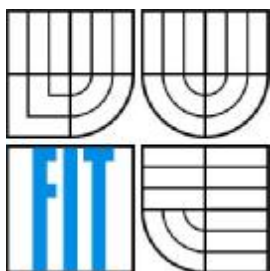




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY  
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

# NÁVRH MOBILNÍ ROBOTICKÉ PLATFORMY

DESIGN OF A MOBILE ROBOTIC PLATFORM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

VÍT KOLÁŘ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. FILIP ORSÁG, Ph.D.

BRNO 2007

## Zadání bakalářské práce

Řešitel: **Kolář Vít**  
Obor: Informační technologie  
Téma: **Návrh mobilní robotické platformy**  
Kategorie: Umělá Inteligence

### Pokyny:

1. Seznamte se s problematikou mobilních robotů, zaměřte se na návrh mobilních platform jak z hlediska HW, tak z hlediska SW a mechanické konstrukce.
2. V hrubých rysech navrhnete mobilní robot na úrovni blokových schémat a hrubého nárysu mechanických částí robotu.
3. Hrubý návrh robotu rozvedte do detailů. Mechanický návrh vytvořte s ohledem na elektroniku, kterou bude robot potřebovat. Elektroniku navrhnete s ohledem na účel robotu.

### Literatura:

- dle pokynů vedoucího

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Body 1 a 2 zadání.


Podrobné závazné pokyny pro vypracování bakalářské práce naleznete na adrese <http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva bakalářské práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap (20 až 30% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním paměťovém médiu (disketa, CD-ROM), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Orság Filip, Ing., Ph.D.**, UITS FIT VUT  
Datum zadání: 1. listopadu 2006  
Datum odevzdání: 15. května 2007

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
Fakulta informačních technologií  
Ústav inteligentních systémů  
602 00 Brno, Božetěchova 2

  
doc. Dr. Ing. Petr Hanáček  
vedoucí ústavu

**LICENČNÍ SMLOUVA  
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO**

uzavřená mezi smluvními stranami

**1. Pan**

Jméno a příjmení: **Vít Kolář**  
Id studenta: 80406  
Bytem: Tišnovská 74/1985, 613 00 Brno  
Narozen: 19. 01. 1985, Brno  
(dále jen "autor")

a

**2. Vysoké učení technické v Brně**

Fakulta informačních technologií  
se sídlem Božetěchova 2/1, 612 66 Brno, IČO 00216305  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....  
(dále jen "nabyvatel")

**Článek I  
Specifikace školního díla**

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):  
bakalářská práce

Název VŠKP: Návrh mobilní robotické platformy  
Vedoucí/školitel VŠKP: Orság Filip, Ing., Ph.D.  
Ústav: Ústav inteligentních systémů  
Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

tištěné formě            počet exemplářů: 1  
elektronické formě    počet exemplářů: 2 (1 ve skladu dokumentů, 1 na CD)

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## Článek 2 Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licenční právo je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti:
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy
 (z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

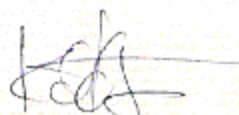
## Článek 3 Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tisni a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....

Nabyvatel



.....

Autor

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá návrhem mobilní robotické platformy pro autonomní travní sekačku řízenou bezdrátově připojeným počítačem. Po úvodních informacích o vzniku a cíli projektu následuje popis dvou vybraných již existujících autonomních travních sekaček na trhu. V následující kapitole, hlavní části práce, jsou popsány jednotlivé subsystemy robota – senzorický, motorický a řídicí. Dále pak problematika napájení a navigace mobilního robota. Všechny tyto části jsou popsány jak teoreticky, tak z hlediska navrhované autonomní travní sekačky.

## **Klíčová slova**

robot, robotika, autonomie, travní sekačka, WiFi, Wi-Fi, I2C, senzor, mobilní, řízení, napájení, navigace, SRF05, CMPS03, C3088

## **Abstract**

This thesis focuses on a design of a mobile robotic platform for an autonomous grass-reaping machine controlled by wireless connected computer. There is some information about the creation and objects of this project in the beginning and then the reader is made familiar with two autonomous grass-reaping machines that are already on the market. The main chapter describes all the robots subsystems such as sensory, motoric and control subsystem. The issue of power supply and navigation is also mentioned. All these parts are being described both theoretically and from the point of autonomous grass-reaping machine as well.

## **Keywords**

robot, robotics, autonomous, mower, grass-reaper, WiFi, Wi-Fi, I2C, sensor, mobile, control, power supply, navigation, SRF05, CMPS03, C3088

## **Citace**

Vít Kolář: Návrh mobilní robotické platformy, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2007

# Návrh mobilní robotické platformy

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Filipa Orsága, Ph.D.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....  
Vít Kolář  
15.5.2007

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Filipu Orságovi, Ph.D. za odborné vedení.

© Vít Kolář, 2007.

*Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů..*

# Obsah

Obsah.....	1
Úvod.....	2
1.1    Motivace projektu.....	2
1.2    Cíl projektu.....	3
2    Autonomní travní sekačky již na trhu.....	4
2.1    Husqvarna Automower.....	4
2.2    Friendly Robotics® Robomow®.....	5
2.3    Shrnutí.....	5
3    Vlastní řešení.....	7
3.1    Senzorický subsystém.....	9
3.1.1    Pracovní prostředí robota.....	10
3.1.2    Volba senzorů.....	10
3.1.3    Obslužná zařízení pro jednotlivé senzory.....	17
3.1.4    Rozmístění senzorů.....	18
3.2    Motorický subsystém.....	20
3.3    Řídící subsystém.....	22
3.3.1    Spodní úroveň řízení.....	23
3.3.2    Datová sběrnice I <sup>2</sup> C.....	24
3.3.3    Horní úroveň řízení.....	25
3.3.4    WiFi modul.....	25
3.4    Problematika napájení.....	27
3.5    Navigace.....	29
3.5.1    Lokální navigace.....	29
3.5.2    Globální navigace.....	29
3.5.3    Tvorba mapy.....	31
Závěr.....	33
Literatura.....	34
Seznam příloh.....	36

# Úvod

Podle internetové encyklopedie Wikipedia [1] je definice robotu následující:

„*Robot je samostatně pracující stroj, vykonávající určené úkoly.*“

Pro mě je robot hlavně prostředkem jak ulehčit práci člověku, jak změnit lidskou společnost v dokonalejší a technicky vyspělejší. Jsem přesvědčen o tom, že s postupem času roboti, ať už v jakékoliv formě, nahradí na mnoha pozicích člověka a budou jeho práci dělat efektivněji a dokonaleji, což mě vedlo k volbě tohoto tématu.

## 1.1 Motivace projektu

Důvodem k volbě tématu *Návrh mobilní robotické platformy* pro moji bakalářskou práci byla ideální příležitost seznámit se s problematikou robotů a začít realizovat svůj dlouhodobý cíl. Tímto cílem je sestrojít robotickou platformu, která bude schopna dokonale nahradit člověka v jeho práci na takové pozici, kde člověka jako takového k vykonání daného problému není třeba. Jinak řečeno chtěl bych přispět k začlenění robotů do lidského života.

Téma zadání je sice obecné, ale cíl této práce, můj návrh, je konkrétní. Rozhodl jsem se navrhnout robotickou platformu k běžné benzínové sekačce na trávu tak, aby byla schopna svého provozu bez jakéhokoliv zásahu člověka, tzv. autonomního provozu. Důvodů k výběru tohoto konkrétního zařízení mám hned několik:

1. Úspora času a lidské námahy. Ačkoliv u mnohých sekání zahrady představuje vítanou formu relaxace, stále se jedná o činnost víceméně fyzicky i časově náročnou a oba tyto aspekty rostou přímo úměrně s velikostí a povahou pozemku. Dále také musíme myslet na travnaté plochy v městských aglomeracích, na fotbalových hřištích apod. Kolem nás je spousta travnatých ploch a každá tato plocha potřebuje údržbu. Jinak řečeno každou tuto plochu, ať už na zahradě rodinného domku nebo na veřejných místech, musí někdo (myšleno člověk) pravidelně sekat. Kdyby v této pozici člověka nahradil robot, ušetřil by lidem obrovské množství času, a ti takto ušetřený čas dokáží jistě využít k něčemu prospěšnému.
2. Možnost dalšího využití. Travní sekačka z pohledu principu práce je stroj velice podobný mnohým jiným. Jedná se o zařízení, které se přesouvá z místa na místo po určené ploše a všechna již navštívená místa se považují za hotová, myšleno že na nich není další práce třeba. Zařízení pracující na prakticky stejném principu jsou například domácí vysavače, brusky parket, čističe chodníků a mnohé další. Všechna tato zařízení mohou být téměř stejným způsobem zrealizována právě jako zmíněná travní sekačka.



3. V neposlední řadě byl pro mne důvodem k výběru robotické platformy k travní sekačce krásný trávník v nově postaveném komplexu naší fakulty v roce 2006.

## 1.2 Cíl projektu

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s problematikou mobilních robotů a navrhnout robotickou platformu dle zadání k benzínové travní sekačce, aby byla schopna autonomního provozu. Návrh bude sestaven s ohledem na co největší přenositelnost na jiná zařízení podobná travním sekačkám (viz předchozí kapitola) a v budoucnu mi bude sloužit jako podklad pro samotnou konstrukci autonomní robotické travní sekačky.

V kapitole 2 je čtenář seznámen s vybranými již existujícími autonomními travními sekačkami dostupnými na českém i zahraničním trhu. V této kapitole jsem čerpal z informací dostupných na internetu. Kapitola 3 se věnuje samotnému návrhu robotické platformy. Je rozdělena na jednotlivé subsystémy robota. Každá tato část vedle faktů vztahujících se přímo k návrhu konkrétní robotické platformy obsahuje vždy i část teorie, uvádějící čtenáře do problematiky. Odkazy na zdroje informací, ze kterých jsem v této kapitole čerpal, jsou uvedeny v jednotlivých podkapitolách, především se ale jednalo o [5]. Závěrečná kapitola slouží ke zhodnocení dosažené práce a nastínění dalšího vývoje.

## 2 Autonomní travní sekačky již na trhu

Dříve než jsem se rozhodl sestavit robotickou platformu právě pro travní sekačku, provedl jsem průzkum trhu, abych zjistil, zda-li můj nápad nebude kopií nějaké již existující verze. Ačkoliv jsem to nečekal, tak na českém i zahraničním trhu se v současné době vyskytuje nejedna autonomní travní sekačka. Našel jsem různé typy od různých výrobců, ale tato skutečnost mě od mého nápadu neodradila, protože všechny existující autonomní travní sekačky jsou navrženy na podobném principu, odlišném od přístupu, který jsem si zvolil já.

V následujících podkapitolách jsou shrnuty některé vlastnosti vybraných autonomních travních sekaček v současné době (rok 2007) na trhu.

