

Zadání bakalářské / diplomové práce

Příjmení a jméno studenta (osobní číslo - nepovinné)	Šmutzer Michal
Zkratka pracoviště	MTI
Datum zadání BP/DP	16. 9. 2010
Plánované datum odevzdání	20. 5. 2011
Rozsah grafických prací	Dle potřeby dokumentace
Rozsah průvodní zprávy	cca 35 – 40 stran
Název BP/DP (česky)	Robotino – možnosti navigace
Název BP/DP (anglicky)	Robotino – possibilities of navigation
Zásady pro vypracování BP/DP (text nijak neformátujte, pouze očísľujte jednotlivé body .. 1) ... 2) ... atd. a každý bod uveďte jako nový odstavec):	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Seznamte se s možnostmi navigace mobilních robotů ve vnitřním prostředí. Proveďte rešerši používaných metod se zaměřením na Festo Robotino. 2. Seznamte se s možnostmi systému Festo Robotino, zejména s možnostmi řízení pohybu. 3. Proveďte návrh testovací trajektorie, proveďte měření a porovnejte výsledky jednotlivých metod navigace. 	
Seznam odborné literatury (text nijak neformátujte, pouze každou položku uveďte jako nový odstavec):	
Dokumentace systému Festo Robotino, dokumentace systému North Star Sensor, dokumentace projektu OpenRobotino	
Vedoucí BP/DP	Ing. Josef Černohorský, Ph.D.
Konzultant BP/DP (u externích pracovníků uveďte plný název pracoviště – firmy)	Ing. Jan Strnad

Obsah

Poděkování.....	5
Abstrakt(annotace).....	6
Abstrakt(AJ).....	7
Seznam zkratk	8
Obsah.....	9
Úvod.....	10

1 Teoretická část (možnosti navigace robotů ve vnitřním prostředí)

1.1 Inerciální navigace – využívá gyroskopů a akcelerometrů pro měření zrychlení a následně tak určuje výslednou pozici

1.1.1 inerciální snímače otočení

1.1.2 primárně snímající úhlovou rychlost

1.1.3 primárně snímající úhlovou polohu

1.2 mechanické gyroskopy

1.2.1 snímající jeden stupeň volnosti (single-degree-of-freedom gyroscopes, SDFG)

1.2.2 snímající dva stupně volnosti (two axis, free gyros – dvouosé, volné gyroskopy, 2DFG)

1.3 GPS - North Star sensor

1.4 Dead reckoning – matematická procedura pro určování současné pozice vozidla pomocí postupného přičítání díky známému kurzu a rychlosti v průběhu času (nejjednodušší implementací této metody je odometrie)

1.5 Sledování vodící čáry (guidepath following) – robot opticky či pomocí magnetometrů (či Halloových sond) sleduje vodící čáry; pro svou spolehlivost je to v průmyslu nejpoužívanější metoda

1.6 navigace pomocí taktilních (dotykových) a proximitních (bezdotykových) senzorů

2 možnosti systému Festo Robotino

2.1 možnosti řízení pohybu

2.2

3 návrh testovací trajektorie a měření a porovnání jednotlivých metod navigace

3.1 testovací trajektorie

3.2 měření 1

3.3 měření 2

3.4 měření 3

3.5 vyhodnocení

4 porovnání jednotlivých metod navigace

4.1 navigace 1

4.2 navigace 2

4.3 navigace 3

5 Závěr

Použitá literatura.....XX

Přílohy.....XX

Dokumentace.....XX

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je porovnat možnosti jednotlivých metod navigace mobilních robotů, jejich řízením pohybu, se zaměřením na používané metody u systému Festo Robotino.

A to jak rešerší používaných metod navigace mobilních robotů ve vnitřním prostředí, tak návrhem testovací trajektorie pro systém Festo Robotino , měřením a následným porovnáním jednotlivých metod navigace.

Úvod

Práce je rozdělena na tři hlavní části.

První část práce se zabývá možnostmi navigace mobilních robotů ve vnitřním prostředí. Jejich rešerší se zaměřením na systém Festo Robotino (dále jen „Robotino“).

