



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

HIERARCHICKÉ ŘÍZENÍ VÍCESMĚROVÉHO ROBOTA

MULTI LEVEL CONTROL OMNIDIRECTIONAL ROBOT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MIROSLAV PAZDERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. BRANISLAV LACKO, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miroslav Pazdera

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

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

Hierarchické řízení vícesměrového robota

v anglickém jazyce:

Multi level control omnidirectional robot

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte koncepci počítačového systému řízení vícesměrového robota.

Cíle diplomové práce:

Navrhnout koncepci systému řízení vícesměrového robota

Vytvořit program pro vybranou úroveň řízení.

Seznam odborné literatury:

Balátě, J.: Automatické řízení. BEN 2003 Praha
Novák, P.: Mobilní roboty. BEN 2005 Praha
Šolc, F.: Robotické systémy, VUT v Brně, 1990

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

doc. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ANOTACE

Náplní této diplomové práce je návrh řídicího systému pro mobilní robotický podvozek pohybující se po horizontální matici kuličkových elementů. Součástí práce je analýza pohybů podvozku a definování instrukcí pro řídicí úroveň. Instrukce řídicí úrovně jsou zpracovány ve vytvořeném simulačním programu. Součástí práce je návrh elektronických součástek a požadavků na elektroniku řídicích subsystémů.

ANNOTATION

The main focus of this diploma thesis is to design controlling system for robotic chassis moving on horizontal bolt nut of globular elements. This thesis includes analysis of movements of the chassis and definition of instructions for controlling level. Instructions for controlling level are compiled in constructed simulation programme. This thesis also contains design of electronic components and requirements for electronics of controlling subsystems.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mobilní robot, řízení pohonů, řídicí systém robota, motorický subsystém

KEYWORDS

Mobile robot, control drive, system control robot, motoric subsystem

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ POUŽITÝCH VELIČIN

PWM	-	Pulse Width Modulation
CMOS	-	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
MOSFET	-	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
SPI	-	Serial Peripheral Interface
μ C	-	microController
DES	-	Data Encryption Standard
AES	-	Advanced Encryption Standard
GPS	-	Global Positioning System
OOP	-	Object Oriented Programming
C++	-	Rozšířená verze jazyka C
C	-	Programovací jazyk
KM	-	Krokový motor
α, β	-	Úhly natočení
[x,y]	-	Souřadnice bodu v souřadném systému

OBSAH

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	3
ANOTACE	5
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	7
OBSAH	9
1. Úvod	11
2. Cíle diplomové práce	13
3. Současný stav řešené problematiky	17
3.1. Charakteristika podvozku	20
3.2. Řízení hlavního pohonu	23
3.3. Řízení otočné jednotky	26
3.4. Všesměrové řízení	33
4. Návrh algoritmu pro řízení podvozku	39
5. Zpracování řídicího programu	43
6. Závěr	49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
SEZNAM PŘÍLOH	55

1. Úvod

V dnešní době je slovo robot užívané v běžné řeči a terminologii. Nepřekvapí nás, spojení tohoto slova s různými odvětvími v průmyslu, lékařství a nezarážíme se nad spojením slova robot s naší domácností. Můžeme tedy konstatovat, že s roboty se již dnes běžně setkáváme a využíváme jejich služeb, pro které byli zkonstruováni. Slovo robot je v podvědomí lidí již od samého svého vzniku. O ten se zasloužil Karel Čapek ve své hře R.U.R., není však jeho autorem. Původce slova robot je jeho bratr, malíř a spisovatel Josef Čapek. V Čapkově hře z roku 1920 jde o vědeckofantastické drama v nespecifikované budoucnosti a roboti jsou zde představeni jako biologičtí stroje tedy Androjdi. Dnešní robotika rozděluje roboty podle různých kritérií. Například jede o dělení podle schopnosti pohybů, dle způsobu ovládání, dle způsobu komunikace. Nejobecnější dělení je dělení na robota ve smyslu samostatně pracujícího stroje nebo robota jako počítačový program pravidelně vykonávající požadované úlohy. Hovoříme-li o robotech s vlastnostmi podobající se člověku, pak je členíme na Drojdy, Androjdy, Humanojdy a Kyborgy. Bez ohledu na různá členění je doposud zapotřebí lidského podmětu, aby došlo k zahájení, vykonání nebo ukončení určité človenkem specifikované činnosti. Roboti nemají vlastní smýšlení a potřebu přeměny okolí, tyto vlastnosti jsou jim vkládány lidmi.

I přes to, že nejsou přesně zakotveny definice a nároky na obor robotika je to obor mladý, moderní a dynamicky se rozvíjející. Zahrnuje části z různých oblastí mechaniky, měřicí techniky a elektrotechniky, matematiky, teorie řízení, umělé inteligence aj. Rozvoj robotiky se ubírá směrem k inteligentním mobilním robotům tzv. autonomním. Takový robot je plně se orientující a pohybující v neznámém prostředí. Řízení robotického podvozku, kterému je práce věnována, je konstruován právě pro oblast autonomních mobilních robotů a s tímto záměrem je práce koncipována.

První kapitoly této práce jsou věnovány popisu jednotlivých částí řídicího systému se zaměřením na použitelnost pro potřeby navržených pohonů vycházející z návrhu konstrukčního řešení podvozku. Součástí jednotlivých kapitol je návrh elektronických obvodů a součástek. Tento návrh je spíše orientační a pro dodatečné posouzení specialisty v oboru elektrotechnika. V následujících částech se zaměřuji na tvorbu programu a analýzu pohybu všesměrového podvozku. Z analýzy vychází návrh instrukcí pro modul motorického subsystému.

2. Cíle diplomové práce

Základní cíle jsem si odvodil ze zadání diplomové práce:

- Navrhnout koncepci systému řízení všesměrového robota
- Vytvořit program pro vybranou úroveň řízení

Předmětem práce je všesměrový podvozek využívající k pohybu matici kulových elementů. Uplatnění podvozku je zejména tam kde podklad, po kterém by se daný podvozek pohyboval, je pevný a rovný. Takový povrch je zejména ve výrobních, skladovacích a manipulačních halách dále pak v kancelářích a domácnostech. Pro tyto segmenty trhu je daný podvozek koncipován a je kladen důraz na co možná nejjednodušší systém řízení a na přesné dodržování dráhy pohybu. Tato práce by měla také přispět k dosažení záměrů výzkumného projektu MSM 0021630529 „Inteligentní systémy v automatizaci. Při plnění cílů se vychází ze zadání uvedených v návrhu konstrukčního řešení robotického podvozku [12] a to zejména se zaměřením na požadavky pro potřeby řízení. Jednotlivé body zadání jsem převzal a začlenil jako doplňkové konstrukční cíle.

Z funkčních parametrů vyplývá požadavek

„hmotnost není limitována, ale je potřeba realizovat kompromis mezi požadavky na lehkost podvozku (čímž nebude potřeba zvláště silných motorů a velkých elektrických baterií k pohonu podvozku) a mezi dostatečnou hmotností, která nedovolí velký prokluz pohonných kuliček“

Z provozních parametrů vyplývá požadavek

„Protože se jedná o přípravu prvního funkčního vzorku, nejsou požadavky na dosaženou rychlost nijak zvláštní. Důležité je, aby se podvozek pohyboval spíše menší rychlostí s ohledem na problematiku spojenou s návrhem řídicího systému.

Baterie by měla vydržet alespoň hodinu nepřetržitého experimentování. Pak je možno je vyměnit nebo mohou být akumulátorového typu (pak se dobíjí).

Podvozek by neměl vyžadovat nějaké speciální údržbářské činnosti“

Ze souladu s platnými potřebnými normami vyplývá

„Podvozek nesmí být pro experimentátory nebezpečný“

Z patentové čistoty vyplývá

„Podvozek realizuje dva užité vzory:

č. 15 950 „Všesměrový podvozek se třemi poháněnými kulovými elementy“

č. 16 656 „Všesměrový podvozek s maticí kuličkových elementů v roštu“

Podvozek je připravován a zkoumán v rámci výzkumného záměru VUT pro MŠMT České republiky číslo MSM 0021630529 „Inteligentní systémy v automatizaci“.

Protože se jedná o výzkum fakulty, podléhají všechny dokumenty a skutečnosti předpisům školy na ochranu duševního vlastnictví.“

Pro dodržení nízkých výrobních nákladů vyplývá

„Konstrukce by měla zajistit nízké náklady na výrobu funkčního vzorku. Proto je nutno navrhovat komponenty levné a snadno dostupné.

Konstrukce by měla být pokud možno modulová a snadno rozebíratelná, aby se mohla určitým způsobem obměňovat ještě v průběhu výzkumných experimentů.

Je možno použít i levnější komponenty, méně spolehlivé s kratší životností, pokud budou běžně k dostání a snadno vyměnitelné.

Cena nákupových komponent by neměla přesáhnout cca 80 000 Kč a cena na zhotovení cca 50 000 Kč, ale pokud se podaří hodnoty dosáhnout nižší, bude to pro výzkumný záměr výhodnější.“

Navrhnout výrobek ekologický, ergonomický a estetický

„Funkční vzorek musí splňovat ekologické předpisy – nesmí znečišťovat okolní prostředí a používat zdravotně závadných materiálů.

Ergonomiku je nutno respektovat zejména ve snadné manipulaci s funkčním vzorkem a ve snadné vizuální kontrole všech jeho částí.

Estetické požadavky je možno považovat za podřadné, protože se jedná o funkční vzorek a musí ustoupit požadavkům funkčnosti a nízkým nákladům.“

Realizace zvolené marketingové strategie

„Podle plánu výzkumného záměru by základní ověření funkčního vzorku mělo proběhnout v roce 2009. Pokud bude konstrukční návrh zpracován do poloviny roku 2008, je možno v druhé polovině zajistit jeho výrobu. Na základě výsledků zkoušek v roce 2009 by bylo možno připravit již návrh prototypu podvozku v roce 2010, aby mohl být předveden zájemcům o výrobu a průmyslové využití.“

Nezanedbatelným cílem práce je dodržení takzvaných zákonů robotiky [16] sepsané Isaacem Asimovem v jeho povídkách a později románech. I přes to, že se nejedná o zákony právně vymahatelné, ale spíše etické, definující obecné chování robotů, mi připadají důležité, a proto je v této části práce uvádím

- 1) *Robot nesmí ublížit člověku nebo svou nečinností dopustit, aby mu bylo ublíženo.*
- 2) *Robot musí poslechnout člověka, kromě případů, kdy je to v rozporu s prvním zákonem.*
- 3) *Robot se musí chránit před poškozením, kromě případů, kdy je to v rozporu s prvním nebo druhým zákonem.*

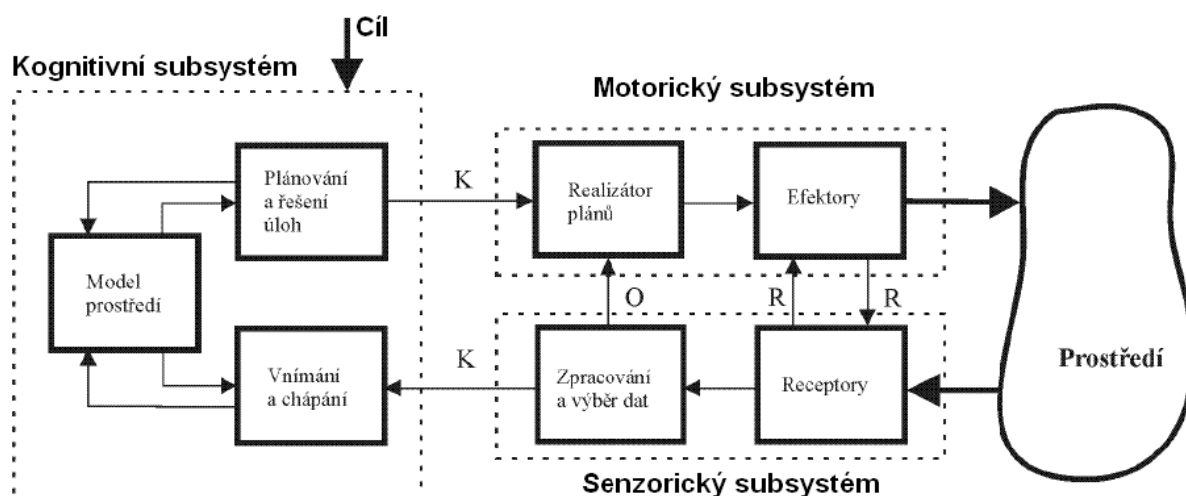
Jak uvádí zdroj tyto zákony byly rozšířeny o další doplňky a ten nejdůležitější takzvaný nultý zákon zní:

- o) *Robot nesmí ublížit lidstvu nebo svou nečinností dopustit, aby mu bylo ublíženo.*

3. Současný stav řešené problematiky

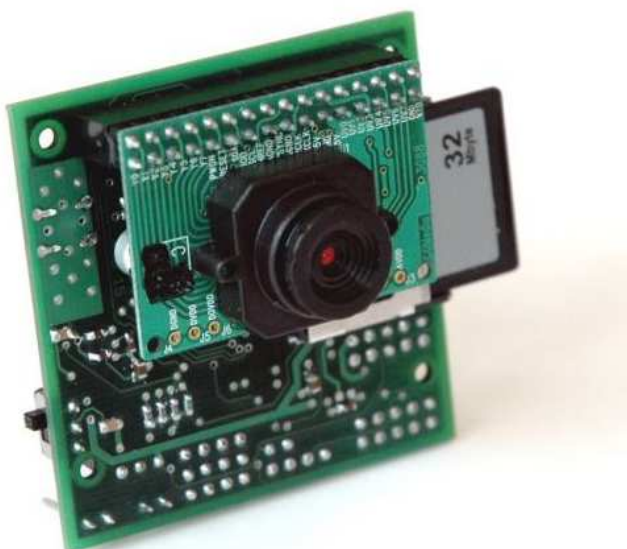
Vývoj robotických podvozků se zaměřuje na dva hlavní směry [11]. Jedním z nich jsou robustní podvozky použitelné v obtížném terénu. Praktické aplikace těchto podvozků jsou zejména v oblasti záchranných složek, armády, kosmonautiky. Druhý směr vývoje je zaměřen na pohyb v prostorech domácností, výrobních, skladovacích a manipulačních halách dále pak v kancelářích a laboratorních prostorech. Vývoj pro tento druh robotických podvozků se zaměřuje na přesný pohyb dodržováním dráhy s vysokou mírou obratnosti. Předpokládá se, že tento typ robotických podvozků bude velmi žádaný s ohledem na očekávaný nárůst počtu robotických systémů. U současných podvozků je k pohonu převážně využíváno kol. Vznikají různé konstrukce a varianty tak, aby se předcházelo nežádoucím vlastnostem a přílišné složitosti a nákladnosti. Podvozek, na který je tato práce zaměřena, je navržen, aby odstranil nevýhody známé u kolových a pásových podvozků a zjednodušil zejména řízení a odstranil konstrukční, výrobní i cenovou náročnost při použití všesměrových kol. Jako vhodné řešení se nabízelo ve využití kulových elementů, které jsou snadno vyrobitelné a umožňují pohyb ve všech směrech. Detailněji je tento podvozek popsán v následující podkapitole.