### 2.1 Husqvarna Automower



Obrázek 2.1: Husqvarna Automower

Veškeré informace o tomto modelu sekačky jsou dostupné na [2]. Sekačka Husqvarna Automower je první sekačkou svého druhu na světě. Na trhu jsou již její tři verze Automower 210C, 220AC a 230ACX. Tyto modely se od sebe liší výdrží baterií, možnostmi nastavení pomocí displeje s ovládacími tlačítky, zabezpečením před krádeží a v neposlední řadě způsobem dobíjení. Modely 220AC a 230ACX disponují samonaváděním k dobíjecí stanici umístěné kdekoli v operační oblasti sekačky.

Vymezení oblasti pro sečení se provádí položením vodiče kolem travnaté plochy. Tento vodič je spojen s dobíjecí stanicí a sekačkou vnímán, takže zajistí, že bude posečena pouze tato travnatá plocha. Položením vodiče okolo rostlin a květinových záhonů mohou být vytvořeny ostrovy. A pokud sekačka narazí na nějakou jinou překážku, jako například strom nebo velký kámen, prostě se bezpečně otočí a zvolí si nový směr, než bude pokračovat.

Pokud je sekačka Automower zvednuta ze země nebo se převrátí, žací kotouč se automaticky vypne. A navíc jsou žací břity umístěny v dostatečné vzdálenosti od okraje stroje tak, že když dojde ke kontaktu sekačky Automower s překážkou, sekačka se zastaví a zvolí jiný směr, aniž by způsobila jakoukoli škodu.

## 2.2 Friendly Robotics® Robomow®



Obrázek 2.2: Friendly Robotics® Robomow® model RL850 vpravo a RL1000 s dobíjecí stanicí vlevo

Veškeré informace o tomto modelu sekačky jsou dostupné na [3]. Jedná se o velmi podobný výrobek jako je model Automower (viz výše kapitola 2.1, dále už jen Automower). Stejně jako v Husqvarně i vývojáři z Friendly Robotics® vyvinuli model s manuálním napájením (RL850) a model dražší s automatickým napájením pomocí dobíjecí stanice (RL1000). Oba tyto modely disponují srovnatelným vybavením a ovládáním jako model Automower, avšak jsou tu pochopitelně i jisté rozdíly.

Vymezení oblasti pro sekání je prováděno stejným způsobem jako u modelu Automower, položením vodičů kolem travnaté plochy. Avšak způsob pohybu sekačky po vymezeném prostoru k posečení je velmi odlišný.

Model Automower se pohybuje po oblasti náhodně zvolenými směry. Vždy když narazí na překážku či vodič ohraničující oblast, kousek zacouvá a zvolí náhodně nový směr pohybu do chvíle, než detekuje další překážku. Tuto činnost opakuje, dokud není celý trávník posečený. Způsob pohybu sekačky Automower je dobře znázorněn v animaci vytvořené výrobcem dostupné na [2.1].

Model Robomow® se pohybuje mnohem systematičtěji. Nejdříve projede celý okraj operační oblasti po položeném vodiči a poté se pohybuje křížem krážem po celé oblasti v různých úhlech, dokud není celý trávník posekán. Způsob pohybu sekačky Robomov® je znázorněn v animaci vytvořené výrobcem [3.1].

Za zmínku stojí, že model Robomow® má možnost manuálního ovládání. Ovládací prvky robota (LCD display a tlačítka) jsou odnímatelné a robot může být ovládán pomocí směrových a dalších tlačítek.

Dále se modely Robomow® a Automower od sebe liší technickými, z pohledu autonomie nepodstatnými, údaji jako jsou výdrž baterií, šířka záběru, hlučnost, hmotnost a v neposlední řadě rozměry a cenou.

## 2.3 Shrnutí

Autonomní travní sekačky Husqvarna Automower a model Robomow® od firmy Friendly Robotics® nejsou na trhu jedinými výrobky, které dokáží za člověka posekat travnaté plochy. Existuje řada dalších modelů od různých firem, avšak princip je u všech velmi podobný a liší se pouze provedením a cenou.

Pokud se mi v budoucnu podaří na základě této bakalářské práce, tohoto návrhu, postavit kvalitní autonomní travní sekačku, jednoznačně nebude na trhu ve své kategorii ojedinělá. To ale ani není to, čeho bych chtěl dosáhnout. Mým cílem není prorazit na trh s revolučním nápadem, nýbrž zkonstruovat robotickou platformu, která bude co nejjednodušeji přenositelná na zařízení podobného typu (viz kapitola 1.1) jako je travní sekačka s možností dalšího vývoje.



např. různé mechanické ruce a ramena, které mohou uchopit a přemístit předměty. Samotné efektoři jsou řízeny *realizátorem plánů* a dohromady s ním tvoří *motorický subsystém* robota.

*Řídící subsystém* robota je nadřazen oběma zmíněným subsystémům a tvoří základní rozhodovací a řídicí systém, dá se říci, že tvoří inteligenci robota. Na základě analýzy informací získaných ze senzorů, ve spojení s modelem prostředí a zadaným cílem, tvoří plán akcí, které jsou realizovány motorickým subsystémem a vedou k vyřešení daného cíle. Vyspělost řídicího subsystému udává stupeň autonomy robota, jeho schopnost řešit samostatně různé situace a reagovat na informace a podněty z okolního prostředí.

Jednotlivé subsystémy robota musejí být navrženy a zkonstruovány v harmonické rovnováze. Senzorický subsystém s ohledem na typ prostředí, pro které je robot určen a ve kterém se bude s největší pravděpodobností pohybovat. Motorický subsystém s ohledem na pohyby a manévry, jaké by robot měl ovládat. A poté řídicí subsystém by měl co nejefektivněji využívat zmíněné subsystémy k co nejefektivnějšímu vyřešení zadaného cíle. Při návrhu robota by neměla být opomenuta problematika napájení a bezpečnosti.

Za velmi důležitou věc považuji hlavně bezpečnost provozu robota. Každý robot musí disponovat řadou bezpečnostních prvků, aby nedošlo k žádným vedlejším účinkům jeho práce, např. zničení věci neživé nebo v horším případě ublížení něčemu či někomu živému.

## 3.1 Senzorický subsystém

Návrh senzorického subsystému je komplexní proces, při němž je nutné zvážit mnoho faktorů, mezi které patří nejen vlastnosti senzorů, ale také pracovní prostředí robota, možnost vzájemného působení více senzorů, nároky na výpočetní možnosti řídicího systému atd.

Senzory robota lze rozdělit do dvou základních skupin podle vztahu k okolí robota. Jsou to senzory **interní** sloužící k měření parametrů subsystémů a hlavně k diagnostickým účelům jako je stav baterie, kontrola teploty kritických částí apod. Pro navigaci interní senzory poskytují informace o motorickém subsystému jako např. rychlost jednotlivých pohonů nebo výstupních členů (kola).

**Externí** senzory slouží k získávání informací o okolí robota. Pro účely navigace jsou to zejména informace o poloze a orientaci robota v globálním souřadném systému (viz kapitola 3.5 Navigace), a rozmístění a vlastnosti (rozměry a další relevantní informace pro daného robota) objektů v jeho okolí.

Podle způsobu měření lze externí senzory dále rozdělit na dotykové (taktilní) a bezdotykové. Dotykové jsou schopny měřit pouze pomocí dotyku s objektem, tím je značně omezen jejich dosah, typicky několik centimetrů v závislosti na způsobu úpravy spínače. Bezdotykové senzory používají k měření různá zařízení, nejčastěji se jedná o využití akustických vln a optického či elektromagnetického zařízení. Díky tomu je jejich dosah výrazně vyšší než u taktilních senzorů a to v závislosti na použitém principu činnosti. Pro použití mobilními roboty je tento dosah obvykle omezen na vhodnou mez zohledňující spotřebu elektrické energie senzoru a možnost využití získaných informací. Například radarové systémy mohou mít dosah až stovky kilometrů, ale pro mobilní roboty takové informace nemají význam, pro požadavky robota jsou tedy většinou využívány radary s dosahem v řádu jednotek až desítek metrů, jejichž informace jsou zcela postačující i pro roboty pohybující se vyšší rychlostí.

Při návrhu tohoto subsystému jsem řešení rozdělil na několik kroků, v nichž jsou postupně řešeny jednotlivé části se zřetelem na ostatní. První částí jsou vlastní senzory zvolené vhodně vzhledem k pracovnímu prostředí robota. Další částí jsou obslužná zařízení pro jednotlivé senzory tvořící část senzorického subsystému nazvanou *zpracování a výběr dat* (viz Obrázek 3.1). Poslední částí je problematika zabývající se komunikací mezi jednotlivými subsystémy robota. Touto částí se budu pro všechny subsystémy společně zabývat v kapitole 3.3 Řídicí subsystém.

### 3.1.1 Pracovní prostředí robota

Jak již v úvodu této kapitoly bylo řečeno, tento návrh je zaměřen na robotickou platformu určenou prioritně pro travní sekačku, ale s ohledem na co největší přenositelnost na zařízení podobná travním sekačkám. Z toho je možné odvodit vlastnosti pracovního prostředí, ve kterých bude tento robot pracovat.

Zcela jistě se bude jednat o vymezený, jistým způsobem ohraničený, pracovní prostor. U travní sekačky jsou tyto meze jasně stanoveny hranicí travnaté plochy, která zpravidla bývá ohraničena ať už obrubníkem, či přechodem v jiný typ povrchu např. hliněný chodník, vydlážděná cestička, atd. U všech dalších zařízení podobných travním sekačkám je pracovní prostor taktéž zpravidla velmi zřetelně vymezen. U zařízení určených k vnitřnímu používání, jako jsou vysavače apod. se bude s největší pravděpodobností jednat o ohraničení stěnami místnosti. U venkovních zařízení to bude podobné jako u travních sekaček v závislosti na typu činnosti.

Dále je třeba se zabývat možnou přítomností překážek v pracovním prostředí. Ať už ve formě stromů a kamenů u venkovních zařízení, tak např. nábytkem u zařízení určených k vnitřnímu použití.

Pro všechny zmíněné typy zařízení jsou charakteristiky pracovního prostředí společné. Sensorický subsystém musí být navržen tak, aby dokázal vnímat všechny možné překážky stejně jako hranice jistým způsobem vymezeného prostoru.

### 3.1.2 Volba senzorů

Na základě získaných znalostí z oblasti sensorové techniky ve spojení s charakteristikou pracovního prostředí jsem složení senzorů navrhl takto:

- prstenec sonarů zajistí detekci překážek na jistou vzdálenost a zároveň hranice pracovního prostoru - část ohraničenou zdí apod.
- vhodně umístěné taktilní senzory budou doplňovat prstenec sonarů, detekují vše, co sonary přeslechnou či chybně zhodnotí
- kamera snímající oblast ve směru pohybu robota bude primárně určena k detekci hranic pracovního prostoru
- dále kompas, určený výhradně pro navigaci

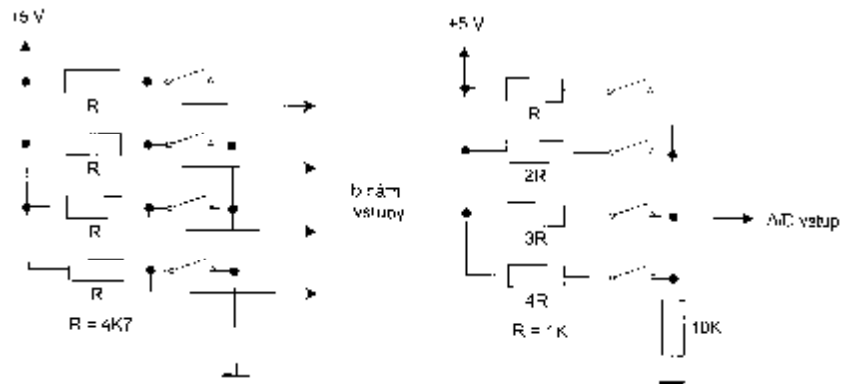
#### 3.1.2.1 Taktilní senzory

Taktilní senzory patří podle způsobu měření do kategorie senzorů dotykových, jsou schopné měřit pouze pomocí dotyku s objektem. Dále jejich způsob měření je označován za pasivní – vyhodnocují pouze přijaté záření z okolí na rozdíl od senzorů aktivních, vyhodnocujících vlastní odražené záření.

