyplývá, že výrazné odchylky od severu byly naměřeny ve všech měřeních. Tyto odchylky se vyskytovaly v blízkosti radiátorů, stolů, židlí a také dveří. Dále se tyto odchylky objevily na méně očekávaných místech, kde nebyly v blízkosti žádné viditelné objekty které by mohly ovlivňovat kompas. V těchto místech se zřejmě vyskytují v podlaze elektrická vedení nebo jiné kovové předměty. Dále lze ale vidět, že s rostoucí výškou měření tyto výchylky klesají a magnetické pole v místech, která jsou ve větší vzdálenosti od kovových předmětů, je celkem ustálené, až na místa, kde k tomuto rušení docházelo při všech měřeních a lze tím vyloučit chybu jednoho měření.

Na základě naměřených dat lze vidět, že odchylka se vyskytovala jak v blízkosti viditelných kovových předmětů, tak i v místech kde nešel zdroj rušení vidět. Tato skutečnost by měla být brána v úvahu, a proto by bylo zřejmě nutné nejprve provést alespoň zevrubné měření prostoru a výsledná data použít ke korekci naměřených hodnot v průběhu pohybu robotu.

Z těchto měření vyvozují, že kompas HMC6343 by byl použitelný pro řízení robota v indoor prostředí jako jeden z několika snímačů, pokud by byl umístěn výš nad zemí, aby nedocházelo k tak velkým odchylkám.

Seznam použitých zdrojů

1. Čížmár, Jan. *Letecké přístroje II*. Brno : Vojenská akademie, 2003. S-1041/2.
2. Gurney, Alan. *Kompas Historie nejdůležitějšího navigačního zařízení všech dob*. Praha : BB/art s.r.o., 2008. ISBN 978-80-7381-434-2.
3. Bowditch, Nathaniel. *The American Practical Navigator*. Bethesda : National Imagery and Mapping Agency, 2002. NSN 7642014014652.
4. Vopálenský, Michal a Ripka, Pavel. Magnetorezistivní senzory. *Slaboproudý obzor*. 2002, Sv. 59, 2, stránky 6-12.
5. Magnetoresistive sensors for. *Firemní literatura Philips*. [Online] 6. Září 2000. [Citace: 8. květen 2011.] http://www.nxp.com/acrobat_download2/various/SC17_GENERAL_MAG_2-1.pdf.
6. Datasheet HMC6343. *Firemní literatura Honeywell*. [Online] březen 2011. [Citace: 20. květen 2011.] <http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Missiles-Munitions/HMC6343.pdf>.

Seznam obrázků

Obr. 1: Magnetické pole země (1 str. 125).....	11
Obr. 2: Mapa deklinací severního Atlantiku z roku 1701 (2 str. 77).....	12
Obr. 3: Mapa deklinací severního Atlantiku z roku 2001 (2 str. 78).....	13
Obr. 4: Princip magnetorezistivního jevu (5 str. 3)	16
Obr. 5: Závislost rezistivity na magnetickém poli (4 str. 7)	16
Obr. 6: Uspořádání do "Barbar Poles" struktury (5 str. 11)	17
Obr. 7: Indukční magnetometr (1 str. 138)	18
Obr. 8: Kompas HMC6343 (6 str. 1)	19
Obr. 9: Finální provedení kompasu	20
Obr. 10: Náhled na interface softwaru	21
Obr. 11: Výsledek měření v kuchyni.....	23
Obr. 12: Výsledek měření u páternosteru v nulové výšce	24
Obr. 13: Výsledek opakovaného měření u páternosteru v nulové výšce	25
Obr. 14: Výsledek měření ve výšce 15cm.....	26
Obr. 15: Výsledek měření ve výšce 30 cm.....	27
Obr. 16: 3D vektorové pole	28

Seznam příloh

CD

na CD jsou adresáře:

/text - bakalářská práce ve formátu pdf

/kuchyn - naměřená data a skript pro zpracování měření v kuchyni

/páternoster - naměřená data a skript pro zpracování prvního měření v nulové výšce

/páternoster2 - naměřená data a skript pro zpracování druhého měření v nulové výšce

/páternoster15 - naměřená data a skript pro zpracování měření ve výšce 15 cm

/páternoster30 - naměřená data a skript pro zpracování měření ve výšce 30 cm

/páternoster3D - naměřená data a skript pro zpracování 3D vektorového pole