Druhá část práce se zabývá možnostmi Robotina se zaměřením na jeho řízení pohybu...

Třetí část práce se bude zabývat návrhem testovací trajektorie, měřením a porovnáním jednotlivých metod navigace .

1 Teoretická část - možnosti navigace robotů ve vnitřním prostředí

Automatická navigace je jedním z prvních kroků pro dosažení umělé inteligence u autonomních systémů. Jednou z metod, kterou lze pro řešení této problematiky využít, je Dead reckoning. To je metoda, která je definována jako „Matematická procedura pro určování současné pozice objektu pomocí postupného přičítání dráhy díky známému kurzu a rychlosti v čase“. Nejjednodušší implementace této metody se nazývá *odometrie* [1].

1.1 odometrie

Odometrie se zabývá odhadem aktuální pozice pohybujícího se objektu vzhledem k počáteční poloze, ve které se systém nacházel před začátkem pohybu a k stanovení vzdálenosti, kterou urazilo vozidlo od začátku pohybu [9]. Používá se zejména u mobilních robotů s podvozkem vybaveným koly. Aplikace bývá provedena nejčastěji pomocí inkrementálních snímačů. Základní předpoklad spočívá v tom, že otáčky kol mohou být převedeny na lineární posuv vzhledem k podlaze. To vede také k akumulaci chyb [14]. Odometrie umožňuje spolu s měřením pohybu získat lepší odhad pozice. V některých případech, když nejsou k dispozici externí reference, může být odometrie jedinou možností navigace. Nepřesnost odometrie způsobují tyto chyby [14]:

Systematické chyby :

- Rozdílné průměry kol
- Aktuální průměr rozdílný od nominálního
- Výchylka kol
- Omezený rozsah enkodérů
- Omezená vzorkovací frekvence enkodérů

Ostatní chyby :

- Jízda po nerovném povrchu
- Jízda přes neočekávané překážky
- Prokluz kol při klzkém povrchu, rychlém otáčení, nárazech atd.

Podmínkou přesné odometrie je znalost geometrického modelu vozidla. Je třeba si uvědomit, že ne všechny typy podvozků jsou vhodné pro aplikaci odometrie [1]. Jednotlivé typy podvozků si můžeme demonstrovat na robotech .

1.2 Inerciální navigace

Každý volný objekt ve vesmíru má šest stupňů volnosti. Jsou to tři lineární stupně volnosti (x, y, z), které udávají pozici a tři stupně volnosti rotace (Θ, ψ, φ), které specifikují polohu objektu. Pokud je známo těchto šest proměnných, známe polohu, kde se objekt nachází. Pokud jsou tyto údaje monitorovány po určitou dobu, tak je možné určit dráhu a rychlost pohybu objektu. Tento způsob navigace se velmi často používá například pro navigaci raket a nazývá se inerciální navigace

Inerciální navigace používá inerciálních snímačů pro měření pohybu objektu a jeho následné pozice, přičemž primární veličinou je jeho zrychlení. Nejčastěji využívanými snímači pro inerciální navigaci jsou akcelerometry a gyroskopy. Princip spočívá v tom, že jeli známa počáteční poloha a zrychlení ve všech osách, které jsou pro měření důležité, je možné určit okamžitou rychlost a polohu. Tato technologie byla patentována v roce 1910 v Německu a později používána k navigaci raket V-1 a V-2. Ze zrychlení je možné poměrně jednoduše pomocí integrací získat rychlost a další integrací pozice. Problém integrace je v tom, že je integrováno nejen zrychlení objektu, ale i všechny chyby vznikající při měření zrychlení. Dnes se používá v ponorkách, tancích, letadlech a balistických střelách. Nevýhodou inerciální navigace je vysoká cena [1], způsobená použitím drahých „konvenčních“ akcelerometrů a gyroskopů. Problém ceny je ale možné vyřešit použitím relativně levných snímačů vyráběných MEMS technologií.

Existují dva základní přístupy k inerciální navigaci. První z nich používá kardanový systém, který využívá gyroskopicky stabilizovanou platformu pro vyvážení senzorů s předdefinovaným referenčním rámem. Jejich výhodou je to, že na ně působí menší síly a je snadnější vypočítat aktuální pozici. Mají nižší spotřebu energie a nižší cenu.