Jedná se o nejjednodušší a zároveň jedno z nejspolehlivějšího provedení senzoru, nejčastěji realizované kontaktním spínačem. Dotykem s překážkou dojde k aktivaci spínače, sepnutí/rozepnutí



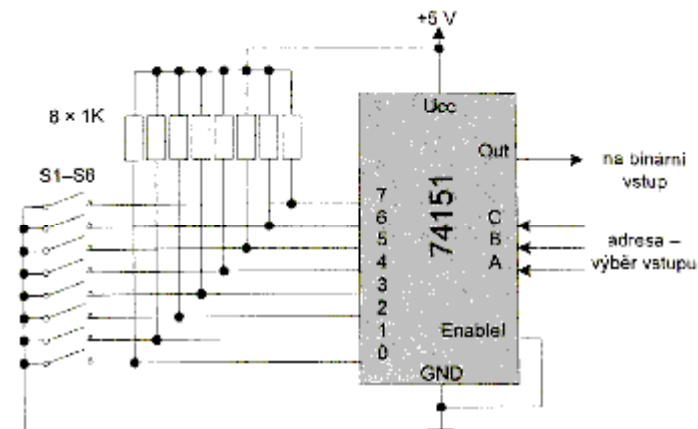
elektrického obvodu a ke změně logické úrovně, která je dále vyhodnocována. Takto koncipované řešení taktálních senzorů vyžaduje napojení každého spínače odděleně (viz obr. 3.2 převzatý z [5]).



Obrázek 3.2: Zapojení taktálních senzorů

Pokud není spínač aktivován, je na příslušném výstupu vysoká logická úroveň. Při aktivaci je nízká. Takto zvolené úrovně dovolují napojení vstupu přímo na přerušovací vstup daného mikrokontroléru, který bývá většinou aktivní právě na úroveň logické 0, nebo týlovou hranu. V případě, že obslužný mikrokontrolér nedisponuje dostatečným počtem binárních vstupů a má analogový vstup (A/D převodník), je možné taktálními senzory spínat odporovou síť tvořící odporový dělič se strukturou např. jako na obr. 3.2 vpravo. Z napětí odporového děliče lze jednoznačně určit, který/které spínače byly aktivovány.

Při omezeném počtu binárních vstupů, či nemožnosti použít analogový vstup daného mikrokontroléru, je také možné spínače připojit přes multiplexer (viz obr. 3.3 taktéž převzatý z [5]).



Obrázek 3.3: Připojení více spínačů pomocí multiplexeru 74151

Pro takto koncipované napojení senzorů potřebujeme mít na mikrokontroléru k dispozici pouze jeden binární vstup (pro výstup multiplexeru) a  $n$  binárních výstupů pro adresaci jednoho z  $2^n$  vstupů multiplexeru. Toto zapojení umožňuje i rozlišit aktivování více senzorů současně.

Úkolem taktálních senzorů umístěných po obvodu robota je detekovat kolizi, narozdíl od sonaru, který má za úkol případné kolizi předejít. V případě bezchybné funkce sonarového prstence

by teoreticky k žádné kolizi robota nemělo dojít, ale na informace od sonarů se nelze stoprocentně spolehnout (viz další podkapitola). Ať už z jakéhokoliv důvodu dojde k aktivaci taktilních senzorů, měly by být spuštěny nouzové postupy pro vyhnutí se překážce. Podle toho, které jednotlivé spínače byly aktivovány, lze odhadnout pozici překážky vzhledem k robotovi. I přesto, že pozici překážky nelze určit zcela přesně nýbrž jen velmi zhruba, jsou taktilní senzory velmi užitečné, bez kterých by robot neměl kritickou informaci o kolizi s objektem.

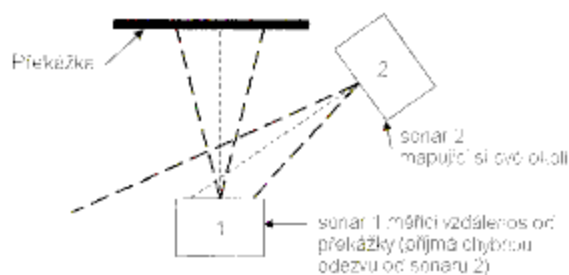
### 3.1.2.2 Sonar

Sonary jsou zařízení určené pro měření vzdálenosti k objektům. Pracují na principu vysílání vysokofrekvenčních zvukových vln (frekvence těchto akustických vln je větší než 40kHz) vysílačem a jejich opětovným příjmem. Vzdálenost objektu je potom přímo úměrná době letu vlny a lze ji snadno vypočítat. Díky relativně nízké rychlosti zvuku (ve vzduchu) je doba mezi vysláním a příjmem signálu výrazně vyšší než u radarových, laserových a také IR senzorů. Proto lze dosáhnout relativně vysoké přesnosti měření i bez extrémních nároků na vyhodnocovací obvody. Díky tomu je perioda měření vyšší (typicky 0.05 až 0.10 s), ale jejich cena poměrně nízká. Nevýhodou oproti ostatním aktivním bezdotykovým senzorům je i vysoké tlumení ultrazvukového signálu, což omezuje praktický dosah na desítky metrů, běžně do cca 10 m. Vzhledem k poměrně širokému rozptylu tohoto signálu není možno překážku detekovat zcela přesně co se týče její úhlové pozice.

S používáním ultrazvukových sonarů je spojena spousta situací, kdy můžeme dostat neočekávané a chybné výsledky:

Informace včetně obrázků převzaty z [6].

1. Měřené objekty (např.: koberce, závěsy) pohltí tak velkou část zvukové energie, což způsobí utlumení odražené vlny natolik, že je považována za šum.
2. Dojde k přeslechu. To může být způsobeno cizími vysokofrekvenčními zvuky jako např. zvonění klíčů, nebo pokud robot disponuje více sonary, může zachytit odpověď od jiného sonaru. Problém se řeší sériovým měřením těchto senzorů v prodlevách zaručujících utlumení signálu předchozího měření. Toto riziko hrozí i pokud je poblíž jiný robot, který zkoumá sonarem své okolí v tentýž okamžik.



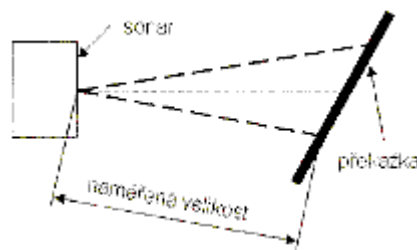
Obrázek 3.4: Chyba sonaru – přeslech

3. Snímaný objekt je ve velmi ostrém úhlu k sonaru. Ultrazvukový signál se v takovémto případě odrazí směrem dál od sonaru.



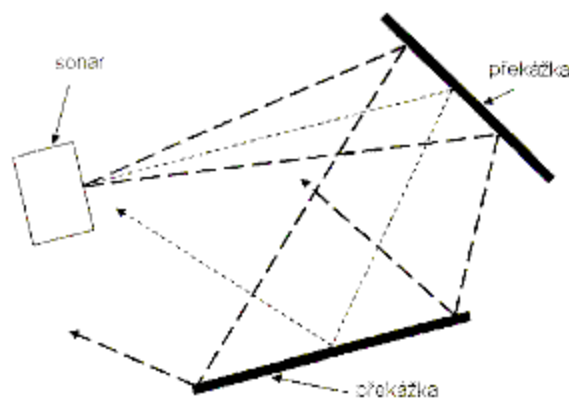
Obrázek 3.5: Chyba sonaru - příliš ostrý uhel

4. Snímaný objekt není kolmo k sonaru. K této situaci dochází často, ale chyba měření není nijak závažná, většinou spíše prospěšná. Jelikož je vysokofrekvenční vlna vysílána v kuželu pod určitým úhlem (záleží na typu sonaru), tak při dopadu se nejdříve odrazí ta část signálu, která je na kraji laloku a má nejkratší vzdálenost k objektu. Pokud je tento odražený signál dostatečně silný, aby nebyl považován za šum, bere se jako referenční a tím měření vzdálenosti končí. Dojde ke zkrácení vzdálenosti vzhledem k tomu, kdyby bylo měření prováděno vprostřed laloku.



Obrázek 3.6: Chyba sonaru - zkrácení měřené vzdálenosti

5. Dojde k vícenásobnému odrazu než vlna dorazí zpět k sonaru. Pokud se akustická vlna sonaru odrazí k dalšímu objektu, a pak teprve zpět k sonaru, zvětší se doba letu vlny, a tím i vypočítaná vzdálenost od objektu bude mnohem větší než skutečná.



Obrázek 3.7: Chyba sonaru - prodloužení měřené vzdálenosti

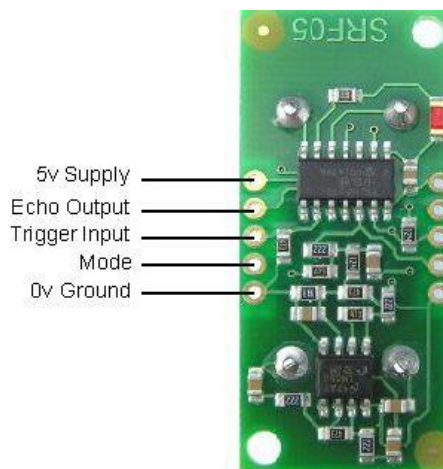
6. Nezanedbatelný je i vliv teploty vzduchu na rychlost šíření zvuku. Ta je  $v = 331$  m/s pro teplotu vzduchu  $t = 0^\circ \text{C}$  a  $v = 343$  m/s pro  $t = 25^\circ \text{C}$ .

### Volba konkrétního sonaru

Z předpokládaného nasazení robota jsem po podrobném průzkumu trhu došel k závěru, že nejlepším sonarem pro mé účely bude sonar *Devantech SRF05* dostupný např. na [7].

Základní vlastnosti:

Napájení:	5 V / 4 mA,
Kmitočet:	40kHz,
Dosah:	1 cm až 4 m v $55^\circ$ ,
Připojení:	úroveň TTL,
Měření:	délka pulsu úměrná vzdálenosti,
Rozměry:	$43 \times 20 \times 17$ mm.