Pro návrh řídicího systému vycházíme ze základního obecného schématu [2], který je graficky znázorněn na níže uvedeném obrázku. Systém se skládá z kognitivního, motorického a senzorického podsystému se vzájemnou komunikací a zpětnovazebnými smyčkami. Některé smyčky plní funkci kontrolní při procesech realizace plánů jiné, hardwarové, zajišťují ochranu proti kolizním stavům s prostředím.



Obr.1 Základní blokové schéma řízení robota [2]

Senzorickým subsystémem získáváme informace o prostředí a v modulu „zpracování a výběr dat“ provádíme jejich částečné vyhodnocení, které se poskytuje nadřazenému kognitivnímu subsystému k dalšímu zpracování. Informace ze senzorického subsystému dělíme na interní – které poskytují informace o vnitřním zařízení (rychlost běhu motoru, úhlu natočení, stav baterií, ...) a externí – které informují o okolním prostředí (pozice robota v prostředí, vzdálenost od překážky, velikost okolní teploty, ...) . Senzorický subsystém je složen z receptorů. To jsou prvky pro snímání požadovaných údajů, ty se převádí na systémem známé hodnoty a předávají k dalšímu zpracování a vyhodnocení. Představiteli externích senzorů jsou zejména poziční senzory například v podobě GPS modulu, detektoru překážek, modulu vybaveného kompasem, nebo modulem se snímáním obrazu.

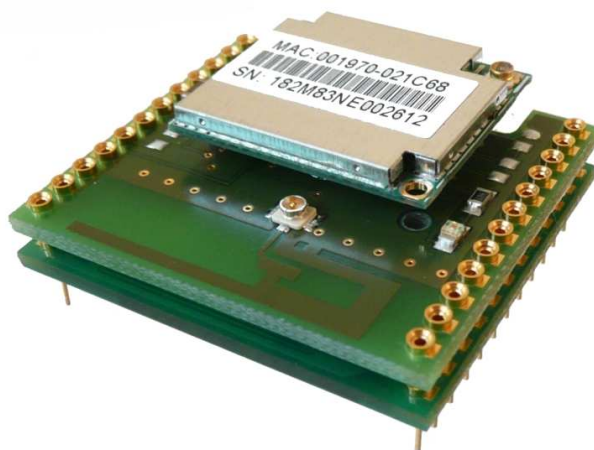


Obr.2 Barevná (RGB) kamera s procesorem ke zpracování obrazu [25]

Motorický subsystém zabezpečuje nejen pohyb robota, ale i akční zásah pro realizaci cílů za pomoci efektorů. V praxi je na pozici akčních členů zabezpečující pohyb robota převážně některý ze zástupců stejnosměrných motorů, krokových motorů nebo modelářských serv. Podrobněji se tímto subsystémem budu zabývat v následujících kapitolách.

V kognitivním subsystému se odehrávají procesy rozhodování a plánování pro úspěšné realizování zadaných cílů. Je zde vytvářen model prostředí na základě operátorem zadaných dat a informací přicházejících ze senzorického subsystému, plánování a přeplánování dráhy cesty robota podle zadaných kritérií, sledování a realizace cílů aj. Výsledkem jsou pokyny pro motorický systém. Jednotlivé moduly kognitivního subsystému jsou realizovány programovými bloky, které jsou zpracovávány hardwarem – mikrokontrolerem.

Důležitou součástí každého autonomního mobilního robota je spojení s operátorem. To lze zabezpečit mnoha způsoby. Hrubé rozdělení je na on-line / off-line komunikaci. Mluvíme-li o off-line komunikaci můžeme z hlediska fyzického propojení použít kabelového spojení nebo přeprogramování kontroleru mimo prostředí robota. Komfortnější způsob komunikace a to i s možností akčního zásahu i při samotné práci robota se nabízí on-line komunikace, kde kabelové spojení by bylo určitou překážkou v jeho pohybu a proto se využívá různých bezdrátových spojení založených na rádiovém přenosu o určité frekvenci. Z různých hledisek jako jsou dostupnost zařízení pro danou technologii, cenový faktor, akční rádius aj. se jeví jako výhodné použití tzv. WiFi komunikaci.



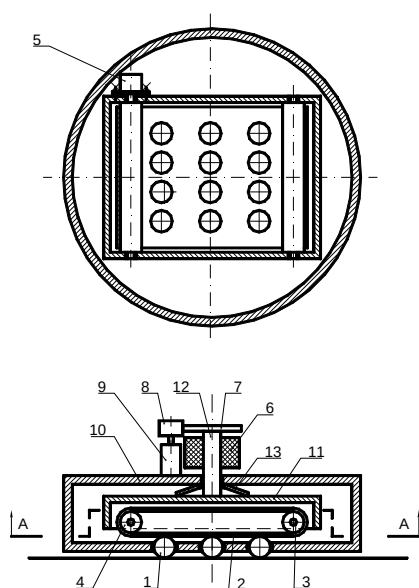
Obr.3 Avisaro wlan-module [24]

Jedná se o bezdrátovou komunikaci na frekvenci 2,4GHz nebo 5,3GHz použitelnou do vzdálenosti až stovek metrů. Disponibilní vzdálenost pro zaručenou komunikaci ovlivňuje zejména prostředí a překážky v přímé viditelnosti antén vysílače a přijímače a rušivé vlivy z okolního prostředí. Moduly pro mobilní roboty založené na této komunikaci jsou v široké nabídce od jednoduchých až po složité vybavené například šifrováním (DES, AES) pomocí zabezpečeného protokolu a schopností automatického nastavení určitých hodnot pro optimalizaci komunikace v daném prostředí.

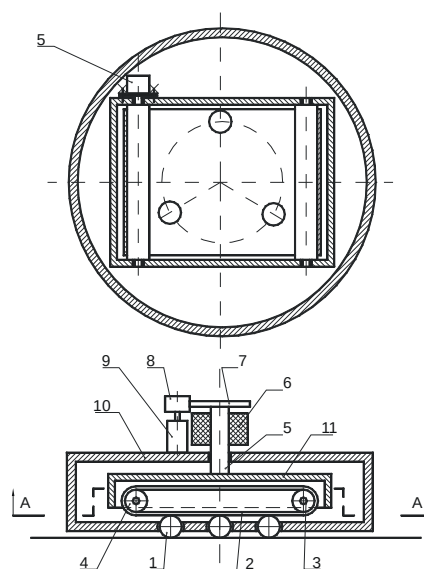
V případě ztráty komunikace, měl by být robot vybaven schopností návratu a to platí zejména pro dálkově řízené roboty. U autonomních robotů, lze obdobu této schopnosti implementovat na úrovni základního cíle.

3.1. Charakteristika podvozku

Všesměrové podvozky, které jsou dnes používány pro různá robotická zařízení, využívají ke svému pohonu konstrukčně složitých všesměrových kol. Osy kol jsou uloženy po 120° a každé kolo je poháněno samostatným pohonem. I z tohoto stručného popisu jsou zřejmé velké nároky na řízení a nákladnost i konstrukční složitost. Podvozek využívající kulových elementů je navržen tak, aby odstranil jednotlivé nevýhody podvozků s všesměrovými koly. Konstrukce je zobrazena v následujícím obrázku předběžného návrhu.

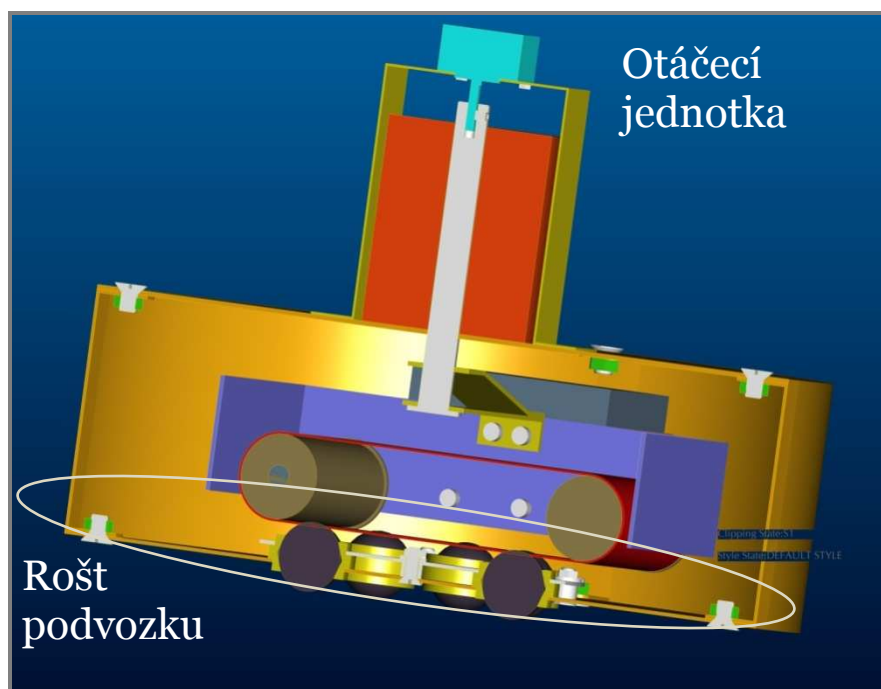


Obr.4 Matice kuličkových elementů [12]

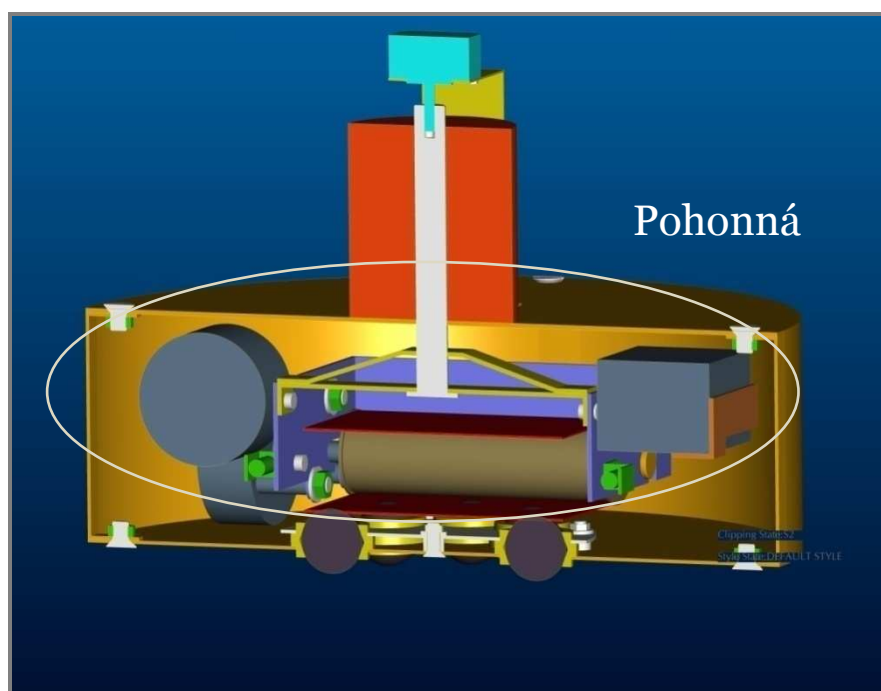


Matice se třemi kulovými elementy [12]

Z obrázku vyplývá, že pohyb je převáděn z pásu označeným číslem 2, který je poháněn válcem 4, roztáčený pohonem 5, na matici kuličkových elementů 1. Ty jsou pásem roztáčeny a celý podvozek je veden k pohybu. Natočením pásu v horizontální poloze vůči okolí, je docílena změna směru pohybu. Přítlak pásu je zabezpečen hmotností konstrukce pohonné jednotky, na kterou je upevněn pohon pásu, v podobě stejnosměrného motoru s převodovkou a na protilehlé straně konstrukce je upevněna baterie. Hmotnosti baterie i motoru s převodovkou jsou srovnatelné a tím dochází k vyrovnání váhy a rovnoměrnému zatížení celého pásu. Na následujícím obrázku jsou lépe vidět jednotlivé části mechanismů a následuje celkový popis konstrukčního řešení [12].



