

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta



Autonomní robot pro měření uzavřených prostor

Bakalářská práce

Ondřej Kluger

Vedoucí práce: PhDr. Milan Novák, Ph.D.

České Budějovice 2014

Bibliografické údaje

Kluger O., 2014: Autonomní robot pro měření uzavřených prostor. [Autonomous robot for measurement of enclosed areas. Bc.. Thesis, in Czech.] – 53 p. , Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá vytvořením mobilního robotického prostředku pro měření uzavřených prostor. Popisuje jednotlivé komponenty mobilního robotu a jejich funkci. Dále se práce zaměřuje na různé druhy podvozků mobilních robotů a jejich vhodnost pro konkrétní aplikaci.

Annotation

The bachelor thesis deals with creating of mobile robotic device for measurement of the enclosed space. This work describes the components of a mobile robot and their function. Furthermore, the work focuses on the different types of mobile robots chassis and their suitability for a particular application.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V ..Českých Budějovicích... dne Podpis autora

Poděkování

Děkuji PhDr. Milanu Novákovi, Ph.D. za umožnění psát práci na mnou zvolené téma a za čas věnovaný vedení této práce. Dále děkuji panu Petru Potočkovi za zpřístupnění 3D tiskárny a pomoc s tisknutím navržených komponent.

Obsah

Úvod	7
Cíle práce	8
1 Vývojové platformy	9
1.1 Arduino	9
1.2 Raspberry Pi	10
1.3 BeagleBone	11
1.4 Porovnání platforem v datech	12
2 Senzorické systémy	13
2.1 Taktilní snímání	13
2.2 Reflexní snímání	13
2.3 Prostorové snímání	21
3 Komunikační protokoly	24
3.1 I2C	24
3.2 UART	24
4 Pohonný subsystém	25
4.1 Elektrické motory	25
4.2 Střídavé motory	25
4.3 Stejnoseměrné motory	25
4.4 Krokové motory	26
5 Podvozek mobilního robotu	28
5.1 První verze podvozku	28
5.2 Druhá verze podvozku	29
5.3 Finální verze podvozku	30
6 Algoritmizace	32
Závěr	34
Seznam použité literatury	35
Seznam použitých zkratk	37
Přílohy	39

Úvod

V posledních letech dochází k velkému technologickému rozvoji v mnoha vědeckých oborech ať už díky snadné dostupnosti informací či vývoji open-source platforem. Z důvodu tohoto rozvoje je kladen stále větší důraz na samostatnost, spolehlivost a přesnost strojů a tím zefektivnění jejich činnosti. Následkem vývoje dochází k eliminaci potřeby vnějšího zásahu, do uzavřeného systému člověkem takového, bez něhož by systém nemohl dále vykonávat činnost či zkolabovat. Ať už se jedná o automatickou pračku či složitý výrobní robot je snaha o maximální možnou autonomii jejich činností.

Tato práce je zaměřena na vývoj autonomního robotického prostředku, který slouží k měření uzavřených prostor. Čtenář je zde seznámen s postupem potřebným pro vytvoření vlastního robotického prostředku. Dále je čtenář uveden do světa robotiky skrze variaci snímačů, používané platformy či metody pohonu mobilních robotických prostředků. V každé části práce je uveden popis principů spojených s funkcí příslušného zařízení. Příslušné popisy principů funkce jsou oživeny příklady aplikace, při které je čtenář seznámen s úskalími použití příslušného zařízení.

Cíle práce

Hlavním cílem práce je návrh vlastního robotického prostředku, který bude zjišťovat rozměry uzavřených prostor. Součástí práce bude samotné vybudování robotu a jeho potřebných komponent, vypracování metodiky automatizovaného měření vzdálenosti a následné zpracování zjištěných dat.

Dílčí cíl pro splnění hlavní části zadání je analýza metod měření vzdálenosti a dostupných platforem vhodných pro vývoj autonomních robotů. V práci budou též objasněny problémy spojené s indukčním strojem (elektromotorem) v elektrickém obvodu a jeho vlivem nejen na polovodičové součástky. Bude popsána nejen konstrukce ale také princip činnosti a s ní spojené výpočty.