Obrázek 3.8: Ultrazvukový dálkoměr Devantech SRF05

Ultrazvukový dálkoměr SRF05 je následovníkem SRF04, má zvýšený dosah měření ze 3 na 4 metry, více možností ovládání a v neposlední řadě se podařilo dosáhnout snížení ceny a odebíraného proudu při zachování zpětné kompatibility s předchozím modelem.

V novém módu ovládání (při propojení vstupu *mode* se zemí) umožňuje použít tentýž vývod ke startu měření i k časování odrazu, což může ušetřit cenný vývod na ovládacím kontroléru. SRF05 vkládá malou prodlevu před vysíláním měřícího pulsu, aby umožnil pomalejším kontrolérům uskutečnit povel k začátku měření.

Tento konkrétní typ sonaru jsem vybral na základě srovnání vlastností všech sonarů na trhu. Především jsem porovnával vlastnosti jako je cena a způsob připojení k řídicímu kontroléru. Dosah mají všechny sonary podobný, pro potřebu travní sekačky dostačující. Na rozměrech nezáleželo a

stačil mi údaj o jednom měření, nepotřebuji znát polohu dalších vzdálenějších překážek, jak to umí SRF08.

Prsteneček sonarů (více v kapitole 3.1.4 Rozmístění senzorů) bude detekovat překážky v dosahu sonaru (4 m) a podávat o nich informace řídicímu subsystému.

### 3.1.2.3 Kompas

Modul kompasu je do návrhu senzorického subsystému zařazen z jednoho důvodu a to jako prvek navigačního systému. Digitální kompas je velmi citlivý senzor detekující magnetické pole Země. Bude využíván tehdy, když navigační systém bude potřebovat údaj o natočení robota vzhledem ke světovým stranám (globálnímu prostředí).

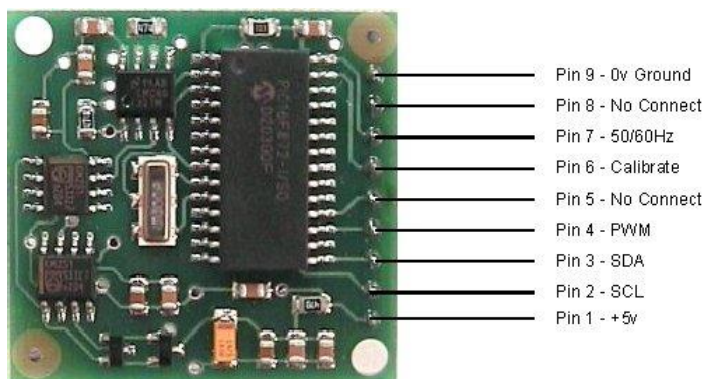
#### Volba konkrétního kompasu

Na trhu je nemálo různých modulů kompasů určených pro navigační účely v oblasti robotiky. Nejrozšířenějším a pro mé účely ideálním je *Devantech CMPS03* dostupný např. na [7]. Na internetu jsou publikovány příklady použití CMPS03 s řadou mikrokontrolérů [8].

Modul kompasu CMPS03 byl navržen speciálně pro robotické aplikace jako součást navigačního zařízení. Kompas používá magnetorezistivní senzor KMZ51, vyráběný firmou Philips, který má dostatečnou citlivost k indikaci magnetického pole Země. Ze signálu dvou navzájem kolmých senzorů se vypočítává směr horizontální složky geomagnetického pole.

Základní vlastnosti:

- Napájení: 5 V / 20 mA,
- Přesnost: 3° až 4° (záleží hlavně na kalibraci) s rozlišitelností 0.1°,
- Připojení: PWM nebo I<sup>2</sup>C,
- Měření: úměrně azimutu 0-360°: délka pulsu od 0.001s do 0.037s po 0.0001s, nebo obsahy registrů přes I<sup>2</sup>C s hodnotami 0-255 a 0-3599,
- Rozměry: 32 × 35 mm.



Obrázek 3.9: vývody kompasu Devantech CMPS03

Informaci o azimutu lze získat dvěma způsoby: z šířkově modulovaného signálu (PWM) na vývodu 4 nebo přes I<sup>2</sup>C rozhraní na vývodech 2 a 3 přečtením hodnot z registrů kompasu.

Modul kompasu je zapotřebí před nasazením v daných podmínkách zkalibrovat. Proces kalibrace je detailně popsán na [9.1]. Důležitým faktorem pro používání kompasu je skutečnost, že jakékoli cizí magnetické pole v blízkosti kompasu měření znehodnotí a kompas by se měl vždy nacházet v horizontální poloze.

Veškeré další informace o kompasu např. jak číst azimut z registrů po sběrnici I<sup>2</sup>C jsou dostupné na [9.2] a v češtině na [9.3].

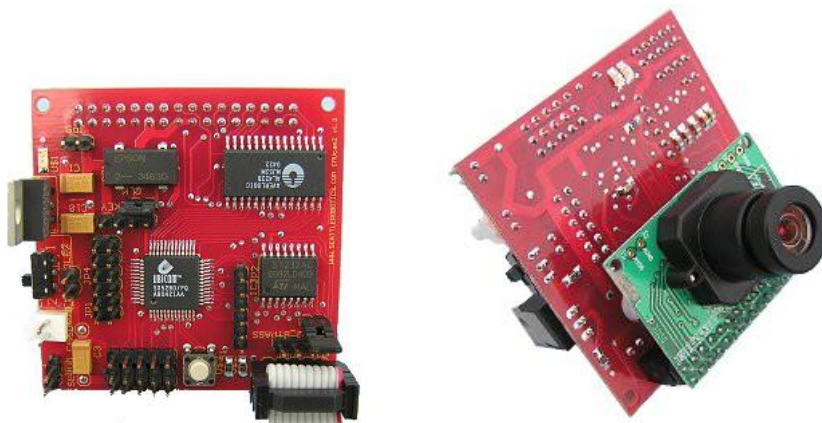
### 3.1.2.4 Kamera

Modul kamery má na robotu pouze jednu hlavní funkci a to podávat informace o okolí ve formě obrazu řídicímu systému. Ten obraz z kamery analyzuje a podle konkrétního nasazení robota pomocí různých algoritmů pro zpracování obrazu vyhodnotí, zda-li se v obraze nachází hranice pracovního prostoru, či nikoliv.

#### Volba konkrétní kamery

Na trhu se vyskytují různé moduly kamer určené speciálně pro účely robotiky. Některé z nich jsou velice zajímavé tím, co umí jejich modul už sám o sobě.

Například modul kamery *CMUcam2* vyvinutý na Universitě Carnegie Mellon v Pittsburghu [10], dostupný např. na [7] umí ovládat až 5 servomotorů na základě řady implementovaných algoritmů pro sledování definované barevné plochy, sledování pohybu objektů, hledání těžiště objektů a dalších, což tento modul činí velice užitečným pro robotické platformy pro sledování a následování objektů. Sledování a následování objektů však není předmětem zájmu navrhovaného robota v této práci. Stejně tak komunikační rozhraní RS232 této kamery neodpovídá způsobu komunikace mezi subsystemy, který jsem navrhl (viz obr. 3.14 v kapitole 3.3 Řídicí subsystem).

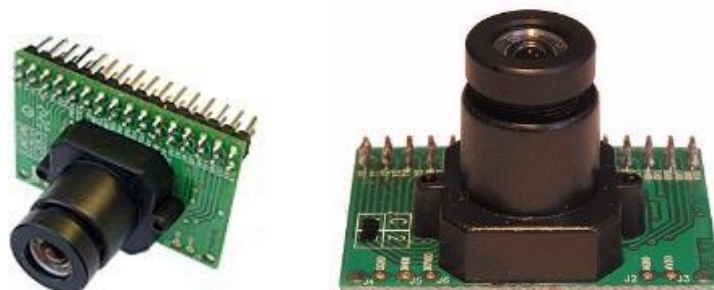


Obrázek 3.10: modul kamery CMUcam2

Mnohem výhodnější pro mé účely je *kamera C3088* dostupná např. na [11]. Disponuje stejným čipem OmniVision OV6620 jako výše zmíněný modul, avšak bez jakýchkoliv rozšiřujících obvodů s algoritmy, bez možnosti řídit servomotory a za nižší cenu. Jedná se pouze o samotnou kameru s digitálním výstupem a možností připojení k I<sup>2</sup>C sběrnici, což je ideální kombinace pro mé potřeby.

Základní vlastnosti:

Napájení:	5 V / 16 mA,
Rozlišení:	356 × 292 px,
Připojení:	I <sup>2</sup> C,
Rozměry:	40 × 28 mm.



Obrázek 3.11: kamera C3088

### 3.1.3 Obslužná zařízení pro jednotlivé senzory

Vhledem k modelu propojení jednotlivých subsystémů, který jsem navrhl (viz kapitola 3.3 obr. 3.14 Distribuovaný model řízení a sběru dat), budou na obslužné zařízení pro jednotlivé skupiny senzorů kladeny pouze tyto základní požadavky:

- Dostatečný počet vstupně výstupních digitálních pinů pro připojení všech senzorů z dané skupiny.
- sběrnice I<sup>2</sup>C

Ke zpracování údajů od sonarů a taktilních senzorů by měl stačit jeden mikrokontrolér pro každou z těchto skupin. Požadavkům vyhovují např. 8-bitové mikrokontroléry od výrobce Atmel řady ATmega8, které disponují I<sup>2</sup>C sběrnici. Atmel v jeho katalogových listech označuje tuto sběrnici jako Two-wire serial interface.

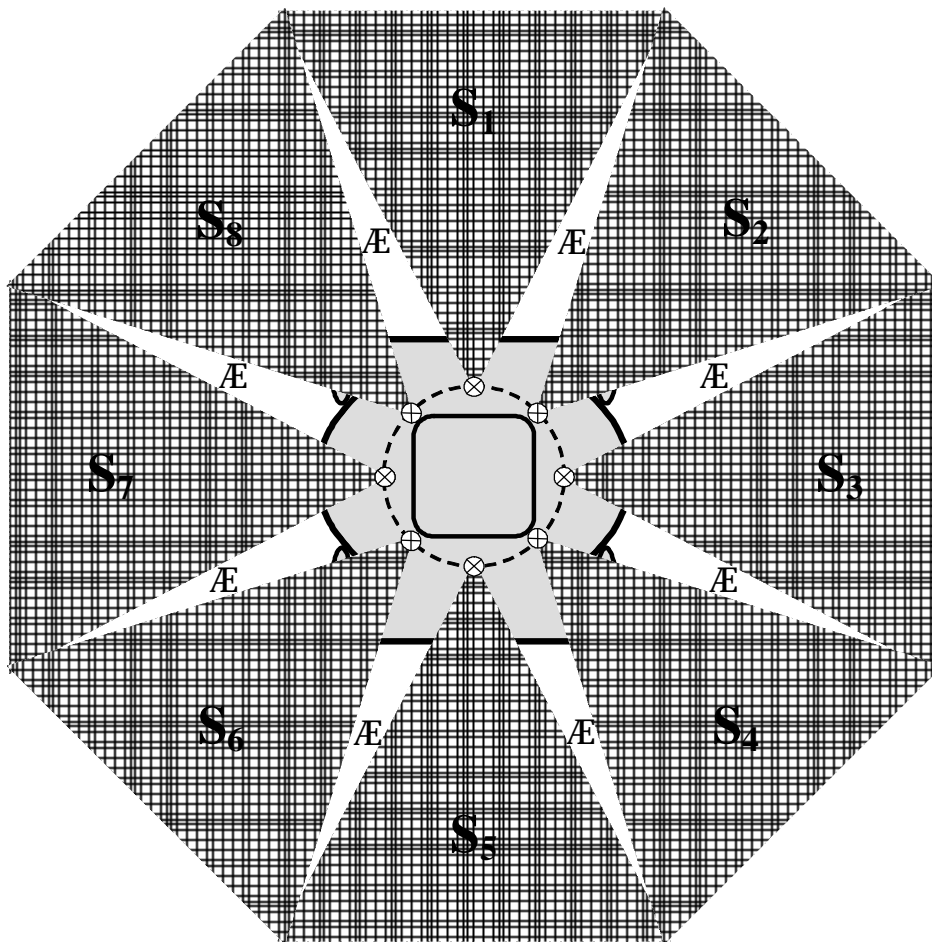
Kompas CMPS03 je možné připojit na I<sup>2</sup>C sběrnici přímo, takže nepotřebuje žádný mikrokontrolér k zprostředkování připojení ke sběrnici ani pro zpracování dat. Data z kompasu, informaci o azimutu natočení robota, si *mikrokontrolér master* od kompasu vyžádá přes I<sup>2</sup>C kdykoliv bude zapotřebí.