Bez kardanový inerciální navigační systém používá plošinu pevně spojenou s vozidlem a levné inerciální senzory, tedy akcelerometry a gyroskopy v podobě integrovaných obvodů, což způsobuje příklon především k této technologii [1].

1.2.1 Akcelerometry

Akcelerometry jsou v dnešní době velmi používané snímače. Primární veličinou, kterou akcelerometry snímají je zrychlení. Akcelerometry jsou schopny měřit zrychlení jak dynamické (síla působící na snímač v pohybu), tak gravitační (působení gravitace). Základní rozdělení akcelerometrů je na akcelerometry se seismickou hmotou a s proměnou kapacitou, které využívají technologie MEMS. Druhé rozdělení lze provést podle toho, kolik mají citlivých os, tedy na jednoosé, dvouosé, tříosé. Tyto senzory mohou měřit od velmi nízkých hodnot g a dokáží vydržet nárazově i 1000 g (Shock Survival). Napájecí napětí se pohybuje

většinou od 3 do 24 V. Oblasti, ve kterých se akcelerometry využívají, lze rozdělit do třech skupin:

- *Samočinné aplikace* : airbagy, detekce překlpení, detekce odpojení přívodu paliva, detekce nárazu, kontrola zavěšení, dynamická kontrola vozidla, brzdové systémy, bezpečnost cestujících.
- *Péče o zdraví a fitness aplikace*: rehabilitační přístroje, měření rozsahu tělesného pohybu, pedometry, ergonomická zařízení, zařízení pro sportovní lékařství, sportovní diagnostické systémy.

- *Průmyslové a zákaznické aplikace*: detekce pádu, ochrana HDD, MP3 přehrávače, přenosná elektronika, E- kompas, stabilizace obrazu, robotika, vstupní zařízení pro virtuální realitu, bezpečnostní zařízení, navigace, dead reckonig pro GPS, černé skříňky, kontrola lodní přepravy, akustika, kontrola rovnováhy přístrojů, kontrola opotřebení ložisek, monitorování seismické aktivity.

Rozdělení akcelometrů :

- *Piezelektrické akcelerometry* využívají piezoelektrický krystal, který generuje náboj úměrný působící síle, která při zrychlení působí na každý objekt.
- *Piezoaktivní akcelerometry* využívají mikrořemíkovou mechanickou strukturu, kde zrychlení odpovídá změně odporu.
- *MEMS Akcelerometry* využívají mikrořemíkovou mechanickou strukturu, kde zrychlení odpovídá změně kapacity.

1.2.2 Gyroskopy

Gyroskopy jsou snímače, které se používají k stanovení úhlové rychlosti a natočení. Gyroskopy lze rozdělit dle použitého fyzikálního principu na tyto skupiny :

- Mechanické
- Kvantové
- Jaderné
- Elektrické
- Optické

Mechanický gyroskop (Gyroteodolit)

Gyroteodolit je přístroj k přímému určování azimutů zvolených směrů. Gyroskop je těleso tvaru kovového prstence, nebo kovové desky rychle rotující kolem osy na toto těleso kolmé. Není-li gyroskop ovlivněn vnějšími silami, udržuje jeho rotační osa v prostoru stálý směr. Pokud je setrvačnický umístěn na povrchu Země, je unášen spolu s rotující Zemí, a tím se obecně mění směr jeho rotační osy. Setrvačnický na to reaguje tak, že se snaží srovnat svou rotační osu s rotační osou Země. Stabilizovaný setrvačnický svou osou ukazuje k severu a vytyčuje tak jedno rameno azimutu. Gyroskop na rozdíl od kompasu nereaguje na blízkost železných předmětů a vysokého napětí.



Obr 14. Klasický mechanický gyroskop

Kvantový gyroskop

Patří mezi zvláštní případy gyroteodolitů, nevyužívá vlastností setrvačné hmoty, ale vlastností atomových jader.