1. Vývojové platformy

Vývojové platformy jsou malé počítače, které lze použít nespočetně mnoha způsoby. Tyto platformy mohou být použity k vytváření samostatných interaktivních zapojení či mohou být připojeny k softwaru na počítači. V současné době existuje velké množství takovýchto platforem.

1.1 Arduino

Je jednodesková open-source platforma založená na 8 bitovém AVR či 32 bitovém ARM mikrokontroléru od firmy Atmel. Nedílná součást této platformy je softwarová výbava v podobě před nahraného bootladeru na mikrokontrolér, což nám dovoluje přímo nahrávat programy na čip bez nutnosti vlastnit sofistikovaný programátor [3]

Platforma lze od výrobce pořídit ve dvou základních typech. První typ je již složený a odladěný. Takto šířený výrobek se nazývá „Ready-to-use“ tedy hned k použití. Druhým typem šíření je způsob vývojového kitu, kde uživatel obdrží vše potřebné pro kompletaci zařízení včetně technických nákresů a schémat. Další možností je stažení potřebné dokumentace ze stránek výrobce, které jsou volně dostupné díky open-source licenci.

1.1.1 Klony

Dostupná dokumentace dala možnost vzniknout mnoha „klonům“, což jsou pozměněné verze platformy Arduino. Některé klony převyšují originální verze, jak výkonem, tak i velikostí. Všechny klony jsou kompatibilní s rozšiřujícími moduly platformy Arduino a vývojového IDE.

1.1.2 Rozšíření

Platforma Arduino je přes její všestrannost omezena hlavně konstrukcí desky. Nelze zde například pracovat s většími proudy či duplikovat vstupně/výstupní brány. Tato omezení se snaží odbourat takzvané „Shieldy“. Shieldy jsou moduly připojované na vstupně/výstupní brány obsahující funkční rozšíření základny Arduino. V současné době existuje nepřehledné množství modulů, které jsou navrženy i pro mnohdy obtížné funkce jako řízení motorů, GPS, Ethernet, LCD zobrazovače či nepájivé pole.

1.1.3 Použití

Díky univerzálnosti platformy a jednoduché obsluze lze Arduino použít v mnoha aplikacích. Široké možnosti použití nabízí nejen v robotice ale i automatizaci. Platforma má velmi malou spotřebu (60-175 mW) a z tohoto důvodu ji můžeme použít u aplikací, závislých na mobilním zdroji energie. Při aplikaci v mobilních

robotech je potřebné mnohdy oddělit napájení logiky a mechaniky z důvodu rozdílných nároků na napájení.

V mobilní robotice se Arduino používá díky možnostem rozšíření. Možnost snadného rozšíření je největší výhoda této platformy. Snadno lze tedy rozšířit podporu komunikačních protokolů či přidat možnost přímého ovládání motorů. Součástí těchto rozšíření jsou i uživatelské knihovny usnadňující aplikaci.

Omezující prvky této platformy jsou hlavně paměť a výpočetní výkon. Z důvodu nedostatečného výkonu není možné zpracovávat větší množství dat či aplikovat složité matematické metody. Toto omezení lze z části odstranit pomocí shieldů či předávání dat výkonnějšímu prvku konstrukce.

1.2 Raspberry Pi

Raspberry Pi je jednodeskový počítač vyvinutý ve Velké Británii skupinou „Raspberry Pi Foundation“. Základem platformy je SOC BCM2835 od firmy Broadcom. Tento chip obsahuje kromě ARM procesoru také Dvou-jádrový GPU a 256 či 512MB RAM v závislosti na verzi. Kvůli snaze o maximální zjednodušení celé konstrukce tohoto počítače bylo opuštěno od pevného uložení dat, které je zde nahrazeno paměťovou kartou typu SD. Z této karty je zaváděn operační systém. Dále je tato karta použita jako uložení dat. Hlavním zaměřením tohoto počítače je výuka programování a základů počítačových věd ve školách [1].