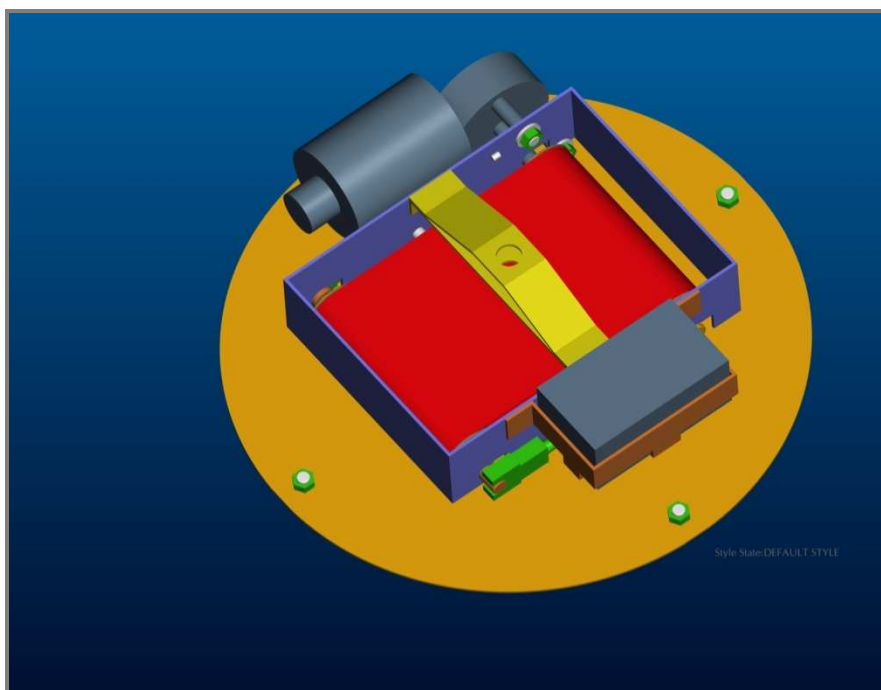
Obr.5 Řez podvozku – otáčecí jednotka, rošt podvozku[12]



Obr.6 Řez podvozku – pohonná jednotka[12]

„Navržený všesměrový podvozek využívá matici kuličkových elementů, které jsou vloženy do roštu ve spodní části podvozku. Pohon všech kuličkových elementů je prováděn přitlačovaným pohonným pásem. Pohonný pás se natáčí v tělese podvozku do požadovaného směru, takže udílí současně všem kuličkovým elementům pohyb stejným směrem, čímž se požadovaným směrem pohne celý podvozek. Natáčení skříň pohonného pásu je prováděno elektrickým krokovým motorem prostřednictvím ozubených kol. Při natáčení pohonného pásu je celá skříň nazvednuta tahem magnetické cívky. Do základní polohy je skříň pohonného pásu vrácena tlakem vratné pružiny. Pohonný pás je napnut mezi poháněný a volnoběžný válec. Poháněný válec je spojen s rezervním elektrickým motorem. To umožňuje, že se skříň pohonného pásu může otáčet jen o 180°, přesto podvozek dosáhne pohyb libovolným směrem.

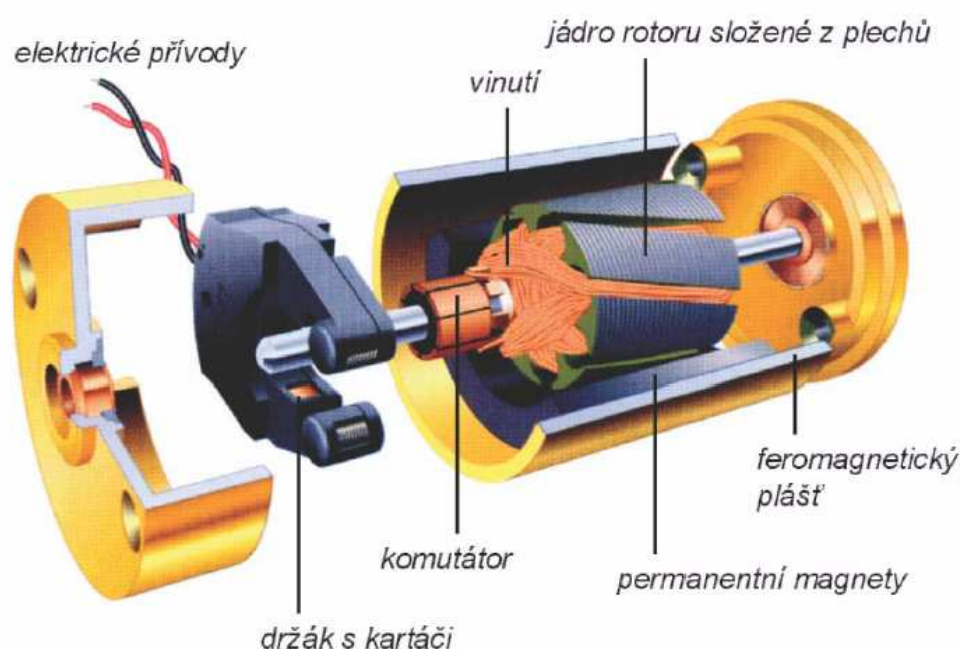
Všesměrový podvozek s maticí kuličkových elementů v roštu má výhodu nejen možnosti v okamžitém pohybu kterýmkoliv směrem, ale také v jednoduchém ovládání – natočení pohonného pásu do požadovaného směru a spuštění motoru poháněného válce do potřebného smyslu otáčení. Matice kuličkových elementů umožňuje lépe dosáhnout potřebné záběrové síly, ve srovnání s podvozkem se třemi kulovými elementy.“



Obr.7 Pohonná jednotka

3.2. Řízení hlavního pohonu

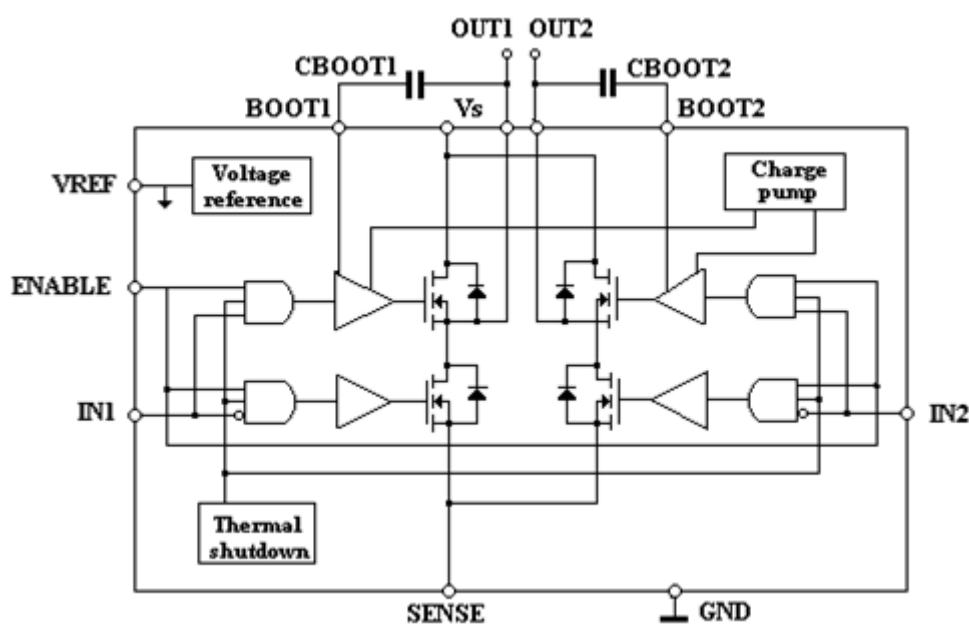
V návrhu konstrukčního řešení robotického podvozku [12] je zvolen pro hlavní pohonnou jednotku reverzní stejnosměrný motor s permanentním magnetem o výkonu 1,74W doplněn šnekovou převodovkou s maximálními výstupními otáčkami na převodovce 22 otáček/min. Hlavní pohonná jednotka je označena typovým číslem 403 434 a je dodávána firmou OPIS Engineering k.s.



Obr.8 Řez moderním stejnosměrným motorem s permanentními magnety [14]

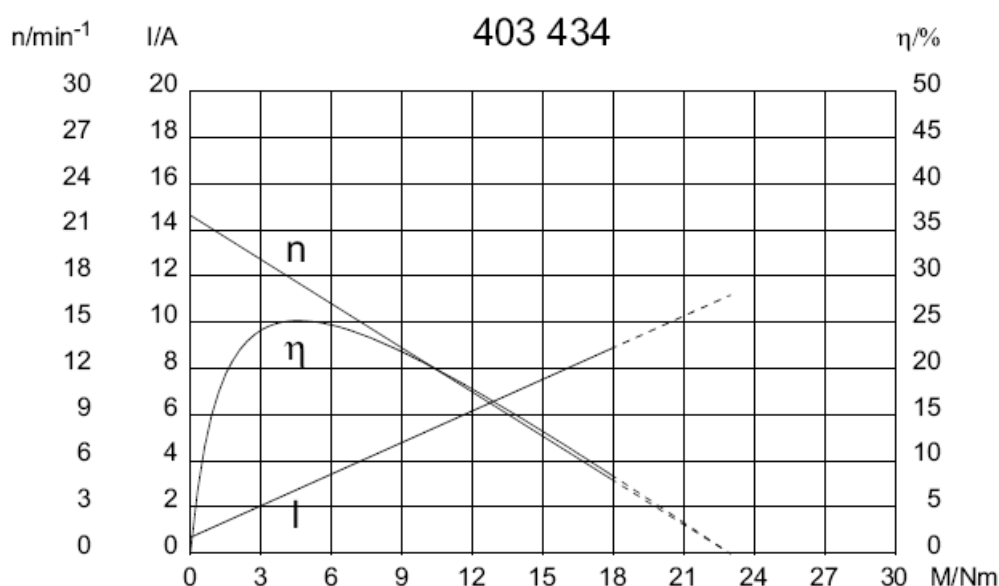
Tato pohonná jednotka je schopna zajistit maximální rychlost podvozku do 3,68 cm/s. Výhody zvoleného pohonu jsou zejména v příznivém poměru výkon/hmotnost/cena/dostupnost a ve snadném řízení otáček. Nevýhoda je, jako u všech stejnosměrných motorů, v komutátoru. Spíná vysoké proudy, je náchylný k poruchám, je zdrojem elektromagnetického rušení a je u něj nutná pravidelná údržba a seřízení. Komutátor také ovlivňuje použitelnost tohoto podvozku, dochází na něm k jiskření, a proto není možné daný podvozek provozovat v prostorech s nebezpečím výbuchu. Šneková převodovka zvoleného typu je vyrobena s poměrem převodů 69:1 a optimalizuje tak, pro potřeby robotického pohonu, vysoké otáčky a nízký moment. Převodovka je součástí dodávky motoru, a tedy není nutné se zabývat vzájemnou kompatibilitou motoru a převodovky. Příklad konstrukčního provedení popsaného motoru je popsán na výše uvedeném obrázku č.8.

Řízení hlavního motoru je zejména v řízení směru chodu pásu, které je zajištěno možností reverze motoru, kterou vykonáme změnou polaroty napětí na přívodních kontaktech rotoru. Pro tento účel je zapotřebí použití bipolární napájení motoru. To lze zajistit bipolárním zdrojem osazeným dvěma tranzistory, kde jeden je v propustném stavu a druhý v uzavřeném. Inverzí stavů na tranzistorech dojde ke změně chodu stroje. Další možností změny polaroty napětí a tím změny smyslu otáček, je použití můstkových spínačů. Dělíme je na lineární, které jsou určené pro spojitě řízení a spínací, které jsou určeny pro řízení s pulzní šířkovou modulací – PWM. Stator je tvořen permanentními magnety. Jeho parametry nelze měnit, a tedy nelze použít pro potřeby řízení.



obr.9 Blokové schéma vnitřního uspořádání můstku L6203

Dalším požadavkem na řízení hlavního pohonu je řízení rychlosti pohybu podvozku, které je převedeno na řízení otáček stejnosměrného motoru. Otáčky stejnosměrného motoru s permanentním / konstantním buzením ovlivňuje změna napájecího napětí kotvy a zátěžový - brzdny moment, který je vyvolán vlastní hmotností a pasívními odpory. Pro vlastní řízení uvažujeme konstantní zátěžový moment a proměnlivé napětí kotvy, kterým provádíme vlastní zásah a regulaci. Při zásahu je nutné dodržet předepsané maximální hodnoty jmenovitého momentu, který je v přímé souvislosti s povoleným protékajícím proudem a maximálním povoleným napětím na svorkách rotorového vinutí. Tyto limitní hodnoty reprezentují maximální otáčky stroje a tedy i maximální rychlost pojezdu při dodržení konstantního zátěžového momentu. Změnou – snížením napětí na kotvě, docílíme snížení otáček stroje oproti jmenovitým. Závislosti proudů, momentů, otáček aj. lze odečíst z vlastní charakteristiky stroje a pro náš motor je charakteristika uvedena v katalogovém listu [17].



Obr.10 Vlastní charakteristika motoru se šnekovou převodovkou [17].