Jaderný gyroskop

Využívá principu jaderného paramagnetismu látek (voda, organické roztoky, helium, páry rtuti). Atomy nebo molekuly těchto látek mají v základním stavu magnetický moment daný spiny (vlastní moment hybnosti) jader. Orientujeme-li magnetické momenty jader magnetickým polem a potom pole zrušíme, pak nepůsobí-li jiné magnetické pole, zachová si výsledný magnetický moment po jistou dobu svoji prostorovou orientaci, nezávisle na změny polohy zařízení obsahujícího látku. Hodnota výsledného magnetického momentu bude v důsledku relaxace postupně klesat. Proto se pro jaderné gyroskopy volí látky s velkými relaxačními časy.

MEMS gyroskopy

Stejně jako v případě MEMS akcelerometrů obsahují MEMS gyroskopy mimo samotného snímače i celou škálu vyhodnocovacích, řídicích obvodů a logiky. Výstupní signál je pak analogový nebo digitální. Rotaci je možné typicky měřit vzhledem k jedné ze tří os z , y , x . Gyroskopy vyráběné jako integrované MEMS obvody pracující na principu Coriolisovy síly, umějí měřit pouze v jednom směru, a to je směr kolmý na plochu obvodu. Pro jiné směry je nutné zajistit správné natočení a umístění součástky.

Coriolisova síla je takzvaná virtuální síla, která působí na libovolný hmotný objekt, či předmět, který se pohybuje rychlostí v_r v soustavě, která rotuje kolem osy úhlovou rychlostí

ω_r

. Coriolisova síla působí na každý hmotný objekt na zemi.

ω_r

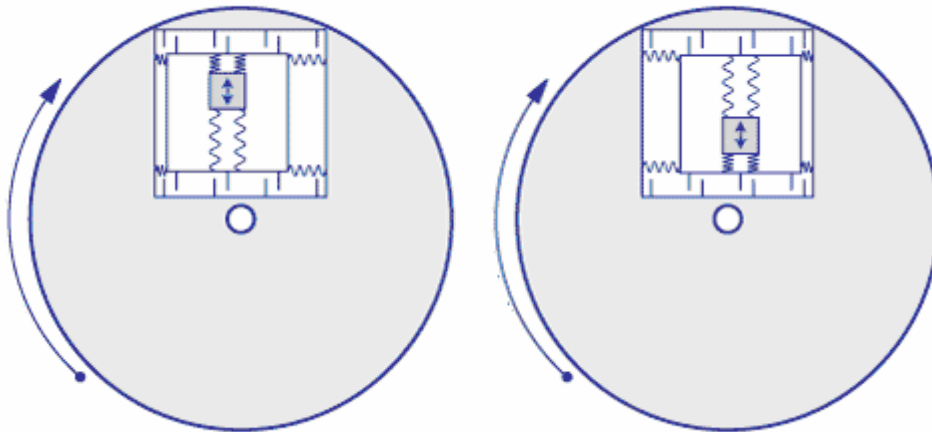
$$F = m v_r \times \omega_r \quad (3.2)$$

m ... hmotnost (kg)

v_r ... rychlost (m . s⁻¹)

ω_r

... úhlová rychlost ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$)



Obr. 15. Příklad funkce struktury snímače gyroskopu při rotaci.

Provedení samotného MEMS snímače vypadá tak, že základ tvoří rezonující struktura upevněná v rámu, která se vlivem vlastní mechanické rezonance, zde reprezentované pružinami, pohybuje v uvedeném směru kolmém na směr otáčení (Obr. 15.). Přitom vzniká Coriolisova síla úměrná úhlové rychlosti otáčení, která stlačí vnější pružiny rámu a způsobí vzájemný posuv měřících plošek, které mají funkci elektrod vzduchových kondenzátorů. Výstupem je tedy změna kapacity úměrná úhlové rychlosti. Stejněho účinku se pak využívá i v mechanických gyroskopech. Zde při pohybu objektu, upevněného na pružinách uvnitř rámu, směrem ven, působí na něho Coriolisova síla směrem doleva, při opačném směru pohybu objektu pak působí směrem doprava. Protože velikost a směr této síly je úměrný i velikosti úhlové rychlosti a směru otáčení, lze tento systém s úspěchem využít pro jejich měření.