1.2.1 Rozšíření

Bez rozšíření má platforma Raspberry pi celkem 8 vstupně/výstupních bran. Rozšíření těchto základních vstupů je podmíněno pokročilými znalostmi z oboru elektrotechniky a elektroinženýrství. Raspberry Pi používá takzvanou modifikovanou 3,3V TTL logiku oproti běžně používané 5V. Z důvodu limitace nejen napětí, ale také proudu je nutné před připojením námi navrženého rozšíření provést řadu výpočtů, aby nedošlo k poškození platformy. Z důvodu komplikací se pro rozšíření tedy používají komunikační standardy jako I2C, UART či SPI. Díky těmto standardům lze komunikovat buď s dalším systémem či přímo s komponentou.

1.2.2 Použití

Raspberry Pi lze díky hardwaru použít téměř všude, kde je potřebný výkon plnohodnotného PC. Platforma se nejčastěji používá pro řízení rozsáhlých systémů, zpracování většího množství dat či vizualizace.

Oproti jiným platformám se programy spouštějí v rámci operačního systému Linux. Uživatelské programy zde nejsou schopné přímého přístupu k hardwaru ale používají právě operační systém jako prostředník. Tato funkce je dána právě architekturou platformy, kde je jako výpočetní jádro použit „Mikroprocesor“ místo „Mikrokontroléru“. Výhodou mikroprocesoru je několikanásobně vyšší výkon a rychlost zpracování dat. Další výhody vyplývají z použití operačního systému. Operační systém je schopen aktivně pracovat s pamětí a výpočetním časem procesoru. Díky tomu je možné spouštět programy s více vlákny i na jedno-jádrovém

procesoru daleko efektivněji než sériový program.

V robotice se Raspberry Pi používá vzhledem k výkonu při analýze dat. Na druhou stranu je díky malému množství vstupně/výstupních bran nevhodné pro připojení výkonových periférií. Vždy je tedy při rozšíření nutné použít připojený mikrokontrolér.

1.3 BeagleBone

Nejmladší z vývojových platforem se nazývá BeagleBone tato platforma v sobě kombinuje vysoký výkon a velké možnosti rozšíření. Jde o jednodeskovou open-source platformu navrženou a vyráběnou firmou Texas Instruments. Tato platforma je poháněna SOC TI AM3359 od Texas Instruments. Tento chip v sobě obsahuje kromě ARM procesoru také dvou-jádrový GPU v kombinaci s 256/512MB paměti RAM. Platforma má dále interní uložení o velikosti 2GB na němž je uložen operační systém a lze ho dále rozšířit o paměťové karty typu MicroSD.

1.3.1 Rozšíření

Díky velkému množství vstupně/výstupních bran, použité 5V TTL logice a proudovému chrániči je rozšíření velmi jednoduché. Polovina bran je kromě proudu chráněna i proti polaritě signálu. Těmto základním hodnotám sekunduje celé spektrum komunikačních standardů, mezi které patří také I2C, UART a SPI. Další rozšíření je možné pomocí periférií připojovaných přes sběrnici I2C.

1.3.2 Použití

BeagleBone je v současnosti nejvyspělejší vývojová platforma. Kombinuje v sobě vlastnosti systémů s mikroprocesorem a mikrokontrolérem. Vysoký výpočetní výkon v kombinaci s 80 vstupně/výstupními branami dělají z BeagleBone ideální platformu pro vývoj obzvláště složitých strojů. Platforma dokáže sama řídit velké množství periférií kromě výkonových částí. Ty se dají však díky množství bran navrhnout vždy přesně na míru danému elektromotoru.

Platforma obsahuje operační systém Linux. Programování platformy se provádí přes speciální IDE dostupné po síti Ethernet. Druhá možnost je připojení zobrazovače přímo na platformu a použití jako plnohodnotného PC.