Kamera C3088 se dá připojit přímo ke sběrnici I<sup>2</sup>C stejně jako výše zmíněný kompas. Problém může nastat s propustností sběrnice při přetížení obrazovými daty z kamery. Pro potřeby detekce hranic pracovního prostoru však není nutné zpracovávat obraz z kamery příliš často (kamera zvládá až 60fps). Snížením počtu posílaných snímků po I<sup>2</sup>C sběrnici nedojde k jejímu zahlcení a bude dostatečně propustná i pro potřebu všech ostatních subsystémů.

### 3.1.4 Rozmístění senzorů

Senzory robota by měly být rozmístěny způsobem, aby řídicí systém měl přehled o překážkách v bezprostředním okolí robota ve všech směrech. V případě navrhovaného robota budou tuto funkci zastávat ultrazvukové sonary a taktilní senzory.

Vybraný ultrazvukový sonar SRF05 je podle technických specifikací schopen vysílat a přijímat svoje záření v šířce až  $55^\circ$  ( $22.5^\circ$  ve všech směrech od střední osy vlnění). Chceme-li pokrýt celý obvod robota v šířce  $360^\circ$ , musíme použít minimálně 7 sonarů. Výhodnější však bude použít sonarů 8 z důvodu sudého počtu a spolehlivějšího pokrytí. Sonary budou na robota rozmístěny v prstenci po  $45^\circ$  jak je znázorněno na obrázku:



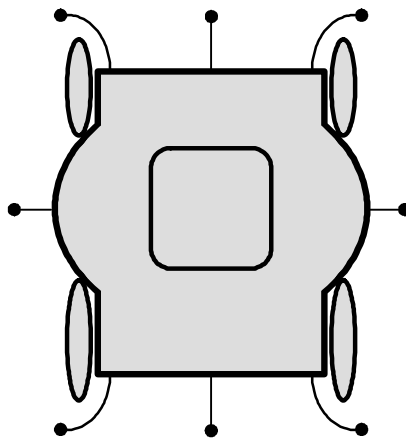
Obrázek 3.12: Rozmístění sonarů a jejich záření

Na obr. 3.12 je znázorněn typický tvar travní sekačky, 8 sonarů (vyznačených symbolem  $\otimes$ ) rozmístěných na prstenci (kružnice přerušovanou čarou) kolem motoru a jejich záření v šířce  $55^\circ$  (plochy  $S_1$  až  $S_8$ ). Dosah sonaru SRF05 jsou 4 metry, což je přibližně 8-krát šířka typické travní sekačky. Dosah sonarů viditelný na obrázku tudíž samozřejmě není v měřítku, je úmyslně zkrácen z praktických důvodů. Z obrázku je jasně patrné, že mezi zářeními jednotlivých sonarů vzniká zužující se prostor (vyznačen symbolem  $\emptyset$ ), kam sonary „nevidí“. Tento prostor, vzhledem k typickým



rozměrům travních sekaček, je těsně u sekačky široký zhruba 15 cm a dlouhý přibližně 50 cm (dále už se záření dvou sousedních sonarů protínají). Objekty v tomto prostoru jsou tudíž sonary nezachytitelné pouze v případě, že sekačka stojí na místě. Jakmile sekačka změní polohu, záření sonarů pokryje dříve nepokrytou oblast a případné objekty detekuje. Pro všechny případy je však sekačka vybavena i taktilními senzory.

Navržené rozmístění taktilních senzorů na travní sekačce je znázorněno na následujícím obrázku. Takto umístěné taktilní senzory by měly detekovat vše, s čím sekačka při svém pohybu může přijít v kontakt.



Obrázek 3.13: Rozmístění taktilních senzorů

Na umístění kompasu na sekačce je kladena pouze jedna podmínka: Musí být umístěn co nejdále od všech zdrojů magnetického pole. Ty totiž ovlivňují jeho měření, což je velmi nežádoucí.

Přesné umístění kamery ještě nemám detailně promyšleno. Bude záležet jaké algoritmy budou zvoleny na vyhledávání okrajů pracovního prostoru. V úvahu připadá i umístit kameru nad sekačku na horizontálně i vertikálně otočnou konstrukci. Tím by bylo možno kamerou pokrýt celou oblast kolem sekačky, záleželo by jen na zvoleném otočení a naklonění. Dostačující pravděpodobně bude kameru umístit s výhledem ve směru pohybu sekačky a namířenou dolů směrem k zemi, aby její zorné pole zabíralo prostor země před sekačkou.

## 3.2 Motorický subsystém

Motorický neboli pohybový subsystém slouží k fyzickému pohybu robota v prostředí. Je rozdělen na dvě části – *realizátor plánů* a *efektory* (viz obr. 3.1).

Realizátor plánů komunikuje s řídicím subsystémem (kapitola 3.3.1 Spodní úroveň řízení) a na základě jeho příkazů řídí efektory. Je tvořen mikrokontrolérem zajišťujícím komunikaci mezi řídicím subsystémem a elektronickými zařízeními pro vlastní ovládání elektromotorů. Tato zařízení se liší dle typu použitého elektromotoru (stejnoseměrné komutátorové motory, bezkomutátorové střídavé, krokové motory a další) a jejich úkolem je zajistit proudové, často i napěťové zesílení pro motory a mimo jiné i důležité odfiltrování nežádoucích rušivých impulzů, které se v elektromotorech tvoří.

Efektory provádějí zásahy do prostředí. Typickým příkladem efektoru je samotný elektromotor. Po připojení např. na kolo umožňuje robotovi pohyb.

### Vlastní koncepce motorického subsystému

Celý tento návrh autonomní travní sekačky je řešen s ohledem na co největší přenositelnost na způsobem práce podobná zařízení travním sekačkám. Motorický subsystém však nelze řešit tímto způsobem. Je nutné ho navrhnout s ohledem na co nejmenší zásah do původní konstrukce upravované travní sekačky. Při případném rozšíření této robotické platformy na další zařízení, ho bude nutné navrhnout a zkonstruovat s ohledem na charakter podvozku daného zařízení, který bude pravděpodobně od podvozku travních sekaček značně odlišný.

Všechny benzínové travní sekačky na trhu disponují čtyř-kolovým podvozkem. Liší se však způsobem přemístování. U levnějších typů benzínový motor obstarává pouze sečení poháněním žacího ústrojí. Všechna čtyři kola jsou v tomto případě pouze zavěšena na šasi, u lepších typů uložena v kuličkových ložiscích. Ale existují i tzv. samohodné travní sekačky neboli pojezdové, kde benzínový motor vedle žacího ústrojí pohání i zadní kola sekačky. Přední kola jsou i v tomto případě řešena stejným způsobem jak u typů bez pojezdu. Informace o travních sekačkách jsou dostupné např. na [16].

Dle mého názoru nejvhodnějším typem travní sekačky pro robotickou úpravu je typ bez pojezdu. Je nejen značně cenově dostupnější, ale navíc sestavení vlastního pohonného systému je dle mého názoru mnohem jednodušší než úprava původního pojezdu benzínové sekačky pro potřeby robota – zatáčení, couvání, apod. Na druhou stranu elektromotory sestavovaného pohonného systému, použité pro pohyb sekačky, vzhledem k hmotnosti benzínových travních sekaček, která se pohybuje kolem 25 kg, a odporu kol na travnatém povrchu, by kladly značné nároky na odběr elektrické energie. Tato skutečnost by značně znesnadnila výběr akumulátoru/ů pro napájení celé robotické

platformy. V každém případě by akumulátory mohly být dobíjeny pomocí alternátoru z hřídele benzínového motoru.

S touto problematikou je spjato mnoho komplikací, které jsou značně mimo můj obor. Konkrétní návrh a konstrukci motorického subsystému, včetně dimenzování výkonu motoru/ů a všech dalších aspektů, bych rád přenechal na studentovi VUT v Brně Fakulty strojního inženýrství [15], který by měl zájem se podílet na sestavení této autonomní travní sekačky.

## 3.3 Řídící subsystém

Řídící systém (ŘS) mobilního robota spolu s implementovaným software tvoří celou „inteligenci“ daného robota. Jeho hardwarová část musí být schopna kvalitativně i kvantitativně načíst informace od senzorického subsystému. Program tato data musí v reálném čase zpracovat a analyzovat a zajistit příslušné reakce akčních členů – motorického subsystému. Při návrhu vhodného typu řídicího systému je potřeba přihlídnout k zamýšlenému použití robota. Dalšími požadavky, které ovlivní koncepci ŘS, je co všechno má daný systém řídit.

Mezi parametry ovlivňující výběr typu ŘS také patří jeho rozměry, hmotnost, spotřeba elektrické energie, velikost napájecího napětí a v neposlední řadě jistě i cena. Při výběru je potřeba vzít v úvahu i možnosti rozšíření a cenu hardwarových a softwarových vývojových prostředků.

Činnost, kterou musí řídicí systém zabezpečit je také ovládání některých typů senzorů, např. výpočet vzdálenosti překážky detekované sonarem z jeho výstupního signálu apod. V mnou navrhované koncepci ŘS se zpracováním dat ze senzorů zabývá modul *Zpracování a výběru dat*, který je součástí senzorického subsystému (viz obr. 3.1).

Koncepce řídicího systému nemusí být založena pouze na jednom počítači nebo mikrokontroléru, který musí být schopen výkonnostně pokrýt veškeré požadavky dané aplikace. Jednotlivé požadované úlohy lze řešit odděleně tzv. distribuovaně. Tyto samostatné podsystémy pak řeší pouze omezené specializované úlohy, díky čemuž mohou být postaveny i na méně výkonných a levnějších systémech. Výhodou této koncepce také je, že v etapě vývoje daného zařízení lze na jednotlivých subsystémech pracovat odděleně, případně aplikaci postupně doplňovat o další subsystémy, nebo stávající subsystémy nahradit novými.