Řízení otáček se provádí změnou napětí na kotvě stroje a k tomuto účelu je možné použít tzv. spínacích měničů, které jsem již zmínil v souvislosti se změnou smyslu otáček – reverze. Tyto spínací měniče jsou založeny na principu řízení proudu protékajícím vinutím kotvy motoru a to rychlou změnou stavů vypnuto/zapnuto plného napětí. Přesný popis je přebíráán z [1]. “Konstantní napájecí napětí je časově rozděleno do impulzů s konstantní frekvencí a s řízenou šířkou, tzv. PWM. Indukčnost vinutí motoru pak způsobí, že proud do vinutí nestačí sledovat rychlé změny napětí a průběh proudu je více nebo méně zvlněný. Otáčky motoru budou úměrné střední hodnotě protékaného proudu. Proud se lépe vyhladí při vyšší frekvenci pulzů a při vyšší indukčnosti vinutí (v některých případech je indukčnost vinutí motoru nedostatečná a je nutno do série s motorem zapojit tlumivku).“

Podle parametrů stejnosměrného motoru [17] pro jeho řízení vyhovuje integrovaný obvod VNH2SP30-E [22]



Obr.11 Integrovaný obvod VNH2SP30-E

Charakteristika obvodu:

Integrovaný můstek k řízení motorů 12V/30A

Odpor horního a dolního spínače 19mOhm celkem

Kompatibilní s 5V logikou

Snímání proudu odporem 1K Ω

PWM do 20kHz

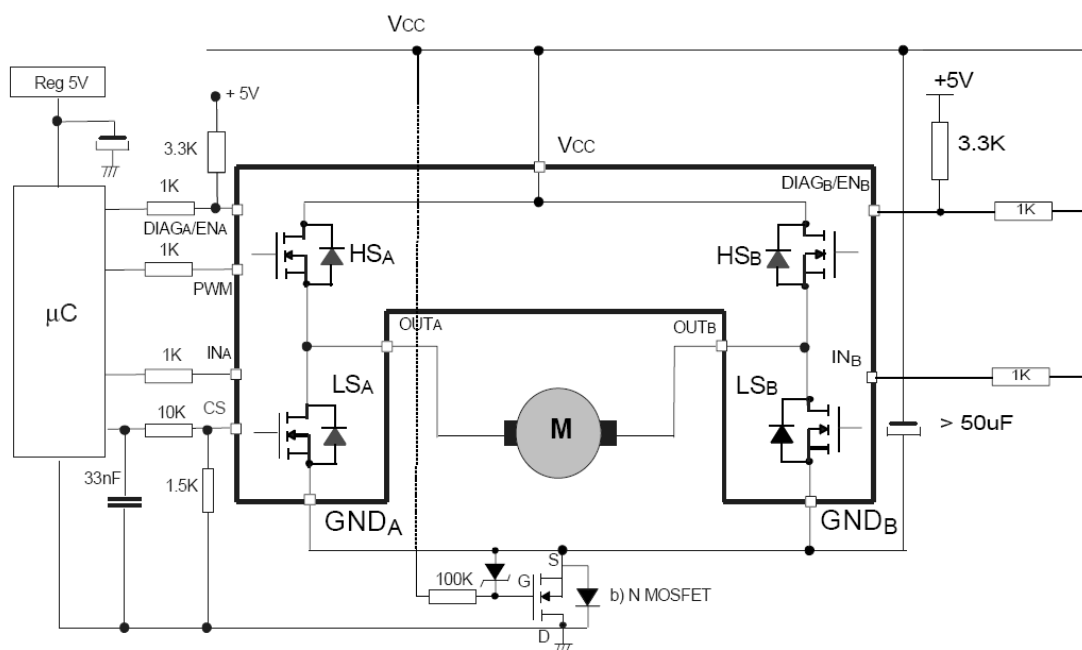
Podpětová (5.5V) a přepětová ochrana (16V)

Integrované ochranné diody

Tepelná (výkonová) ochrana

Pouzdro MultiPowerSO-30 s chladičnými ploškami na spodní straně pro připojení dodatečného chladiče.

Výrobce: STMicroelectronics



Obr.12 Aplikační schéma obvodu VN2SP30-E

3.3. Řízení otočné jednotky

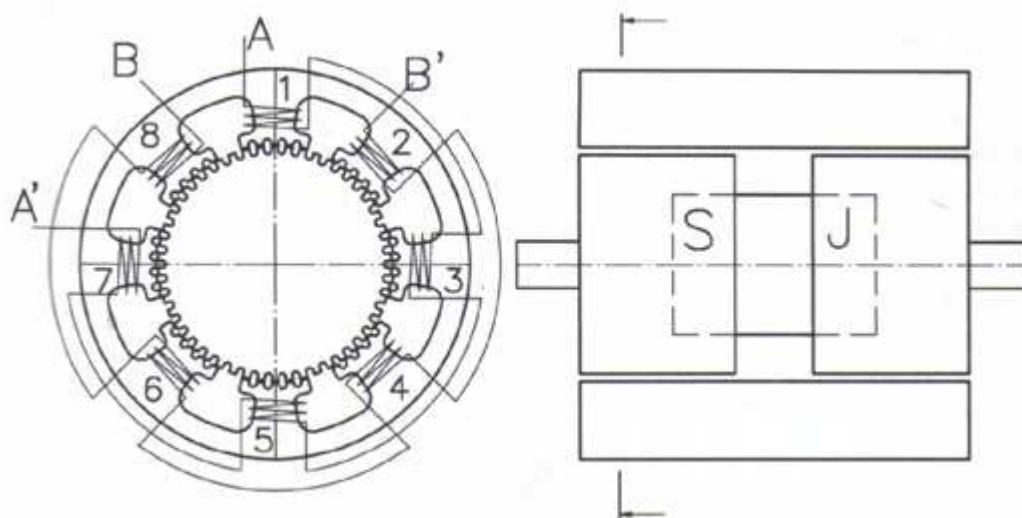
Pro potřebu změny směru pohybu podvozku je v konstrukčním návrhu [12] definována otáčecí jednotka. Jejím hlavním pohonem je navržen krokový motor SX17-1705 od firmy Microcon, s.r.o. Dle katalogového listu [18] se jedná o hybridní dvoufázový krokový motor řady SX vybaven přírubou NEMA17 se statickým momentem 0,5Nm, jmenovitý proud při sériovém/paralelním zapojení 1,7/3,4A a se standardní délkou kroku $1,8^\circ \pm 0,1^\circ$ s možností dalšího elektronického zmenšení. Tento pohon se vyznačuje možností přesného řízení

otáček a polohy. Poloha krokového motoru je působením vnitřních elektromagnetických sil neměnná.



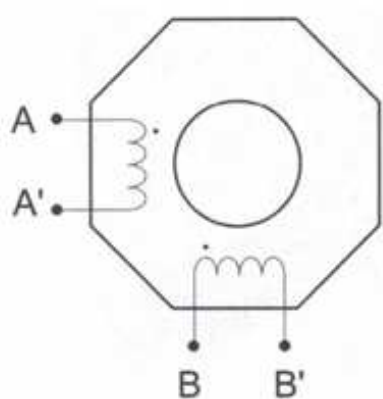
Obr.13 Hybridní dvoufázový krokový motor [15]

Podrobný konstrukční popis, rozdělení i činnosti jsou uvedeny například v [1] a z uvedeného zdroje, pro potřebu našeho podvozku, cituji níže uvedené pasáže. „Stator je tvořen osmi hlavními pólovými nástavci, každý je dále rozdělen na 5 zubů. Na každém hlavním pólovém návstevci je vinutí cívky. Rotor motoru je tvořen hřídelí z nemagnetické oceli, na které jsou nalisovány dva pólové návstevce složené z plechů. Mezi těmito pólovými návstevci je uložen permanentní magnet (magnet je axiálně polarizován, proto ...), takže rotorové pólové návstevce mají každý různou magnetickou polaritu. Pólové návstevce jsou rozděleny na 50 zubů o stejné šířce jako rotorové. Když žádným fázovým vinutím neprotéká proud, magnetický tok je tvořen pouze permanentním magnetem a rotor je tímto magnetickým polem aretován v určité klidové poloze. Celkem 8 cívek je zapojeno do dvoufázového vinutí. Cívky na pólových návstevcích 1, 3, 5, 7 tvoří fázi A, zatímco cívky na zbývajících pólových návstevcích představují fázové vinutí B. Když fází A protéká kladný proud, stavové póly 1 a 5 jsou magnetizovány jižně a póly 3 a 7 severně. Zuby na severním konci rotoru jsou přitahovány 1 a 5, zatímco posunuté zuby na jižním konci rotoru jsou přitahovány zuby na pólech 3 a 7.

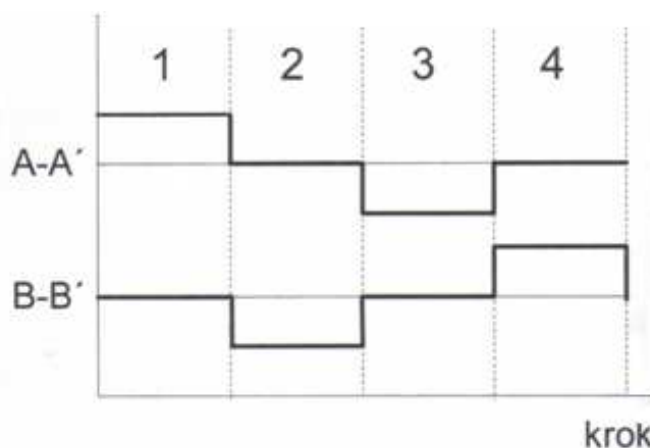


Obr.14 Řez hybridním krokovým motorem s úhlem kroku $1,8^\circ$

Aby se rotor pootočil o krok, fázové vinutí A se přestane napájet a začne se napájet fáze B proudem s kladnou nebo zápornou polaritou – podle požadovaného smyslu otáčení hřídele. Hřídel se tedy otáčí (krokuje) důsledkem spínání (buzení) fází v sekvenci +A, -B, -A, +B, +A (ve směru hodinových ručiček- viz.obr.16), nebo +A, +B, -A, -B, +A (v opačném směru). Z tohoto je zřejmé, že je zapotřebné jednotlivé fáze budit bipolárně. Tento způsob činnosti se nazývá: dvoufázový s bipolárním napájením.

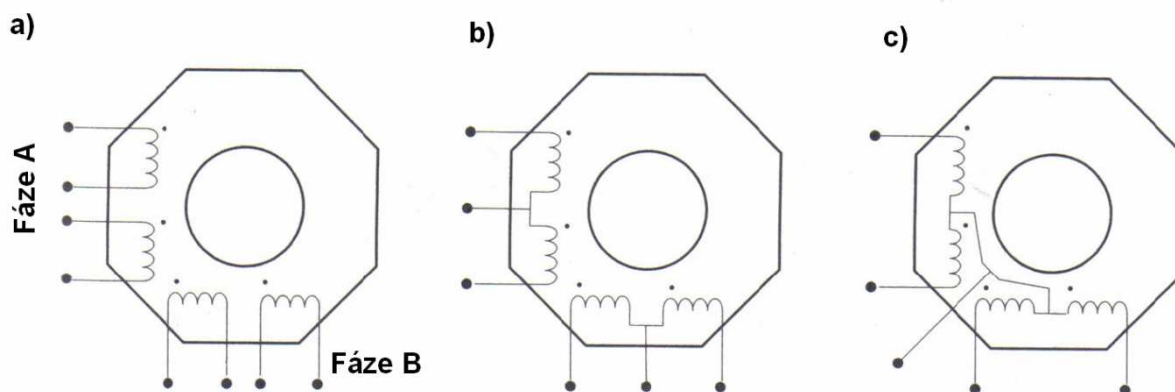


Obr. 15 Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s bipolárním zapojením fází



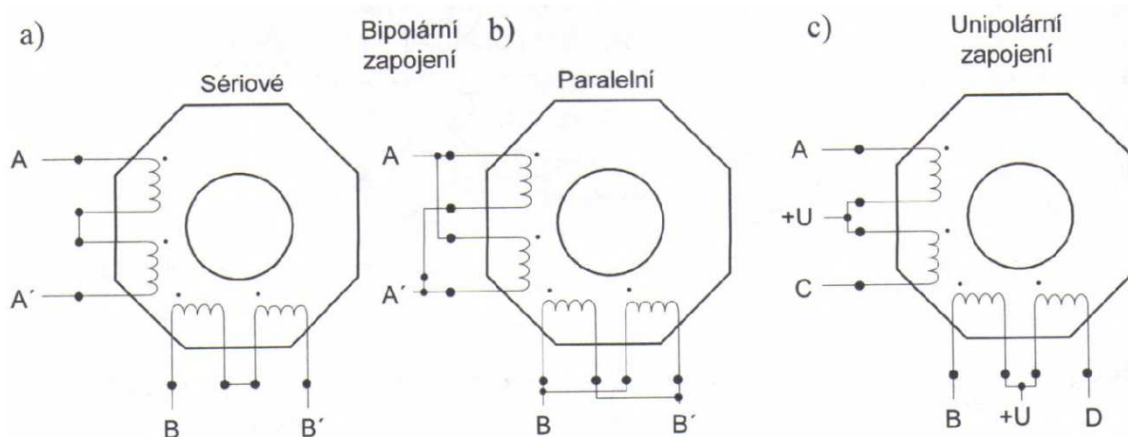
Obr.16 Čtyřtaktní řízení dvoufázového hybridního KM (bipolární buzení s magnetizací jedné fáze)

Pokud budeme KM budit bipolárně, můžeme jednotlivé poloviny fáze zapojit sériově nebo paralelně. Při sériovém zapojení – obr.17b jsou výsledný odpor vinutí a indukčnost čtyřnásobné oproti paralelnímu zapojení. To se projeví tak, že velikost momentu je vyšší v oblastech nižších krokovacích frekvencí momentové charakteristiky. Paralelní zapojení – obr.17c, je vhodné použít pro aplikace pracující v oblastech vyšších krokovacích frekvencí.



Obr.17 Možné způsoby zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s unipolárním zapojením fází

Na obr. 18c je znázorněno zapojení fázových vinutí pro unipolární buzení.



Obr.18 Zapojení vinutí dvoufázového hybridního KM s možností bipolárního/unipolárního buzení

Možnost volby způsobu buzení KM nastoluje otázku, jaké buzení fází tedy použít – jestli bipolární nebo unipolární.