1.4 Porovnání platforem v datech

Na trhu se nachází několik desítek verzí desek platformy Arduino, které se liší v množství vstupně/výstupních bran, rychlostech použitých oscilátorů, použitých mikro kontrolérech a mnoha dalších ohledech. Pro srovnání platforem byl vybrán nejpoužívanější zástupce v podobě Arduino Uno.

•	Arduino Uno	Raspberry Pi	BeagleBone
Procesor	ATmega328p	ARM1176JZF-S	TI-AM335x
Taktovací frekvence	16 MHz	700 MHz	720 + 2x200 Mhz
Šířka registru	8-bit	32-bit	32-bit
RAM	2 kB	512 MB	256/512 MB
V/V brány	20	8	65
V/V max. proud	40 mA	5 mA	50 mA
Spotřeba	175 mW	700 mW	2 W
Operační systém	-	Linux	Linux

Tabulka 1.1: Porovnání vývojových platforem

Z přímého porovnání vývojových platforem vyplývá, že pro použití je nejvhodnější platforma BeagleBone. Tato platforma má proti konkurenčním nejlepší vlastnosti. Její nevýhodou je ovšem nedostupnost v České Republice. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k platformě Raspberry Pi.

2. Senzorické systémy

Senzorickými systémy představují „smysly“ všech strojů a zařízení. Tyto systémy se stále zdokonalují v přesnosti a rychlosti snímání. Pomocí snímačů můžeme změřit všechny fyzikální veličiny. V elektrotechnice se používá metoda nepřímého měření, kde se fyzikální veličina převádí na elektrický signál, jenž je odečten. V závislosti na typu čidla jsou tyto signály buď předzpracovány či v „syrovém“ stavu s potřebou následné aplikace matematických metod [5].

2.1 Taktilní snímání

Nezákladnější a zároveň nejjednodušší skupina čidel je skupina taktilních, tedy kontaktních čidel. Taktilní čidla jsou jedna z nejpřesnějších čidel, díky jejich odolnosti vůči statickému a elektrickému rušení. Nevýhodou u taktilního snímání nadále zůstává potřebný kontakt s měřeným prvkem.

2.1.1 Bi-stavová taktilní čidla

Bi-stavová čidla mají maximálně dva logické stavy – LOG1 a LOG0. Tyto stavy jsou v mikroprocesorové technice definována napětím o určitých úrovních. Ve standardní TTL 5V logice se bavíme o LOG0 na úrovni 0 – 0,4V DC a LOG1 na úrovni 4,6 – 5V DC tyto hodnoty jsou určeny na základě „Fuzzy logiky“. Z definice funkce vyplývá, že zpracování dat z takového čidla, je velice jednoduché. Je prováděné jedním výstupním vodičem, což umožňuje uspořít vstupně/výstupní bránu mikro počítače.

2.1.2 Multi-stavová taktilní čidla

Multi-stavová taktilní čidla jsou ve srovnání s Bi-stavovými čidly přesnější při měření, kvůli analogovému způsobu snímání. Multi-stavová čidla používají celou škálu napětí přímo komunikací s mikro počítačem standardizovaným komunikačním protokolem (např.: UART, I2C, SPI, aj.). Z tohoto důvodu se předpokládá použití mezi-prvku v podobě AD převodníku nebo komunikačního převodníku dat. Snímání u těchto čidel probíhá odporovou či reflektivní metodou snímání. Vyhodnocování dat je z pravidla náročnější na výpočetní výkon než u čidel Bi-stavových.

2.2 Reflexní snímání

Další skupina čidel jsou čidla reflexní, která pracují na principu odrazu specifického vlnění o určité modulaci od měřeného objektu. Odraz tohoto vyslaného signálu je rozpoznán. Kombinací změřeného času a fyzické konstanty se dopočítává vzdálenost objektu. Měření takovýmto způsobem lze provádět bodově či plošně. U měření vždy záleží na použitém snímači, a také na schopnostech systému ke zpracování dat. U plošně měřených dat se bavíme až o desítkách megabajtů

naměřených hodnot z jednoho měření. Velkou výhodou tohoto způsobu měření je jeho velká přesnost, díky neměnným fyzikálním konstantám. Jeho slabinou je velké množství rušení z okolního prostředí a potřeba filtrace měřených dat.