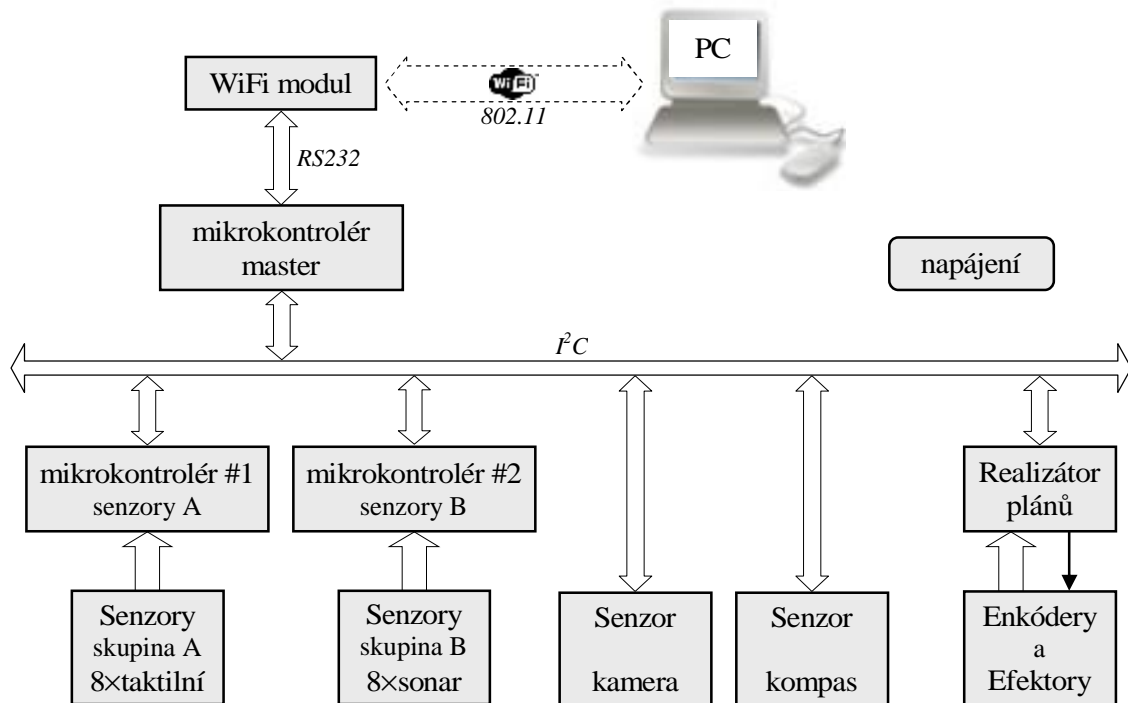
### Vlastní koncepce řídicího subsystému

Řídící systém pro autonomní travní sekačku, kterou se tato práce zabývá, jsem navrhl jak je znázorněno na obr. 3.14. Tato koncepce vznikla z ohledu na některé výpočetně a implementačně náročnější úlohy – např. zpracování a analýza obrazu z kamery, tvorba mapy, navigace apod. a zároveň z důvodu využití, dnes již snadno dostupné a téměř všude přítomné, bezdrátové sítě WiFi (vycházející se specifikace IEEE 802.11) v robotice. V tomto spojení, spojení robotiky a velmi rozšířené bezdrátové technologie WiFi, vidím do budoucna velký potenciál.

Na sekačce bude umístěna pouze spodní úroveň řízení a vazba na ni. Vyšší úroveň řízení bude tvořena PC a s robotem bude komunikovat bezdrátově.

Výhodou tohoto řešení je především to, že výpočetně náročnější úlohy a jejich vývoj a ladění – např. zmíněné zpracování a analýza obrazu, trénování neuronové sítě apod. se provádí na běžném PC včetně běžných vývojových nástrojů. Není potřeba přistupovat ke kompromisům cena/výkon plynoucích z výhradního použití mikropočítačů ať už při vývoji či finálním nasazení. Další výhodou

je možnost úpravy nastavení sekačky pomocí implementovaného uživatelského rozhraní i běžným uživatelem. Výhod tohoto řešení je bezesporu i mnoho dalších.



Obrázek 3.14: blokové schéma řízení a sběru dat

### 3.3.1 Spodní úroveň řízení

Spodní úroveň řízení bude implementována přímo na konstrukci sekačky a tvoří ji vše krom bezdrátově připojeného PC (viz obr. 3.14).

Hlavním prvkem této úrovně je *mikrokontrolér master*. Jeho úkolem je shromažďovat data od sensorického (zpracovaná data od sensorů) a motorického (zpracovaná data z enkodérů) subsystému a posílat je nadřazenému řídicímu systému – PC (horní úroveň řízení). Od nadřazeného řídicího systému poté přijímá úkoly pro motorický subsystém. Tyto úkoly překládá na konkrétní příkazy a po I<sup>2</sup>C sběrnici je posílá *Realizátoru plánů*.

Primárním úkolem této nižší úrovně řízení je sice pouze poslouchat a vykonávat příkazy od nadřazeného systému, které jsou tvořeny na základě odeslaných dat ze sensorů, ale jisté prvky řízení musí být implementovány i v rámci této úrovně samotné.

Typickým případem je kritický stav, když nastane chyba v bezdrátovém spojení s PC (horní úroveň řízení). V tomto případě mikrokontrolér master vyšle příkazy motorickému subsystému k zastavení motorů, dokud nebude komunikace obnovena.

Dalším případem je např. detekce překážky taktilními senzory. Tato situace je také poměrně kritická, jelikož nějaký objekt se dostal do bezprostřední blízkosti sekačky. Situace vyžaduje co

nejrychlejší reakci. V tomto případě pokyn pro zastavení motorů vyšle přímo mikrokontrolér #1 (viz obr. 3.14), který jako první kolizní situaci od taktálních senzorů detekuje.

Tato úroveň řízení zajišťuje pouze základní reakce robota na malé množství podnětů (vesměs kritických), dala by se přirovnat k reflexům člověka.

V souvislosti s rozdělením řídicího systému na více částí je spojena problematika jejich vzájemné komunikace. Z hlediska hardware se jedná o společnou datovou sběrnici a z hlediska software jde o komunikační protokol. Tento protokol bude implementován na míru všem zařízením připojeným ke sběrnici a bude jednoznačně určovat s jakými daty v jakém formátu se bude pracovat. Co se datové sběrnice týče, vybral jsem sběrnici I<sup>2</sup>C – více v následující podkapitole.

### 3.3.2 Datová sběrnice I<sup>2</sup>C

Sběrnice I<sup>2</sup>C (I2C-bus, Inter-IC-bus, z důvodu patentových poplatků ji někteří výrobci označují TWI-Two Wire serial Interface) je dvou vodičové datové propojení mezi jedním či několika procesory a periferními zařízeními, původně vyvinuta firmou Philips (původní specifikace od Philipsu [12.1]).

Všechna zařízení jsou připojena na téže sběrnici a jsou cíleně vybírána svými unikátními (v rámci jedné sběrnice) adresami. Adresy i data jsou přenášeny jedním vodičem (označován SDA) a na druhém vodiči (označován SCL) je pulz rychlosti komunikace.

Zařízení připojená ke sběrnici se dělí na zařízení typu Master a typu Slave podle jejich funkce. Zařízení typu Master může posílat data všem ostatním a stejně tak si může vyžádat data od všech ostatních zařízení. Naproti tomu zařízení typu Slave pouze poslouchá na sběrnici, jestli posílaná data nejsou určena právě jemu, a nebo jestli zařízení typu Master si od něj data nežadá. To je jediný případ, kdy zařízení typu Slave převezme sběrnici a posílá data, posílá je Masterovi, který si je vyžádal.

Komunikaci vždy zahajuje Master a určuje i rychlost komunikace časováním pulzu na vodiči SCL. Rychlost může být 100kbps (standard mode), 400kbps (fast mode) a 3.4Mbps (high-speed mode). Zařízení typu Slave však musí tuto rychlost podporovat, v opačném případě mohou komunikaci zpomalit (Masterovi oznámit, že nestíhají). Při volbě konkrétních zařízení je tudíž vhodné brát ohled i na jimi podporovanou rychlost a poté při komunikaci s tím počítat.

Obě linky je možno provozovat obousměrně, jsou nezávisle napojeny přes dva zvyšovací (pull-up) odpory k napětí typicky 5V a mohou být každým zařízením na sběrnici staženy na nízkou úroveň pomocí výstupu s otevřeným kolektorem.

Sběrnice umožňuje velmi jednoduché propojení mezi několika integrovanými obvody a bezproblémové dodatečné rozšíření, což byl můj hlavní důvod k použití právě této sběrnice.

Další informace jsou dostupné na [12.2], [12.3] a [12.4].

### 3.3.3 Horní úroveň řízení

Horní úroveň řízení zajišťuje celkové chování robota. je tvořeno standardním PC a sekačkou, resp. spodní úrovní řízení, komunikuje přes bezdrátové rozhraní WiFi.

Na základě programu (implementovaných algoritmů pro tvorbu mapy apod.) a informací od senzorů rozhoduje o směru a rychlosti pohybu robota jako celku. Řeší všechny aspekty navigace a posílá jednotlivé úkoly pro motorický subsystém přes bezdrátové rozhraní do mikrokontroléru master.

Tato úroveň řízení zajišťuje autonomní řízení robota.

### 3.3.4 WiFi modul

Při návrhu bezdrátového rozhraní pro komunikaci mezi platformou na sekačce a PC jsem se rozhodoval mezi technologií Bluetooth (standard IEEE 802.15.1) a WiFi (standard IEEE 802.11).

Cenová dostupnost modulů obou technologií je přibližně stejná, pohybuje se kolem 150 USD (přibližně 3000 Kč). Cena ale nebyla rozhodující. Rozhodujícím faktorem pro mě byl relativně krátký dosah technologie Bluetooth, oproti dnešnímu rozšíření a možnostech dosahu sítí založených na technologii WiFi.

Tato práce se zabývá návrhem robotické platformy pro travní sekačku s ohledem na rozšíření použitelnosti na další podobná zařízení. Každopádně pracovní prostor, kde se bude toto zařízení pohybovat, bude nutné pro bezproblémovou komunikaci s PC celý pokrýt signálem. Když srovnáme možnosti pokrytí např. zahrady rodinného domku signálem Bluetooth a signálem WiFi, tak výhody použití technologie WiFi jsou jasně patrné:

- Jednoduché pokrytí i větších ploch díky snadné dostupnosti různých typů antén, přístupových bodů a příslušenství.
- Spousta lidí už své zahrady pokryté WiFi signálem mají z důvodu např. používání přenosného počítače připojeného k internetu.
- Robotická platforma připojená do sítě WiFi se stává rovnocenným síťovým prvkem jako zmíněné řídicí PC. Možnosti rozšíření jsou tudíž obrovské – robotická platforma může být například ovládána přes internet, apod.