Pro aplikace preferující vyšší krouticí moment při nižších krokovacích kmitočtech bipolární buzení poskytne lepší výsledky.“

Výběrem krokového motoru je výrobcem předurčeno způsob zapojení a metody řízení. Ve výrobcem poskytované technické specifikaci [19], pro náš typ krokového motoru, jsou definovány následující zapojení:

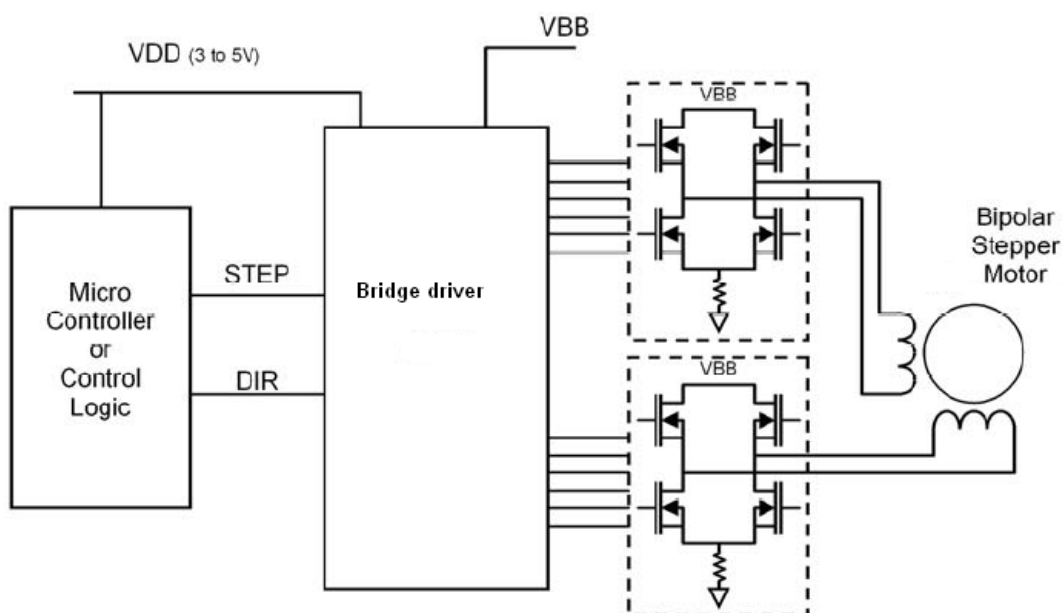
zapojení vinutí bipolární	sériové	Paralelní
spojeno (nepřipojovat k výkonovému zesilovači)	červený s hnědým	
spojeno (nepřipojovat k výkonovému zesilovači)	žlutý se zeleným	
A (1. fáze)	oranžový	oranžový + hnědý
A' (1. fáze)	černý	červený + černý
B (2. fáze)	modrý	modrý + zelený
B' (2. fáze)	bílý	žlutý + bílý

zapojení vinutí bipolární	proud 2,4 A, statický moment při dvoufázovém unipolárním napájení 0,35 Nm
+V	červený s hnědým, žlutý a zelený
A	oranžový
B	černý
C	modrý
D	bílý

Pro vhodnost užití krokového motoru k řízení směru podvozku je možné provozovat zvolený krokový motor v režimu tzv. mikrokrokování, při kterém dojde k natáčení pohonného pásu ve zlomcích kroku. Konstrukčně lze toho dosáhnout zvýšením počtu fází anebo rotorových zubů. Z hlediska výrobních nákladů, technických možností, konstrukčních tak i z hlediska složitosti řízení se převážně vyrábějí krokové motory do čtyř fází a s počtem rotorových zubů do jednoho sta. Takovéto konstrukce disponují s krokem o velikosti nad jeden stupeň. Navržený krokový motor je právě takovéto konstrukce s délkou kroku $1,8^\circ$, jak již bylo dříve uvedeno. Princip řízení krokového motoru v režimu mikrokrokování je v tom, že jednotlivé fáze nejsou napájeny shodnou velikostí proudu, jak bylo u principů magnetizací dvou fází, ale fáze jsou napájeny rozdílnou hodnotou proudu. Touto záměrnou rozdílností napájecích proudů fází docílíme rovnovážné polohy mezi dvěma sousedními kroky. Závislost jednotlivých poměrů proudů fází je pro tuto polohu rozhodující. K buzení obvodů krokového motoru v režimu mikrokrokování je nasazováno frekvenční modulace

budícího proudu. Pro účely řízení i buzení fází existují integrované obvody mnoha výrobců. Jednotlivé obvody se navzájem liší množstvím poskytovaných funkcí. Jednoduché slouží jen jako přepínače, komfortnější, v podobě mikrokontrolerů, jsou vybaveny speciálními funkcemi, komunikačními kanály a sběrnicemi. Ovládání krokových motorů je pak založeno na definování instrukčních souborů. Instrukční soubory mohou být v podobě textových souborů vytvářených v běžných textových editorech. Instrukce pro řízení se zadávají z výrobcem definovaných povelů, zavádí se komunikačními kanály do mikrokontrolerů, které je rutinně provádí. Jiných způsobů řízení krokových motorů může být pomocí speciálně vytvořeného obslužného software.

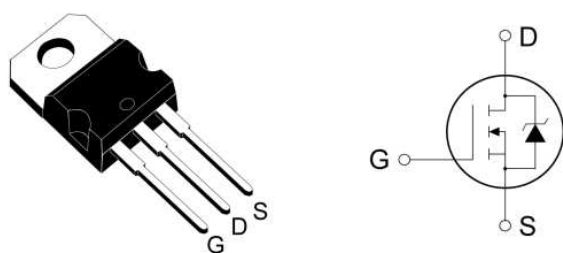
Z hlediska elektronických součástek jsou obvody sestavovány podle typického schématu uvedeného na následujícím obrázku.



Obr.19 Typické aplikační schéma obvodu pro řízení bipolárního krokového motoru[20]

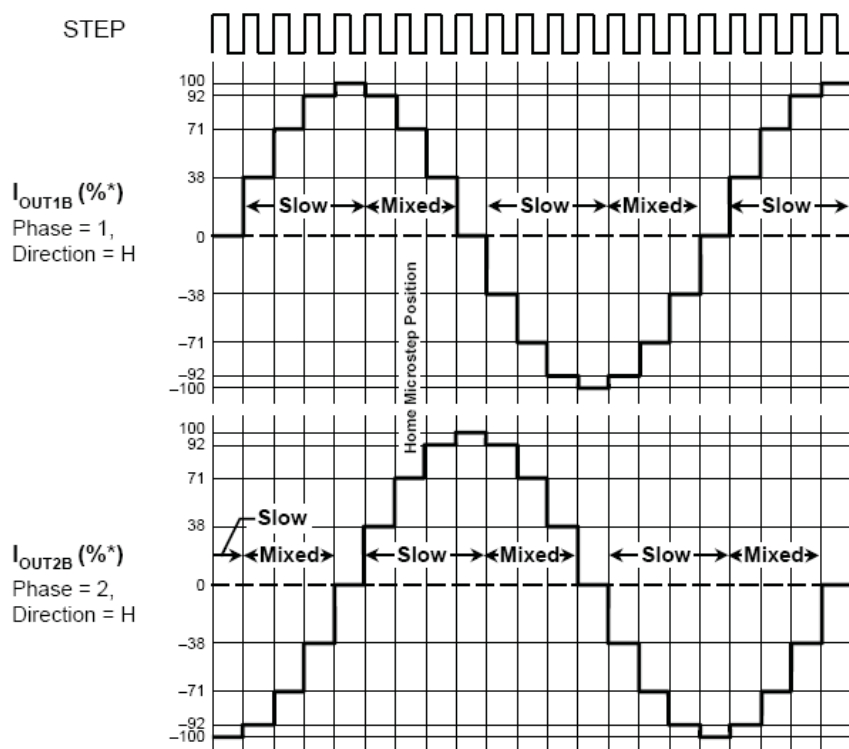
Jak je ze schématu patrné, obvod se skládá z řídicí části tvořené mikrokontrolerem nebo řídicím logickým obvodem, budičem můstku v podobě například integrovaného obvodu s kontrolním mechanismem a výkonnou částí složenou z tranzistorů MOSFET.

MOSFET tranzistory jsou aktivními prvky elektroniky, použitelných pro signální analogové, digitální obvody a ve výkonové elektronice. Jedná se o plem řízený tranzistor, kde vodivost N,P kanálu mezi elektrodami Source a Drain je ovlivňována napětím mezi Gate a Source elektrodami.



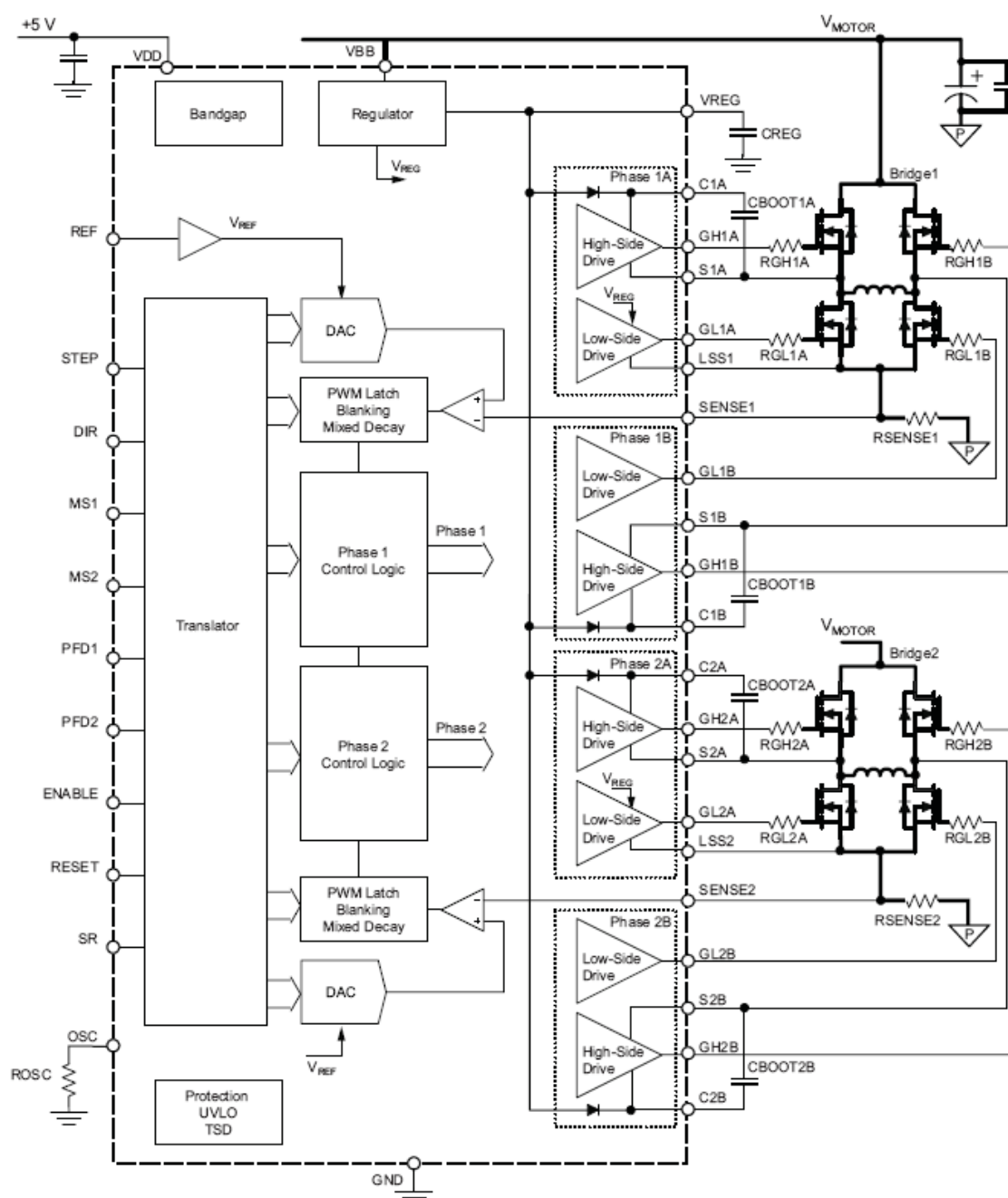
Obr.20 STripFET II Power MOSFET, N-channel e $U_{ds}=60V$ $I_d=30A$, $P_{tot}=70W$, $R_{don}=0.040\text{ Ohm max}$, $R_{don}=0.032\text{ Ohm typ.}$, $U_{gsth}=2V\text{ min}$, pouzdro TO-220 [21]

Bridge driver A 3986 je integrovaný obvod tvořený součástkami v jednolitém pouzdře obsahuje dělič pulzů s mikrokrokováním a budič dvou úplných MOSFET můstků. Napájení obvodů motoru je v rozmezí 12 až 50V. Krokování probíhá pulsy na STEP vstupu. Mikrokrokování lze provádět po celém, polovičním, čtvrtinovém a šestnáctinovém kroku. Úroveň napětí na jednotlivých vinutích krokového motoru jsou patrné z následujícího obrázku.



Obr.21 Průběh napětí při mikrokrokování s $\frac{1}{4}$ kroku[20]

V případě zapojení krokového motoru SX17-1705 se standardní délkou kroku o velikosti $1,8^\circ$ a řídicího obvodu A 3986 lze dosáhnout minimálního úhlu natočení ve velikosti $0,11^\circ$.



Obr.22 Funkční blokový diagram duálního můstku [20]

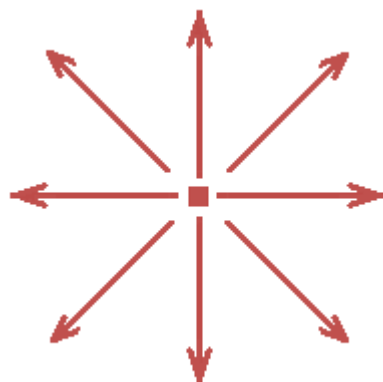
3.4. Věsměrové řízení

Každý robot, aby plnil správně svoji funkci, musí být schopen přemístění ze své současné pozice na pozici jinou, na které vykoná zadaný úkol – cíl

definovaný operátorem kognitivnímu systému. Před změnou polohy i v procesu její změny dochází k přípravným krokům, které vedou k výsledku v podobě přemístění robota. Proces příprav můžeme jednoduše nazvat plánování cesty. Pod tímto jednoduchým názvem se však ukrývají složité postupy a analýzy. Následně můžeme hovořit v termínech globální, lokální plánování, akční radius robota, přeplánování trasy. Půjdeme-li hlouběji do problematiky, dostaneme se k pojmům umělá inteligence, genetické algoritmy, neuronové sítě aj.

V případě našeho robotického podvozku, který je v přípravě před fází experimentálního testování, nahradíme procesy zpracovávané v kognitivním systému vedoucí k nalezení optimální cesty, zadáním cesty konkrétní. Pro tyto účely provádím rozbor reálných pohybů robotického podvozku a jejich popis.