2.2.1 Akustické

Akustické reflexní snímání funguje na principu měření generovaného nebo již existujícího ultrazvuku na specifické frekvenci (spektru frekvencí). U generovaného signálu mnohdy pracujeme se signálem na specifické frekvenci, který se dostatečně moduluje. Modulace je nutná z důvodu eliminace rušení. Tento zvuk je generován pomocí piezoelektrického měniče a dosahuje vysokých přesností. V závislosti na frekvenci a intenzitě lze dosáhnout měřitelného rozsahu v řádech metrů. Větší vzdálenosti jsou velice obtížně měřitelné z důvodu útlumu signálu a jeho zkreslení vlivy prostředí.

Nevýhodou akustického měření je chyba způsobená odrazem zvuku od překážky. Uvažujeme-li vyzařovací úhel ($<15^\circ$), tak úhel dopadu na překážku musí být maximálně roven vyzařovacímu. Při nesplnění této podmínky je čidlo neschopné zachytit odražený zvuk a tudíž změřit korektně vzdálenost. Oproti tomu je velkou výhodou obnovovací frekvence a snadná obslužnost čidla.

V současnosti existuje velké množství cenově dostupných akustických čidel. Při výběru bylo tedy nutné stanovit požadované vlastnosti a vybrat čidlo, jenž bude vyhovovat aplikaci v mobilním robotu. Při výběru byli zohledněni následující parametry: obnovovací frekvence, maximální měřitelná vzdálenost, přesnost a chyba měření. Pro dostatečné zhodnocení bylo tedy potřeba nejen studium dokumentace čidel ale také ověření výrobcem udávaných hodnot.

Z dostupného množství vyhověla celkem čtveřice čidel s takřka stejnými podmínkami. U těchto čidel bylo provedeno kontrolní měření na tři rozdílné vzdálenosti v měřitelném rozsahu pro určení chyby měření. Z hlediska určení maximálně přesné chyby měření, bylo nutné aplikovat matematické výpočty nad dostatečným vzorkem hodnot. Z tohoto důvodu bylo na každém čidle naměřeno 6000 hodnot. Pro ověření chyby měření udávaných výrobcem byla na základě studijních skript [7] stanovena následující metodika:

1. Změření a zapsání veličiny x_1, x_2, \dots, x_n
2. Vyloučení okrajových hodnot zatížených velkou chybou měření
3. Určení aritmetického průměru naměřených hodnot