#### Volba konkrétního WiFi modulu

Na základě průzkumu trhu jsem vybral modul WiPort™ od výrobce Lantronix® [13.1], který na rozdíl od ostatních modulů podporuje všechny používané protokoly, způsoby zabezpečení apod. v běžných bezdrátových sítích založených na standardu WiFi. Neklade tudíž žádné omezující požadavky na síť, do které se připojuje, což je velká výhoda.

Základní vlastnosti:

Napájení:	3.3 V,
Spotřeba:	normální výkon, žádná data - 300 mW / normální výkon, datový tok 230kbps - 950mW / maximální výkon, žádná data - 580mW / maximální výkon, datový tok 922 kbps - 1300mW, maximální odběr proudu 650 mA,
Standard:	IEEE 802.11b (11 Mbps), 802.11g (54 Mbps)
Kmitočet:	2.412 – 2.484 GHz,
Výstupní výkon:	14dB,
Dosah:	záleží na typu antény,
Připojení:	RS232 (softwarově nastavitelná rychlost od 0.3 kbps do 921.6 kbps),
Podporované protokoly:	ARP, UDP, TCP, Telnet, ICMP, SNMP, DHCP, BOOTP, Auto IP, HTTP, SMTP, TFTP,
Zabezpečení:	WEP 64/128-bit, WPA-PSK, TKIP, (AES u modelu WP2002000G-02),
Správa:	webové rozhraní, Telnet a přes rozhraní RS232,
Rozměry:	33.9 x 32.5 x 10.5 mm.



Obrázek 3.15: bezdrátový WiFi modul WiPort™ od výrobce Lantronix®

Další informace o tomto modulu, včetně katalogového listu, uživatelské příručky, dodávaného software, atd. jsou dostupné na stránkách jednoho z dodavatelů [13.2].



## 3.4 Problematika napájení

Každé elektronické zařízení – tedy samozřejmě i mobilní robot potřebuje nějaký zdroj energie, ze kterého budou napájeny jeho systémy. V etapě ožívování robota je možné použít externí stabilizovaný zdroj napětí. Poté při jeho reálném nasazení však zpravidla není vhodné, aby byl robot napájen externím zdrojem a byl s ním propojen vodiči. Robota je tedy nutné napájet z vlastní energetické jednotky. Nejrozšířenějšími zdroji elektrické energie jsou v této oblasti buď obyčejné baterie (primární články) a nebo akumulátory (sekundární články). Mezi nejdůležitější parametry při volbě vhodného typu článku jsou maximální proudová zatížitelnost (důležitá zejména u modulů s velkým odběrem proudu – nejnáročnější v tomto ohledu je typicky pohonný subsystém), kapacita, velikost vnitřního odporu, rychlost samovybití, životnost, teplotní podmínky okolí, počet nabíjecích cyklů, paměťový efekt při nabíjení a v neposlední řadě samozřejmě rozměry, hmotnost a cena.

Baterie (primární články) se mohou použít jen jednou. Elektrická energie se v nich tvoří nevratnými chemickými procesy. Tím se liší od akumulátorů (sekundárních článků), které lze nabíjet a vybité opakovat. Podle druhu materiálu používaného k výrobě a vlastní funkci se baterie dělí na zinko-chloridové, dokonalejší alkalické a ještě dokonalejší, nejnovější lithiové. Lithiová baterie využívá lithium s vysokým ionizačním potenciálem a proto má oproti starším typům baterií přibližně o 0.2 V vyšší napětí, které navíc s vybitím klesá pomaleji. Další dobrou vlastností těchto baterií je, že spolehlivě pracují i v prostředí s nízkými teplotami. Vzhledem k ceně primárních článků, která v dnešní době není nijak zvlášť příznivá oproti ceně akumulátorů, se primární články moc nepoužívají a dává se přednost obnovitelným zdrojům energie - akumulátorům.

Akumulátory (sekundární články) se stejně jako jejich klasické protějšky vyrábějí v různých tvarech a provedeních. Navíc se tento typ článků vyrábí i v zcela odlišných konstrukcích, tvarem přizpůsobených speciálně danému typu zařízení, například pro mobilní telefony, notebooky apod. Podle druhu materiálu, ze kterého se vyrábí, se dělí na nejběžnější nikl-kadmiové (NiCd), nikl-metalhydridové (NiMH), lithium-iontové (LiIon) a z automobilů známé klasické olovené akumulátory. V poslední době se začaly prosazovat také akumulátory lithium-polymerové (LiPol).

Výhodou NiCd akumulátoru je jeho nízká cena, ale v současné době je z ekologických důvodů silně vytlačován ostatními typy, které neobsahují toxické materiály. Napětí článku je stejné jako u NiMH 1.2 V.

NiMH akumulátory mají na rozdíl od NiCd vyšší kapacitu, ale trpí větším samovybitím. Jejich životnost, vzhledem k jejich principu, se velmi zkracuje při vyšších teplotách, které mohou nastat např. při přebíjení. Stejně jako typ NiCd trpí NiMH akumulátory paměťovým efektem, který má za následek snížení kapacity při nabití neúplně vybitého akumulátoru. V dnešní době jsou již na trhu nabízena provedení těchto článků bez paměťového efektu.

LiIon akumulátory patří spolu s LiPol k nové generaci akumulátorů. Netrpí samovybitím, nemají paměťový efekt a napětí spolu s vybitím klesá plynuleji. Napětí článku je 3.7 V. LiIon jsou zatím omezeny relativně malými odběrovými proudy a dlouhou dobou nabíjení. Používají se především v mobilních telefonech. Naproti tomu LiPol akumulátory jsou schopné dodávat i proudy desítek ampér a mají ještě lepší vlastnosti než LiIon. Nemusejí být zapouzdřeny v kovovém obalu, jsou tvořeny gelem, díky čemuž mohou mít prakticky libovolný tvar. Poměrně vysoká je však zatím cena obou těchto vyspělých typů akumulátorů.

Konkrétní řešení napájecího modulu pro tuto autonomní travní sekačku bude nutné vytvořit na základě požadavků motorického subsystému (kapitola 3.2). Pokud bude pohon sekačky tvořit benzínový motor, budou nároky na zdroj napětí pro robotickou platformu poměrně malé. V druhém případě, když pohon budou tvořit elektromotory, bude třeba na sekačku umístit značně odlišný typ akumulátoru, dle konkrétních požadavků elektromotorů. V každém případě však zvolený akumulátor bude možné dobíjet pomocí alternátoru z hřídele benzínového motoru.

## 3.5 Navigace

Jestliže po mobilním robotovi požadujeme schopnost autonomního chování, musí být robot vybaven navigačním subsystémem. Mezi typickou úlohu navigace patří poskytnutí informací potřebných k přemístění se z bodu A (výchozího) do bodu B (cílového). Úkol je však omezen řadou podmínek, z nichž základní je zabránit kolizím s překážkami.

V případě autonomní robotické sekačky bude hlavním úkolem navigace zajistit, aby byla posečena celá travnatá (pracovní) plocha. Pro určení optimální trajektorie slouží různé plánovací algoritmy řešící pohyb robota v prostoru a vůči překážkám v jeho okolí. Aby mohl řídicí subsystém (kapitola 3.3) určit vhodnou trajektorii, potřebuje získat od navigačního a sensorického subsystému (kapitola 3.1) adekvátní informace – jde o polohu a orientaci robota vůči globálnímu, případně lokálnímu souřadnému systému, a tvar okolí robota. V případě navrhovaného robota v této práci informace o tvaru okolí zajistí prstenec sonarů, orientaci zná kompas a o zjištění polohy se postará navigační subsystém. V této kapitole jsem čerpal především z [5].

Vlastní navigační systém se obvykle dělí na dvě úrovně:

### 3.5.1 Lokální navigace

Lokální navigace je nadřazena globální a jejím úkolem je zabránit kolizím s okolními objekty a tyto kolize řešit. Lokální navigační systém pracuje obvykle v souřadném systému robota a zpracovává informace o překážkách ve vzdálenosti od robota omezené dosahem sensorů. Tato vzdálenost musí být taková, aby poskytla dostatek času řídicímu systému na identifikaci překážek a určení nekolizní trajektorie s ohledem na fyzické možnosti robota (jeho motorického subsystému).

Dosah zvolených sonarů SRF05 (viz kapitola 3.1.2.2) je 4 m a vzhledem k malé rychlosti, kterou se sekačka bude pohybovat, bude mít řídicí subsystém jistě dostatek času na reakci a změnu směru pohybu do nekolizní dráhy.

### 3.5.2 Globální navigace

Úkolem globální navigace je dopravit robota z výchozího do cílového bodu. Pojem globální souřadný systém je souřadný systém zvolený tak, aby obsahoval celý pracovní prostor robota – např. travnatá plocha, místnost apod., nikoliv celý svět. Pro zjednodušení bývá typicky orientován shodně s geografickým severem.

Problém globální navigace spočívá v určení polohy a orientace robota vzhledem k globálnímu souřadnému systému. Po určení této polohy se určí optimální trajektorie pohybu a konkrétní povely

předají motorickému subsystému. K určení polohy robota jsou využívány různé metody, které lze podle typu globálního souřadného systému rozdělit na dva typy – relativní a absolutní navigace.

Pro navigaci robota je obvykle využíváno několik navigačních systémů vhodně doplňujících své vlastnosti a omezujících tak chybu určení polohy. Nejběžnější je kombinace systémů absolutní a relativní navigace. Využívá se zejména proto, že umožňuje částečnou nezávislost na absolutní navigaci a eliminuje její náhodné chyby. Tak lze navigaci výrazně zvýšit přesnost a spolehlivost.

### **3.5.2.1 Relativní navigace**

Relativní navigace využívá k určení polohy parametry měřitelné na robotovi bez přímého vztahu k okolí. Pomocí těchto parametrů se určuje změna polohy vůči výchozímu bodu, nebo bodu, kde byla naposledy určena absolutní poloha robota. Výchozí bod (pozice robota před započítáním prvního pohybu) je obvykle shodný s počátkem globálního souřadného systému.

Nevýhodou této metody je neustálý růst chyby určené polohy způsobený přítomností chyb v jednotlivých přírůstcích. Proto je tato metoda samostatně použitelná pouze pro relativně krátké trajektorie v závislosti na přesnosti měření. Ve většině případů je v praxi kombinována se systémy absolutní navigace sloužícími k minimalizování této chyby.

### **Odometrie**

Jde o nejběžnější metodu patřící do relativní navigace. Spočívá v tom, že je znám kinematický model robota a pomocí tohoto modelu v závislosti na změně polohy akčních členů (typicky kol) se určuje změna polohy robota. Nejeftektivnější využití této metody je u kolových robotů, u nichž lze zajistit stálý kontakt s povrchem a bez prokluzu. V případě, že toto zajistit nelze, je použití této metody zatíženo chybou, což prakticky znemožňuje její použití, omezuje její použití na kratší vzdálenosti, či vyžaduje instalaci dalších senzorů detekujících prokluz apod.