Nejdříve vezmeme v úvahu možnosti podvozku, který se nepohybuje. Jedná se o otočení na místě tedy o zatáčení s nulovým poloměrem zatáčky.

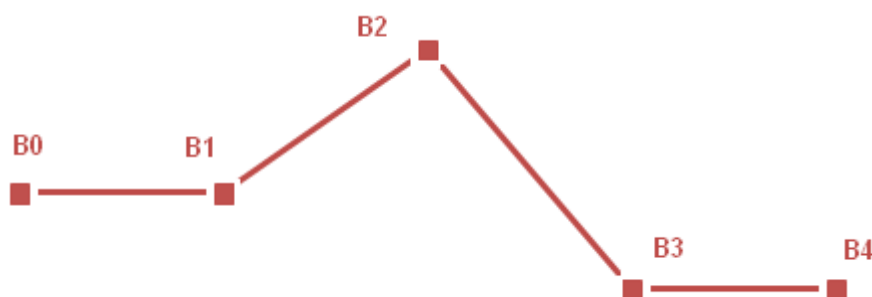


Obr.23 Všesměrové možnosti natočení podvozku

Jeho natočení je závislé jen na velikosti kroku krokového motoru v otáčecí jednotce. Dosažitelné hodnoty kroku jsou, podle parametrů navržené elektroniky a volby způsobu mikrokrokování, v hodnotách $1,8^\circ$, $0,9^\circ$, $0,45^\circ$ nebo $0,11^\circ$.

U úkonu otočení se na místě a lineárního pohybu, který je dále popsán a je kombinací úkonů otočení se na místě a jízdy vpřed, je zamýšleno, aby rozběhový pás byl vyzvednut nad úroveň kulových elementů a tím umožnil nezávislé natočení skříně pohybového pásu. Při tomto natočení musí dojít i k natočení receptorů senzorického subsystému ve směru pohybu. Toho lze dosáhnout spojením senzorické nosné části s pohonnou jednotkou nebo natáčením celého robota. Natáčení celého robota na místě, je možné otáčením podvozku bez nadvzvednutí pohybového pásu, tím dojde i k časové a energetické úspoře. Při této variantě však musíme očekávat určité smýkání a tedy nepřesnosti v natočení oproti variantě s nadvzvednutím pásu. Jiná, pravděpodobně méně výhodná varianta pro funkční senzorický subsystém je, osazení robota tolika receptory, aby pokryly všesměrové možnosti pohybu.

Pro další rozbor dráhy pohybu vezmeme v úvahu některý z úseků cesty, jehož průběh můžeme graficky znázornit, tak jak je zobrazeno na následujícím obrázku.



Obr.24 Příklad jednoduché dráhy

Budeme-li chtít danou dráhu popsat jazykem, který je srovnatelný s prováděnými úkony na úrovni motorického subsystému robotického pojezdu, můžeme danou dráhu popsat následovně:

Start = počáteční pozice bod B0,

přímá jízda z bodu B0 do bodu B1 = l₁, obrat o 45° proti směru hodinových ručiček

přímá jízda do bodu B2 = l₂, obrat o 90° po směru hodinových ručiček

přímá jízda do bodu B3 = l₃, obrat o 45° proti směru hodinových ručiček

přímá jízda do bodu B4 = l₄

bod B4 = cíl cesty

Jiným příkladem je popis, kde jednotlivé body na trase mohou být definovány pozicí ve zvoleném souřadném systému a úhly natočení by byly následně dopočítány nebo, jak bylo výše v příkladu uvedeno, popis může být založen na uvedení vzdáleností dvou sousedních bodů od sebe a úhlem natočení v každém bodě. Z popisu podvozku, uvedeného předchozí kapitole, je zřejmé, že v případě řízeného podvozku, jízdu přímo zabezpečuje pohon stejnosměrného motoru a obrat je zabezpečen pohonem krokového motoru.

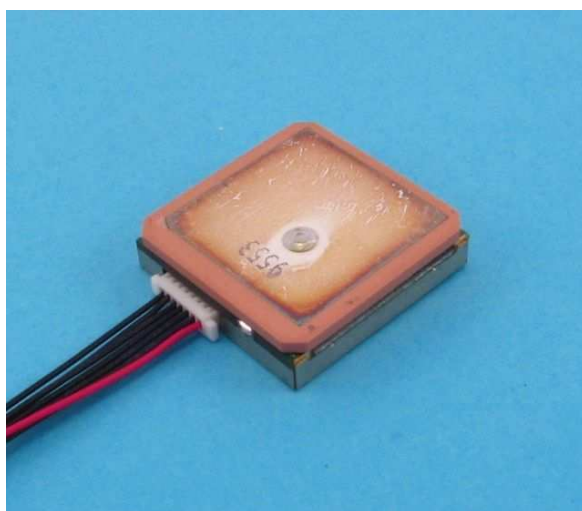
Formát instrukčního textového zápisu, vztaženého k souřadnému systému pro motorický subsystém, může vypadat následovně:

0,0; X1,0;X2,Y2;X3,Y3;X4,Y4;

Pro případ popisu pomocí délky a natočení:

l₁, -45°; l₂, 90°; l₃, -45°; l₄

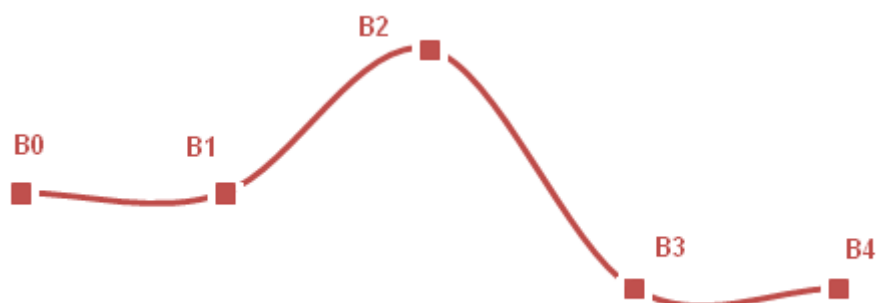
Provedeme rozbor jednotlivých zápisů. Z hlediska velikosti instrukčního souboru, který ovlivňuje zejména časové zatížení komunikačních zařízení při předávání instrukcí mezi vrstvami systému a potřebu hardware vybavení v podobě dostatečné kapacity paměti pro data, není velkých rozdílů. Z hlediska výstižnosti popisu se jeví oba zápisy jako shodné. Přihlédneme-li k dalším okolnostem a to náročnost výpočtů pro ověření skutečné pozice robota vůči plánované pozici, vhodnost formátu dat při definování cílů, jejich shodnost při předávání informací mezi vrstvami robotických subsystémů, vedoucí k celkové přehlednosti a ve svém důsledku případnému snazšímu nalezení a odstraňování chyb v programové části řízení, intuitivní prostředí pro obsluhu aj. je vhodné definovat dráhu cesty pomocí souřadného systému (GPS, vzdálenost od definovaných bodů v prostoru, aj.). Zadaná souřadnice instrukčního souboru znamená bod ve zvoleném souřadném systému modelového prostředí, kterým robotický podvozek musí projet. Lze, v určitém modulu subsystému, definovat parametr vystihující případnou odchylku od tohoto bodu a tím volit určitou volnost pohybu robota.



Obr.25 Integrovaná keramická anténa GPS [26]

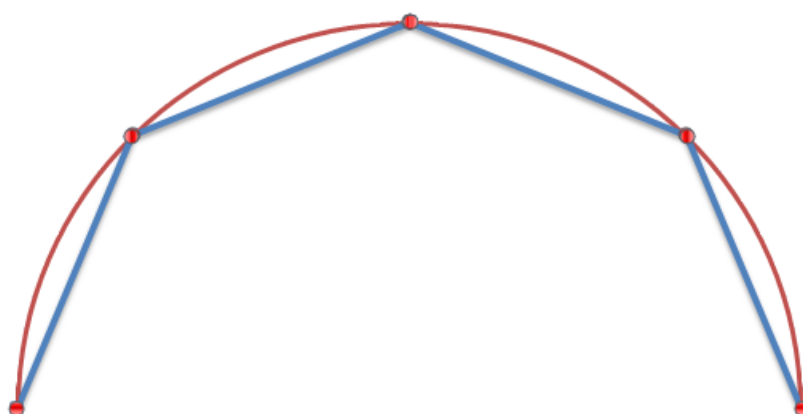
Vezmeme-li v úvahu reálný svět a pohyby v něm, které bereme jako přirozené a nám vlastní a tyto realizovali ve světě robotickém, pak mluvíme o takzvaném spojitém pohybu. Převod lineárního pohybu, který je zadán body zvoleného souřadného systému, lze jednoduše uskutečnit interpolací. Interpolace je proložení křivky jednotlivými body zadanými v souřadném systému křivkou, která těmito body prochází. Metody interpolace jsou matematicky popsány a nabízejí se k použití například Lagrangeova interpolace nebo kubická interpolace, vhodnější je využití splajnů [13]. Zmíněný zdroj obsahuje dynamický a kinematický model diferenciálního robota, který se pohybuje vyššími rychlostmi. Pomocí splajnů se generuje optimální průjezd definovanými body s maximálním tečným a otáčivým akceleračním omezením pro pohyb bez smýkání.

Níže uvedený obrázek znázorňuje dráhu podvozku z popsaného příkladu s proložením křivky.



Obr.26 Příklad jednoduché dráhy

Přínosem spojitého pohybu je zejména snížení času při pohybu a to odstraněním rozběhu z nulové rychlosti na požadovanou po každém otočení stroje, snižování rychlosti až do úplného zastavení před otáčením stroje a prodlev při otáčení na úkor přesnosti dodržení dráhy. Činnosti spojené se změnou směru pohybu se u pohybu spojitého vykonávají paralelně, a aby při nich nedocházelo k prokluzům, ke ztrátě ovladatelnosti způsobenou setrvačnými silami nebo jiných negativních vlivů (nadměrný náklon stroje - robota, velké přetížení a zátěž jedné strany robotického podvozku aj.), dochází v kritických bodech ke snižování rychlosti. Negativum spojitého pohybu je v délce dráhy. Dráha je delší, oproti lineárnímu pohybu a je třeba většího prostoru pro nájezdy do „zatáček“, které jsou přímo úměrné rychlosti průjezdu robota danou „zatáčkou“.



Obr.27 Příklad průjezdu obloukové dráhy

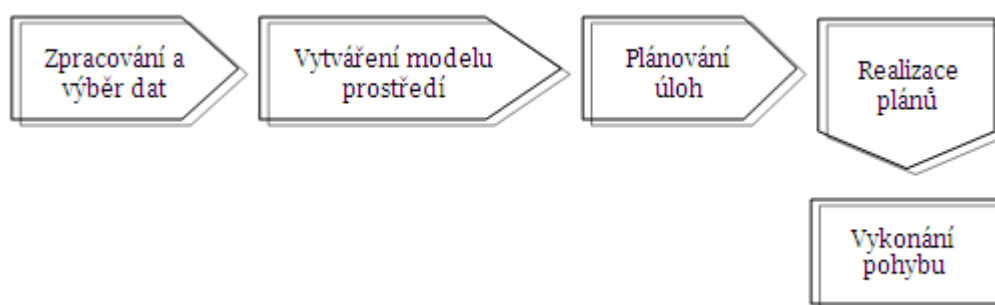
Docílit tento pohyb u našeho všesměrového podvozku s kulovými elementy nelze. Podvozek se pohybuje jen v úsečkách. Na každé takovéto úsečce se podvozek pohybuje přímočarým pohybem a změna směru pohybu se provádí natočením v počátečním nebo koncovém bodě úsečky. To nevede ke spojitě změně, jak je tomu při diferenciálních podvozcích, případně u podvozků s natáčivým kolem, ale ke změně diskrétní. Mezi jednotlivými změnami se podvozek pohybuje v přímém směru (modrá křivka v obrázku 27). Převod z kruhové trajektorie na „úsečkovou“ nazýváme lineární interpolací. Odchylka, která vzniká oproti kruhové trajektorii, může být korigována četností úseček, nebo-li bodů ve kterých se podvozek natáčí. U tohoto druhu natáčení by bylo výhodné provádět změnu pohybu bez nadzvednutí pásu. Vedlo by to k časovým i energetickým úsporám. Ověření korektního chování podvozku, bude vhodné provést praktickým experimentem.

4. Návrh algoritmu pro řízení podvozku

Na začátku předchozí kapitoly je celý systém řízení rozdělen na jednotlivé subsystémy. Tyto subsystémy jsou velmi složité, a proto je třeba dalšího dělení na menší části. Tento způsob dělení se nazývá funkční dekompozice, jako jiný způsob dekompozice se nabízí reaktivní. Častěji se používá, při řešení úloh řízení v robotice, kombinace funkční a reaktivní dekompozice – hybridní přístup k řešení problému [7].

Reaktivní dekompozice je dekompozice zdola nahoru. Inspirací tomuto systému řízení je chování jednoduchých živočichů. Jsou definovány základní funkce na nejspodnější úrovni tj. elementární činnosti robota. Od těchto jsou dále odvozovány složitější struktury jeho chování. Jednotlivé moduly reaktivní řídicí architektury mají přímé napojení na senzory i motorický systém. Konkrétní akce vyvolá odpovídající předem definovanou reakci. Tento způsob řízení se využívá při řešení méně náročných úkolů. Příkladem je sledování čáry. Levý senzor barvy ovládá zatáčení vlevo, pravý senzor ovládá zatáčení vpravo. Součet signálů z obou senzorů ovlivní hodnotu úrovně akčního zásahu.