2. Optické gyroskopy

Optické gyroskopy jsou založeny na principu *Sagnacova jevu*, kdy při rotaci kruhového vlnovodu úhlovou rychlostí Ω , v němž proti sobě obíhají dva světelné svazky (paprsky), je obvodová rychlost svazku ve směru Ω zvyšována, a pro opačný směr snižována o hodnotu $v = \Omega \cdot R$, tj. o obvodovou rychlost rotace vlnovodu. Optické gyroskopy lze rozdělit na dva druhy:

- *Laserový* - při rotaci dochází na optické dráze interferometru ke změně frekvence
- *Vláknový* - při rotaci dochází na optické dráze interferometru k fázovému posunu

1.3 Northstar® navigační systém

Jedním z hlavních problémů v oblasti mobilních robotů je navigace, tj. lokalizace a hledání správné cesty k cílovému bodu. Nejjednodušší metodou pro lokalizaci odometrické, ale to je poměrně nepřesný. Proto je třeba dalších externích snímačů.

Northstar® navigačním systémem je infračervený lokalizační systém, který využívá infračervené světelné body jako orientační body. Infračervený senzor určuje její polohu a orientaci z pozice dva body světla. Vyhodnocení dat a kontrola zjištěných infračervené světelné body jsou zahrnuty jako funkční modul v Robotino® View.

Navigační systém se skládá z Northstar® projektor a Northstar® snímače. S těmito, Robotino® může být umístěna uvnitř pracovního prostoru max. 4 m x 4 m. Další Robotinos mohou být zahrnuty do navigační systém s dalšími Northstar® snímače.

1.3.1 Northstar® projektor

je infračervený zdroj světla, který vytváří speciální světelná stopa na odrazné plochy, jako například strop. Toto světlo vzor může být detekovány a vyhodnoceny Northstar® snímače.



1.3.1 Northstar[®] senzor



1.4 Další možné metody navigace

1.4.1 Sledování vodící čáry (guidepath following) – robot opticky či pomocí magnetometrů (či Hallových sond) sleduje vodící čáry; pro svou spolehlivost je to v průmyslu nejpoužívanější metoda

1.4.2 GPS

1.4.3 navigace pomocí taktilních (dotykových) a proximitních (bezdotykových) senzorů

[1] LACHNIT ,Zdeněk. Inerciální snímače pro zpřesňování odometrie mobilních robotů Bp 53s

Dostupné z WWW:

http://uai.fme.vutbr.cz/szz/2007/BP_Lachnit.pdf

[2] VOJÁČEK, Antonín. Akcelerometry – integrované snímače od AD, 06.02.2005.

Dostupné z WWW:

<http://www.automatizace.hw.cz/view.php?cislocclanku=2005020601>

[3] VOJÁČEK, Antonín. MEMS - díl 1. - Co to je a jak to vypadá ?, 19.11.2006.

Dostupné z WWW:

<http://www.automatizace.hw.cz/search/node/Principy+akcelerometr%C5%AF>

[4] VOJÁČEK, Antonín. Principy akcelerometrů - 1. díl - Piezoelektrické, 14.01.2007.

Dostupné z WWW:

<http://www.automatizace.hw.cz/search/node/Principy+akcelerometr%C5%AF>

[5] VOJÁČEK, Antonín. Principy akcelerometrů - 2. díl - Piezorezistivní, 26.01.2007. Dostupné z WWW:

<http://www.automatizace.hw.cz/search/node/Principy+akcelerometr%C5%AF>

[6] VOJÁČEK, Antonín. Gyroskopy v integrovaném provedení MEMS, 04.01.2006.

Dostupné z WWW:

<http://www.automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART208-gyroskopy-v-integrovanem-provedeni-mems.html>

[9] WINKLER, Zbyněk. Odometrie , 05.12.2005

Dostupné z WWW:

<http://robotika.cz/guide/odometry/en>

[14] SUDHAN, Lehigh University, Sudhan's Odometry, 06.12.2005

Dostupné z WWW:

http://www.cse.lehigh.edu/~spletzer/cse397_Fall05/cse397_F05.html