Nejčastěji se k účelům odometrie používají inkrementální senzory – tzv. enkodéry, neboli senzory pro detekci pohybu kol. Více např. na [14].

### **3.5.2.2 Absolutní navigace**

Absolutní navigace určuje polohu vůči globálnímu souřadnému systému s využitím referenčních bodů se známou polohou v tomto globálním souřadném systému. Tyto metody pak určují polohu robota vzhledem k těmto bodům. Tyto body mohou být umělé – např. barevné značky na zdech, na podlaze, nebo přirozené – např. rohy místností, stromy na travnaté ploše apod.

### 3.5.3 Tvorba mapy

Důležitým prvkem navigace navrhované autonomní travní sekačky bude tvorba mapy pracovního prostředí. Veškerá získaná data pomocí senzorů o okolním prostředí robota budou do této mapy zanesena a na jejich základě budou plánovány veškeré pokyny pro motorický subsystém.

Vlastní mapa bude tvořena pravidelnou mřížkou, kde každé políčko (odpovídající určité míře v reálném prostoru) bude obsahovat hodnotu reprezentující pravděpodobnost, zda je dané políčko v prostoru obsazené nebo prázdné. Jedná se tzv. **mřížku obsazení**. Stejně jako údaje o překážkách a okrajích pracovního prostoru budou v mřížce obsazení uvedeny i údaje o oblastech již posečených (kde sekačka projela), a zatím neposečených (volné oblasti kolem sekačky).

Cílem práce travní sekačky je posekat celou travnatou plochu. Z toho plyne cíl pro navigaci autonomní travní sekačky – přemísťovat sekačku tak, aby se vyskytovala nejméně jednou na všech místech pracovního prostoru. Jedná se o tzv. objevování.

Problematika **objevování** řeší otázku *Kde jsem ještě nebyl?* V průběhu mapování pracovního prostoru robot prozkoumává své okolí, přičemž v mřížce obsazení zůstávají místa, která nejsou ani obsazená ani volná, protože o nich robot ještě neměl možnost rozhodnout - nebyla změřena sonarem, nacházela se ve stínu překážky (sonar SRF05 podává informace o nejbližší nalezené překážce, z toho důvodu je prostor za detekovanou překážkou, ačkoliv v dosahu sonaru, nezpracován), apod. Tato místa jsou označena za neprozkoumaná a robot se následně rozhoduje, které z těchto neprozkoumaných oblastí vybere jako další cíl k prozkoumání. Existuje řada metod používaných při objevování, které velice efektivně vedou ke zmapování celého prostoru. Pro potřeby autonomní travní sekačky však musí být zohledněn výskyt nejen zatím nezmapovaných oblastí, ale především zatím neposečených. Z tohoto důvodu bude nutné implementovat důmyslnou metodu vycházející z běžných metod objevování, avšak upravenou pro potřeby travní sekačky.

Je zřejmé, že než bude celá pracovní plocha posečena (sekačka projede celou oblast), bude se sekačka nacházet mnohokrát na stejném místě a především stejné překážky (např. stromy apod.) bude detekovat z různých stran a vícekrát. Tohoto bude využito k aktualizaci a zdokonalování tvořené mapy. Bude jen zapotřebí implementovat vhodnou metodu, která bude rozhodovat, jakému měření dá přednost, když dojde k různým výsledkům pro stejnou oblast souřadného systému. I k tomuto účelu, vedle detekce okrajů pracovního prostoru, by mohla být vhodně využita kamera (viz kapitola 3.1.2.4).

Nejefektivnější způsob práce autonomní travní sekačky by byl dosažen, pokud by byla posečena celá travnatá plocha a sekačka by se během práce nenacházela na žádném místě více než jednou. Tohoto lze dosáhnout u travnatých ploch jednoduchých tvarů, avšak u ploch s řadou překážek a komplikovanějších tvarů je to prakticky nemožné. Efektivitu práce sekačky však je možné ovlivnit mnoha způsoby. Především půjde o efektivitu implementovaných metod pro plánování trajektorie, vedoucí k posečení celé plochy, na základě údajů z mapy. Znalost mapy (pracovního prostředí) již před započítím práce by jistě přispělo kladně k celkové efektivitě pohybu sekačky.

Získání mapy pracovního prostředí předem je možné dosáhnout dvěma způsoby. Prvním způsobem je zmapování okrajů pracovního prostředí samotnou sekačkou, jako první pohyb po trávníku. Sekačka bez jakýchkoliv znalostí pracovního prostoru na začátku své práce pojedje rovně, dokud nenarazí na okraj pracovního prostoru a jelikož tato hranice musí být spojitá, bude ji následovat, dokud se nedostane zpět na místo, kde na ni poprvé narazila. Druhou možností bude vložení uživatelem vytvořené mapy do navigace robota pomocí uživatelského rozhraní na PC, které je součástí řídicího subsystému. Druhá možnost může být velmi efektivní v případě, že uživatel vloží do navigačního systému podrobnou a přesnou mapu (vytvořenou např. na základě půdorysu pozemku), ve které jsou zaneseny i překážky apod. Na druhou stranu je tato možnost velmi nebezpečná. V případě, že uživatelem vložená mapa nebude souhlasit s realitou, musí tuto skutečnost robot odhalit a mapu přestat používat. V každém případě údaje s největší prioritou budou vždy údaje získané robotem samotným.

# Závěr

Body zadání byly splněny. Prostudoval jsem teorii o mobilních a inteligentních robotech, ze které jsem vycházel při návrhu jednotlivých subsystémů (kapitoly 3.1 až 3.5) a při výběru konkrétních komponentů, použitelných pro realizaci navrhované robotické platformy pro autonomní travní sekačku. Ke všem subsystémům robotické platformy je vedle konkrétních faktů pro návrh autonomní travní sekačky uvedena vždy i odpovídající část teorie. Práce tudíž může sloužit i k informování čtenáře o základních principech robotů.

Největším přínosem pro mě bylo získání jistého přehledu v oblasti robotiky. Seznámil jsem se s problematikou všech subsystémů, kterými roboti disponují. Díky tomu jsem si uvědomil, kterým směrem bych se v následujícím studiu chtěl ubírat a na co se soustředit. Velkým přínosem pro mě také bylo získání povědomí v oblasti robotiky o současných celosvětových trendech a projektech.

Další vývoj této práce je jednoznačný. Na základě tohoto návrhu se pokusím robotickou platformu pro autonomní travní sekačku zkonstruovat. Jsem přesvědčen o tom, že v etapě vývoje narazím na spoustu komplikací, na které jsem při tvorbě tohoto návrhu nepomyslel, a řadu faktů zmíněných v tomto návrhu budu nucen z důvodu jistých komplikací upravit. Konstrukce komplikovanějších robotů je více oborová záležitost a hlavně předmět týmové spolupráce. Již nyní navazuji kontakty se studenty VUT v Brně Fakulty strojního inženýrství a dalšími lidmi, kteří se specializují na jisté problémy robotiky a mají zájem se na projektu autonomní travní sekačky podílet. Věřím, že sestavím tým, který všechny problémy dokáže vyřešit a projekt úspěšně dokončit.

# Literatura

- [1] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: *Robot*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Robot>>
- [2] Husqvarna: *Automower*. [online], [cit. 2007-05-11]. URL <<http://www.automower.cz>>
- [2.1] Husqvarna: *Předvedení sekačky Automower*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.automower.cz/node155.aspx>>
- [3] Robotics®: *Robomow®*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.friendlyrobotics.com/robomow/>>
- [3.1] Friendly Robotics®: *Robomow® - More information*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <[http://www.friendlyrobotics.com/video/robomow-mowing\\_method.mpeg](http://www.friendlyrobotics.com/video/robomow-mowing_method.mpeg)>
- [4] FIT VUT v Brně: *materiálů k přednáškám předmětu Robotika*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<https://www.fit.vutbr.cz/study/courses/ROB/private/>>
- [5] Novák, P.: *Mobilní roboty*. BEN – technická literatura 2007, 248 stran, ISBN 80-7300-141-1
- [6] Valouch, T.: *Komplexní zpracování senzorických údajů*. Bakalářská práce, FIT VUT v Brně, 2006.
- [7] WWW: *Devantech Ltd*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.robot-electronics.co.uk/>>
- [8] WWW: *Software examples for popular controllers*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.robot-electronics.co.uk/shop/Examples.htm/>>
- [9.1] WWW: *CMPS03 calibration documentation*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <[http://www.robot-electronics.co.uk/htm/cmeps\\_cal.shtml](http://www.robot-electronics.co.uk/htm/cmeps_cal.shtml)>
- [9.2] WWW: *CMPS03 documentation*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.robot-electronics.co.uk/htm/cmeps3doc.shtml>>
- [9.3] WWW: *CMPS03 katalogový list v češtině*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <[http://www.hobbyrobot.cz/PDF/CMPS03\\_cz.pdf](http://www.hobbyrobot.cz/PDF/CMPS03_cz.pdf)>
- [10] WWW: *Carnegie Mellon University*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.cmu.edu/>>
- [11] WWW: *HOBBYROBOT*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.hobbyrobot.cz/sensors.htm>>
- [12.1] Philips: *The I<sup>2</sup>C-bus Specification, verze 2.1, leden 2000*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <[http://www.nxp.com/acrobat\\_download/literature/9398/39340011.pdf](http://www.nxp.com/acrobat_download/literature/9398/39340011.pdf)>
- [12.2] David Hankovec: *Sběrnice I2C, o co jde a jak pracuje*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.dhservis.cz/iic.htm>>
- [12.3] Robotika.cz, Průvodce: *Komunikace - předávání informací mezi čipy*. [online], [cit. 2007-05-11]. URL <<http://robotika.cz/guide/comm/>>



- [12.4] Tomáš Matoušek: *I<sup>2</sup>C bus overview*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://tmd.havit.cz/Papers/I2C.pdf>>
- [13.1] Lantronix®: *WiPort™*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.lantronix.com/device-networking/embedded-device-servers/wiport.html>>
- [13.2] Alpha Micro Components Ltd: *specifikace dodávaného produktu WiPort*. [online], [cit. 2007-05-11]. URL <<http://www.alphamicro.net/components/product~line~11~id~245.asp>>
- [14] Robotika.cz, Průvodce: *Enkodéry*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://robotika.cz/guide/encoders/>>
- [15] WWW: *VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.fme.vutbr.cz/>>
- [16] Mountfield: *Rotační sekačky*. [online], [cit. 2007-05-11].  
URL <<http://www.mountfield.cz/sekacky-rotacni/>>

# Seznam příloh

## *Příloha 1: Obsah přiloženého CD*

- V kořenovém adresáři přiloženého CD je uložena tato textová forma bakalářské práce ve formátu PDF (Portable Dokument Format) a RTF (Rich Text Format).
- Katalogové listy (datasheets) k jednotlivým součástkám uvedeným v textu jsou uloženy ve složce /datasheets/ a pojmenované vždy jako číslo kapitoly, ke které se vztahují.
- Dostupné manuály k jednotlivým zařízením zmíněným v textu a různé další dostupné informativní materiály jsou uloženy ve složce /manuals/ a pojmenované také vždy jako číslo kapitoly, ke které se vztahují.