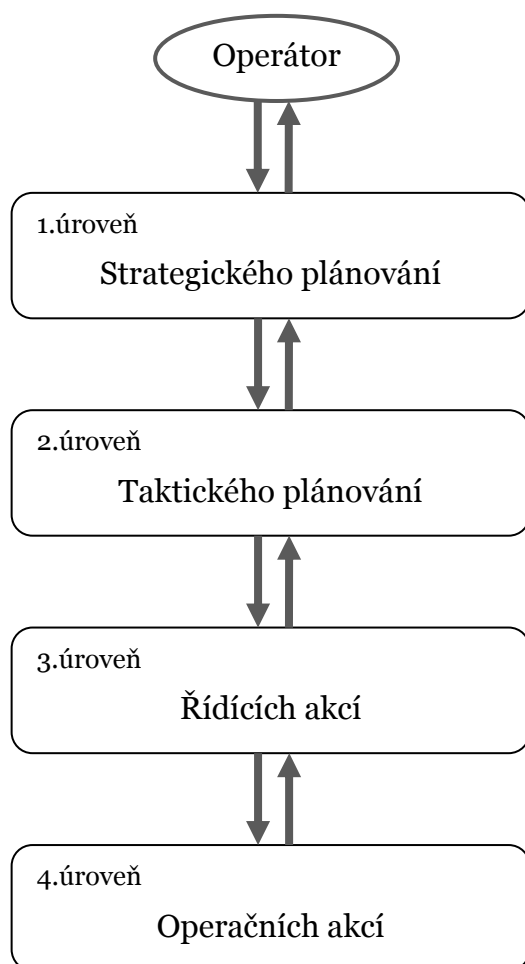
Funkční dekompozice je dekompozice shora dolů. Při návrhu postupujeme tak, že složitou úlohu dělíme na menší jednodušší podúlohy, které lze dále dělit nebo snadno vyřešit. Při tomto řízení se jednotlivé moduly řadí za sebou, kde výstup jedno modulu je vstupem do modulu následujícího. Řízení je rozděleno na diskrétní množinu vzájemně na sebe navazujících akcí a událostí. Získání, zpracování a výběr signálů z receptorů, vytváření modelu prostředí, plánování úloh vedoucích k uskutečnění zadaných cílů, realizace plánů, vykonání pohybu. Touto metodou lze řešit i velmi náročné úlohy, ale je nutné brát zřetel na možnost šíření chyb systémem. Chyba jednoho modulu, procesu se díky postoupení následujícímu modulu procesu dostává na jeho vstup, ten je pak touto chybou ovlivněn. Tímto může docházet ke zkreslení výsledků i celého řízení.



Obr.28 Funkční dekompozice řízení robota

Hybridní způsob řízení odstraňuje jednotlivé nedostatky a na druhou stranu využívá výhod té které metody dekompozice. Řídicí systém je rozdělen do úrovní shodně s funkční dekompozicí. Řešení na jednotlivých úrovních jsou realizována různou architekturou. Pro úrovně nízké, vyžadující okamžitý akční zásah na podměty vycházející z okolního prostředí, se použije reaktivní řízení. Příkladem může být senzor detekující překážku napojený přímo na pohonnou jednotku. Při detekci kolize, dojde k okamžitému zastavení pohonné jednotky a následně vyhodnocení situace vyšší úrovní řízení. Pro vyšší úrovně, kde se využívá času k plánování, analýze, vyhodnocování se využije metody funkční dekompozice.

Návrh struktury hierarchického řídicího systému obsahující softwarové moduly na jednotlivých úrovních řízení. Vyšší úrovně plní funkce rozhodování a plánování, nižší úrovně jsou úrovně akční.



Obr.29 úrovně navrženého systému řízení

První úroveň strategického plánování má nejvyšší rozhodovací pravomoc. Zabezpečuje komunikaci s operátorem pro definování cílů, zasílá informace o

stavu a průběhu plnění jednotlivých úkolů, zajišťuje definování úkolů pro splnění cílů, provádí optimalizaci a plánování.

Druhá úroveň – taktického plánování je přímo podřízená první úrovni a jsou jí předávány dílčí úkoly pro zajištění jejich plnění. Nadřazené úrovni jsou pak předávány výsledky o jejich rozpracování a průběhu plnění. Taktické úrovni je podřízena úroveň řídicí. Touto taktickou úrovní je propojen motorický i senzorický subsystém a na této úrovni je i vytvářen model prostředí.

Třetí řídicí úroveň je úroveň zabezpečující výpočet trajektorie pohybu dle instrukcí z nadřazené úrovně. Definice trajektorie, přicházející z nadřazené vrstvy, je v podobě instrukcí a bodů v modelovém souřadném systému. Třetí vrstva obsahuje moduly pro přepočty lineární jízdy, modul spojitě jízdy, modul korekcí aj.

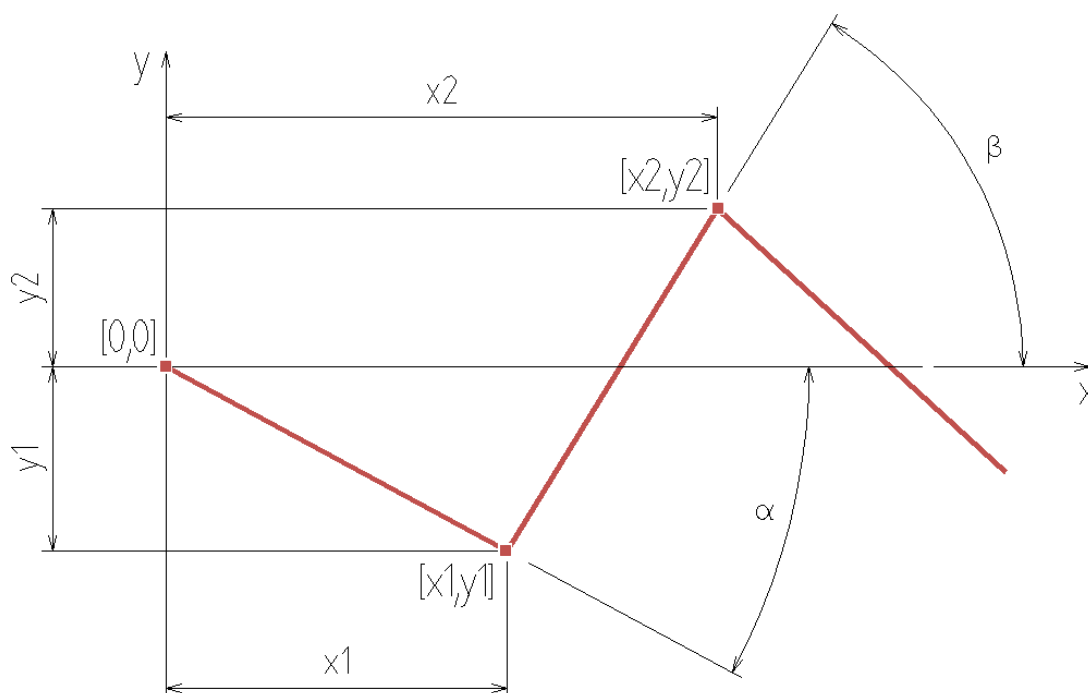
Čtvrtá operační úroveň zabezpečuje přímé řízení pohybových i pracovních mechanismů tedy výkonných motorů.

Při modulárním řešení lze využít možnosti paralelních výpočtů a řešení úkolů na různých platformách hardware volených dle náročnosti zpracování a potřebám okolních zařízení, vzájemně komunikujících unifikovanými a standardizovanými metodami. U speciálních systémů lze vyšší formy řízení vyhodnocovat mimo oblast robota. Toto řešení nabízí využití mnohonásobně vyšší kapacity hardware a výkonu oproti zařízením, které lze dnes do mobilních robotů osadit.

5. Zpracování řídicího programu

Program obsahuje algoritmus přepočtu pozice v modelu prostředí reprezentovaném kartézským souřadným systémem na úkony pohonných výkonných motorů. Programem je řešen modul lineární dráhy třetí řídicí úrovně navrženého systému řízení. Ruční vstup z klávesnice simuluje obdržení dat z nadřazené vrstvy taktického plánování a výstup na obrazovku znázorňuje předání dat nižší úrovni.

Do programu jsou zadána data o počáteční a koncové poloze robotického podvozku. Výstupem jsou pokyny pro elektroniku pohonů a doplňkové informace, které dovolují ověření správnosti výpočtu a v reálné aplikaci mohou být předány nadřazené vrstvě pro kontrolní a logovací činnost. Pozice bodů si program vyžádá dotazem a jsou mu předány zadáním z klávesnice v podobě x-ové a y-ové souřadnice oddělené mezerou. Dalším vstupem je úhel natočení podvozku vůči počátku souřadného systému viz obr. 30.



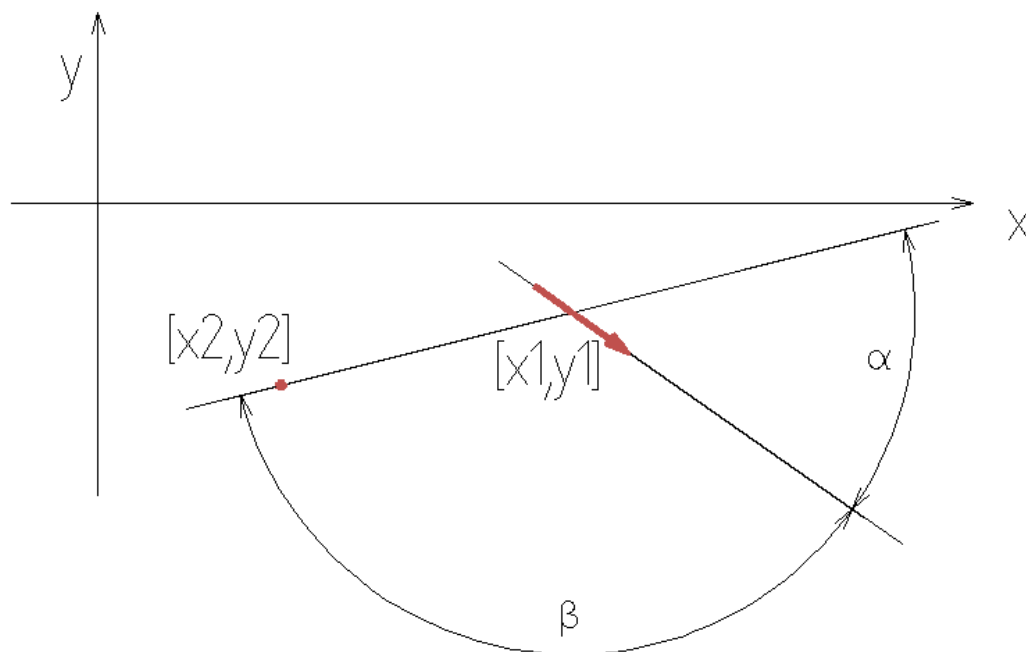
Obr.30 Reprezentace dráhy pohybu pro potřeby zadávání v programu

Předpokládaná dráha robotického pojezdu je vyznačena silnou čarou, počátek souřadného systému má souřadnice $[0,0]$, první bod $[x_1,y_1]$, následující $[x_2,y_2]$. Natočení podvozku je reprezentováno úhly α , β , kde velikost úhlu α se zadává se záporným znaménkem a velikost úhlu β je v kladném smyslu natáčení

podvozku. V obrázku záměrně nejsou vyznačeny jednotky. U úhlů se předpokládá, že budou zadány v úhlových stupních. Souřadnice x , y jsou reprezentovány v libovolné délkové jednotce.

Algoritmus programu je koncipován tak, aby otáčení podvozku bylo optimální a řešilo následující problém naznačen na obr.31. Je-li podvozek v libovolném bodě $[x_1, y_1]$ jeho trasy, ve kterém má vykonat obrat, tak aby se natočil do směru k bodu $[x_2, y_2]$. Šipka v bodě $[x_1, y_1]$ je souhlasná se směrem příjezdu. Úkon natočení může provést dvěma způsoby:

- první způsob je natočení podvozku po směru hodinových ručiček o úhel β a rozběh hlavního pohonu ve stejném smyslu jako při příjezdu do bodu otáčení $[x_1, y_1]$
- druhý způsob natočení podvozku proti směru hodinových ručiček o úhel α a rozběh hlavního pohonu s reverzním smyslem otáčení oproti smyslu, kterým byl spuštěn při příjezdu do bodu otáčení $[x_1, y_1]$.



Obr.31 Modelová situace řešená programem

Optimální, podle velikosti úhlu a tedy i doby prováděného úkonu, spotřebované energie, je natočení podvozku druhým způsobem a tedy o úhel α s využitím reverzní vlastnosti motoru. Vstupní údaje pro program naší modelové situace a výsledky pro akční úroveň jsou uvedeny na následujícím obrázku 32.

```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\>"C:\Documents and Settings\mpazdera\Dokumenty\UUT\diplomka\program\souradnice\Debug\souradnice.exe"
-----
Ulozte souradnici pocatecniho bodu x y
6.5 -1.5
Ulozte uhel natoceni robota v pocatecnim bodu [uhlove stupnel]
-35
-----
Ulozte souradnici koncoveho bodu x y
2.5 -2.5
=====

delka: 4.1
reverze: 1
pocet kroku: 27
otoceni: 0

Dolnkove informace:
uhel natoceni: 49
otaceni proti smeru hodinovych rucicek = vlevo
-----

C:\>

```

Obr.32 Konzola programu se vstupními a výstupními údaji

Jednotlivé vstupní hodnoty již byly popsány. Výstupní údaje pro nižší vrstvu jsou následující:

Délka – představuje vzdálenost mezi body, kterou bude robotický podvozek projíždět bez změny úhlu natočení. Zásah ve směru bude jen v rámci korekce vycházející z nadřazené úrovně. U tohoto úkonu lze využít mikrokrokování, pro přesnější dodržení dráhy.

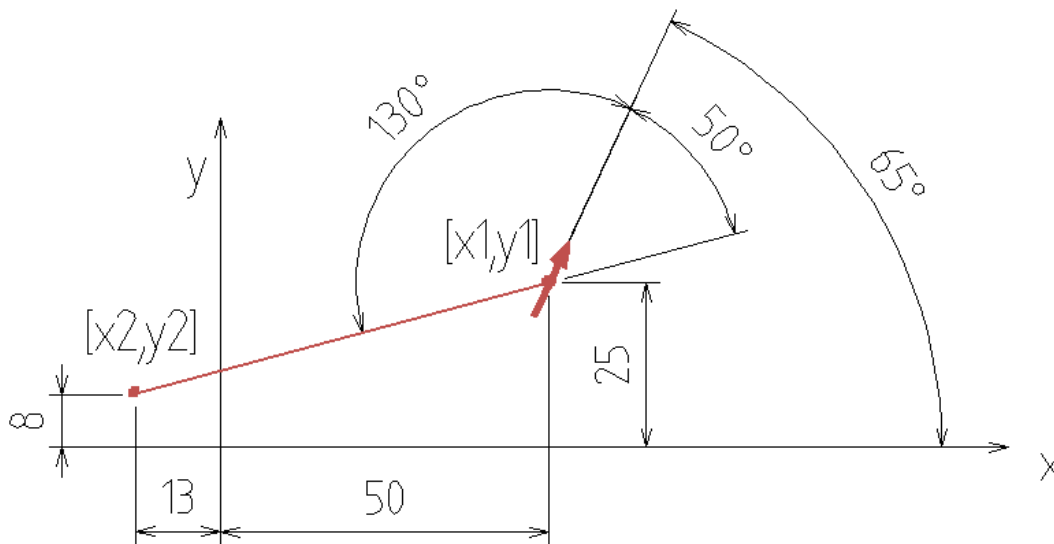
Reverze – je parametr určující změnu smyslu otáčení pohonné jednotky oproti smyslu, který byl zvolen pro příjezd do bodu změny natočení. Před provedením změny reverze je nutné stroj uvést do úplného zastavení. Hodnoty, které parametr může nabývat, jsou 0 – beze změny, 1 – reverze.

Počet kroků – je parametr určující kolik kroků krokového motoru je zapotřebí pro natočení robotického podvozku v požadovaný směr. Jeden krok je spočten pro základní krok, nikoli-li pro některou možnost mikrokrokování.

Otočení - je parametr, který udává informaci, zdali se má krokový motor otáčet ve směru otáčení hodinových ručiček nebo proti smyslu. Hodnoty, které parametr může nabývat, jsou 0 – proti směru otáčení hodinových ručiček, 1 – ve směru otáčení hodinových ručiček.

Vzorové příklady řešené programem:

Příklad č.1



obr.33 Příklad pozice v modelu prostředí

Vkládaná data do programu:

$$[x1, y1] = 50 \ 25$$

$$\alpha = 65^\circ$$

$$[x2, y2] = -13 \ 8$$

Získaná data z programu:

$$\text{Délka} = 65,25$$

$$\text{Reverze} = 1$$

$$\text{Počet kroků} = 27$$

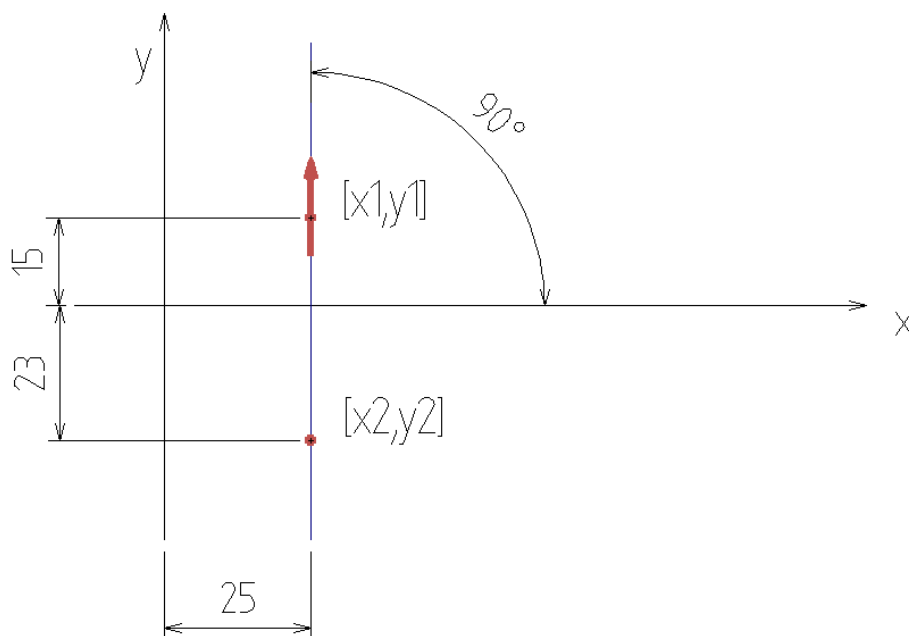
$$\text{Otočení} = 1$$

Doplňkové informace:

$$\text{Úhel natočení} = 49,9^\circ$$

Otáčení ve směru otáčení hodinových ručiček = vpravo

Příklad č.2



obr.34 Příklad pozice v modelu prostředí

Vkládaná data do programu:

$$[x_1, y_1] = 25 \ 15$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$[x_2, y_2] = 25 \ -23$$

Získaná data z programu:

$$\text{Délka} = 38$$

$$\text{Reverze} = 1$$

$$\text{Počet kroků} = 0$$

$$\text{Otočení} = 1$$

Doplňkové informace:

$$\text{Úhel natočení} = 0^\circ$$

Otáčení ve směru otáčení hodinových ručiček = vpravo

6. Závěr

Záměry řešené diplomovou prací obsahují návrhy prakticky použitelné koncepce systému hierarchického řízení všesměrového podvozku robota, který využívá k pohybu matici kulových elementů. Uplatnění takového podvozku se předpokládá zejména tam, kde je vyžadována přesnost v dodržení stanovené dráhy a vysoké nároky na obratnost. Jednotlivé cíle této práce jsou specifikované v druhé kapitole a řešení hlavních i vedlejších cílů je rozfázováno do jednotlivých kapitol této práce.

První kapitola je věnována úvodu do problematiky robotiky ve smyslu směru jejího vývoje, obsahu a členění obsažených oborů a dále pak, vazby člověka a autonomního robota.

Ve druhé kapitole jsou představeny cíle práce. Hlavní cíle jsem odvodil ze zadání diplomové práce. Vedlejší jsem si stanovil na základě obdržených podkladů pro realizaci úkolů zejména z návrhu technického řešení podvozku.

Třetí kapitola je věnována současnému stavu řešené problematiky. V jednotlivých podkapitolách je zahrnuto rozdělení systémů robota a popsány jednotlivé podsystémy. Hlavní náplní této kapitoly je podrobnější seznámení se s podvozkem, dále pak s hlavní pohonnou jednotkou a s jejím řízením, otáčecí jednotkou a s jejím řízením. Kapitola obsahuje funkční popisy pohonů stejnosměrného motoru a krokového motoru a způsoby jejich řízení včetně návrhu elektronických součástí pro řízení, zapojení a aplikační bloková schémata elektroniky. V poslední podkapitole se zabývám rozбором možností pohybu robotického podvozku a vlivu na jeho řízení. Tímto je řešena dílčí část prvního cíle diplomové práce.

Ve čtvrté kapitole jsem se seznámil s vlastnostmi architektur a z poznatků jsem provedl návrh algoritmu řízení. Funkční dekompozicí je řízení rozloženo hierarchicky na dílčí úrovně. Kapitola obsahuje popis jednotlivých úrovní s vazbou na úlohy v procesu řízení. Pro další řešení jsem si vybral třetí vrstvu a provedl její rozbor. Na základě kterého jsem provedl členění na jednotlivé moduly. Tímto jsem naplnil první cíl zadání práce.

Pátá kapitola je věnována programovému zpracování modulu pro řízení lineární dráhy podvozku. Vytvořil jsem program, jehož obsahem je algoritmus, řešící popsany problém. Součástí programu je interface pro obsluhu, který plně nahrazuje oboustrannou vnitřní komunikaci mezi úrovněmi řízení. Program je zpracován v objektovém prostředí C++ konkrétně v Microsoft Visual Studiu 6.0 a využívá vlastnosti OOP. Náplň této kapitoly odpovídá obsahu druhého cíle zadání „Vytvořit program pro vybranou úroveň řízení“.

Zpracováním diplomové práce jsem vyřešil ovládání podvozku v rozsahu zadaných úkolů. Pro praktickou realizaci podvozku je zapotřebí dořešit celou

řadu dalších problémů v podobě zpracování kognitivního, senzorického subsystému a nadřazeného rozhraní nad úrovně řízení, pro komunikaci s obsluhou. Doporučuji neřešené problémy, které nebyly předmětem této diplomové práce, řešit formou dalších diplomových prací. Ty mohou na moje řešení navázat a dále jej rozpracovat.

Touto prací bych také rád přispěl k řešení dílčích problémů v oblasti mobilních robotů, která je součástí výzkumného projektu MSM 0021630529 „Inteligentní systémy v automatizaci“.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Novák, P. Mobilní roboty. 1.vyd. Praha: BEN 2005. 248 stran. ISBN 80-7300-141-1
- [2] Doc.Ing.František ŠOLC, CSc. Robotické systémy. VUT v Brně: 1990. ISBN 80-214-0123-0
- [3] Herbert Schildt. Nauč se sám C++. Praha: SoftPress 2001. 624 stran. ISBN 80-86497-13-5
- [4] Pavlovkin, J (1999).: Riadenie robotických systémov. In: Zborník Acta Universitas Matthae Belii, Ser.: Technická výchova No 2. 1999. Banská Bystrica: UMB FPV, s.78-92, 1999. ISBN 80-8055-336-X
- [5] Ondroušek, V.; Březina, T.: Design of Coordination Mechanism of Walking Robot Gait Controllers, Engeneering Mechanics 2005, pp.61-62, ISBN 80-85918-93-5, 2005
- [6] Pavlovkin, J., Jurišica, L. (2005): Optimálne trajektórie mobilného robota. Bratislava: AT&P Journal, roč. XII, číslo 2/2005, s.90-91. ISSN 1335-2237
- [7] Mgr. Miroslav Kulich. Disertační práce: Lokalizace a tvorba modelu prostředí v inteligentní robotice. 8. září 2003. s.112. Dostupné z <<http://labe.felk.cvut.cz/~kulich/diser-kulich.pdf>>
- [8] Lacko,B.: Všesměrový podvozek se třemi poháněnými kulovými elementy. Úřad pro patenty a vynálezy 2005 Praha, průmyslový vzor č. 15 950
- [9] Lacko,B.: Podvozek s hnací koulí. Úřad pro patenty a vynálezy 2005 Praha, průmyslový vzor č. 15 951

-
- [10] Lacko, B. Kinematika podvozku s kulovými elementy. Sborník conference Inženýrská mechanika 2009, Ústav teorie těles AV ČR Praha 2009 (v tisku).
- [11] Lacko, B.: Využití kuličkových elementů ve vícesměnových podvozcích mobilních robotů. Celostátní konference Inženýrská mechanika 2006. Akademie věd ČR – Ústav pro teoretickou a aplikovanou mechaniku Praha 2006, str. 214 – 215
- [12] Kol. autorů: Všesměrový podvozek ALLRIDGE 1. Seminární práce studentů Ústavu konstruování Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně, 2008
- [13] Michal Gajdušek, František Šolc. Generování časově optimální trajektorie pro mobilního robota s diferenciálním řízením. FEKT Brno. AT&P Journal, číslo 2/2006. Dostupné z <http://www.atpjournal.sk/casopisy/atp_o6/pdf/online28.pdf>
- [14] Doc.Ing. Ivo Neborák, CSc., Ing. Václav Sládeček, Elektrické pohony, skriptum, 2005, [cit.15.3.2009] Dostupné z <http://fei1.vsb.cz/kat448/old/Studium/Materialy/EP/ELEKTRICKE%20POHONY_KE_VS.pdf>
- [15] Kamil Řezáč, Krokové motory princip funkce, metody řízení, 2002-10-28 [cit.17.3.2009] Dostupné z <<http://robotika.cz/articles/steppers/cs>>
- [16] Zákony robotiky, 11. 3. 2009, [cit.29.4.2009] Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1kony_robotiky>
- [17] Produktový list stejnosměrného motoru <http://www.opis.cz/nidec-valeo/pdf/403434.pdf>
- [18] Produktový list krokového motoru SX17-1705 <http://www.microcon.cz/pdf2007/motorySX.pdf>

-
- [19] Produktový list krokového motoru SX17-1705
<http://www.microcon.cz/zapojenivnutio82008/zapojenivnutipdf082008/SX17-1705.pdf>
- [20] Produktový list Dual Full-Bridge MOSFET Driver with Microstepping Translator A3986
http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/3986/3986.pdf
- [21] Unipolární tranzistor STP36NF06
<http://www.gme.cz/cz/index.php?product=213-196>
- [22] Produktový list H-Bridge Motor Driver VNH2SP30-E
<http://www.pololu.com/file/oJ52/vnh2sp30.pdf>
- [23] Integrovaný můstek k řízení motorů
http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=68_69&products_id=245
- [24] Avisaro WLAN Module 2.0
<http://www.avisaro.com/tl/index.php/wlan-module-20.html>
- [25] Barevná (RGB) kamera
http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=65_74&products_id=310
- [26] Integrovaná GPS keramická anténa
http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=68_115&products_id=377

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha – disk DVD-ROM s obsahem:

- Elektronická verze této práce (DP_Pazdera.pdf)
- Software pro třetí úroveň řízení, modul lineární pohyb (3U_lin.exe)
- Katalogové listy obvodů:
 - o Dual Full-Bridge MOSFET Driver with Microstepping Translator A3986 (3986.pdf)
 - o Dual Full-Bridge Driver L298 (l298.pdf)
 - o DMOS Dual Full-Bridge Driver L6207 (l6207.pdf)
 - o H-Bridge Motor Driver VNH2SP30-E (vnh2sp30.pdf)
 - o Unipolární MOSFET transistor STP36NF06 (dsh.213-196.1.pdf)
- Katalogové listy motorů:
 - o stejnosměrný motor type 403 434 (403434.pdf)
 - o Hybridní dvoufázové krokové motory řady SX (motory_SX.pdf)
 - o Krokový motor SX17-1705 (SX17-1705.pdf)