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

4. Určení odchylky každé změřené hodnoty

$$\Delta x_1 = \bar{x} - x_1$$

$$\Delta x_2 = \bar{x} - x_2$$

⋮

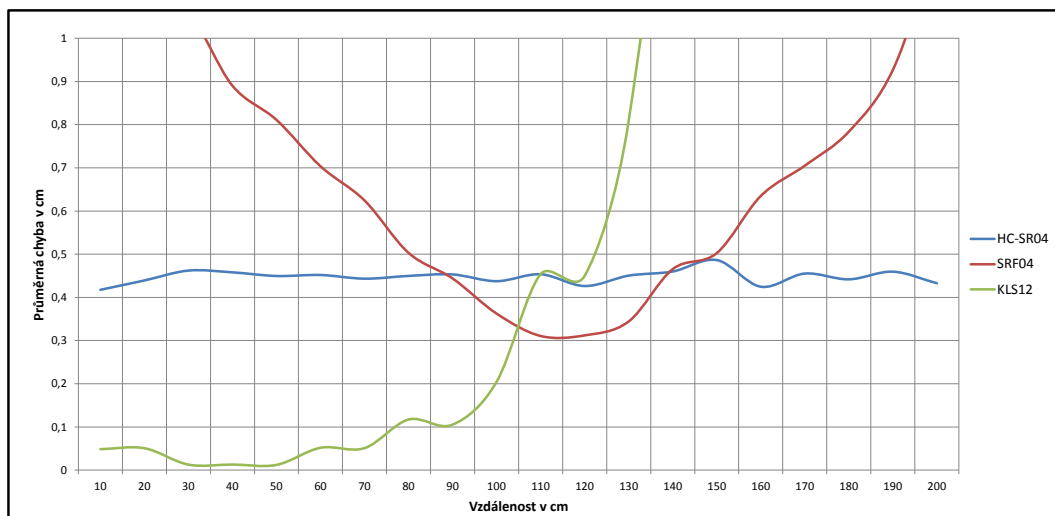
$$\Delta x_n = \bar{x} - x_n$$

5. Výpočet průměrné odchylky Δx jako aritmetický průměr absolutních hodnot všech odchylek. Výslednou hodnotu zaokrouhlíme na jedno desetinné místo

$$\Delta x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i$$

6. Dopočet průměrné relativní chyby měření

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} 100\%$$



Obrázek 2.1: Chyby měření udávané v cm

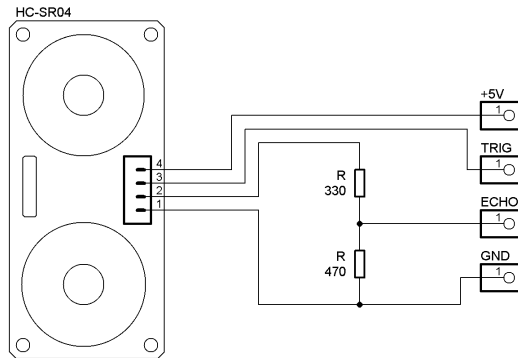
Na základě naměřených hodnot a aplikaci matematického výpočtu byla ověřena chyba měření udávaná výrobcem u všech testovaných čidel. Díky osazenému hardwaru na čidle, jedinečné modulaci a snadné obsluze bylo vybráno čidlo označené jako HC-SR04 2.2.



Obrázek 2.2: Sonar HC-SR04 [6]

Čidlo HC-SR04 má vestavěný krystalický oscilátor pro generování přesného ultrazvuku. Tento ultrazvuk je modulován celkem netradičně pomocí obvodu na řízení sériové komunikace. Dosah čidla činí v ideálních podmínkách do čtyř metrů

vzdálenosti při vyzařovacím úhlu 14° . Obsluha čidla probíhá přes dva vývody označené jako „Trig“ a „Echo“. Díky 3,3V logice použité u platformy raspberry je nutné připojení snímače přes napěťový dělič 2.3. Tento dělič sníží napětí na požadované 3,3V [4].



Obrázek 2.3: Zapojení sonaru přes napěťový dělič

První z vývodů „Trig“ tedy spouštěč slouží pro vybuzení/spuštění měření. Na základě vybuzení je vyslán ultrazvukový impulz a čidlo nastaví „Echo“ na úroveň LOG1. Při přijetí celého odraženého impulzu je „Echo“ opět nastaveno do LOG0. Ze změřeného času mezi těmito událostmi dostaneme dobu, po kterou signál putoval prostředím. Díky konstantní rychlosti zvuku tedy vypočítáme vzdálenost, kterou impulz urazil ($s = \frac{t_{echo} * v_{zvuk}}{2}$). Ve výpočtu je tedy nutné uvažovat i fakt, že signál urazil dvojnásobnou vzdálenost, než je skutečná [6].

2.2.2 Optoelektrické

Na rozdíl od akustického měření je optoelektronické daleko přesnější a v závislosti na aktivních prvcích i rychlejší mnohdy i mnohonásobně (frekvence dosahuje až stovek Hz). Oproti akustickému měření se pro dopočet vzdálenosti nepoužívají tolik fyzické veličiny, ale jednoduchá triangulace kdy máme ohniska zářiče a snímače v přesné vzdálenosti a promítnutím světelného bodu na matici optického snímače jej přepočítáváme na snadno měřitelné hodnoty v obrazových bodech snímače. Výstupem tohoto měření bývá zpravidla přímo informace o naměřené vzdálenosti, tudíž je na následné zpracování méně náročná.

Laser-optické

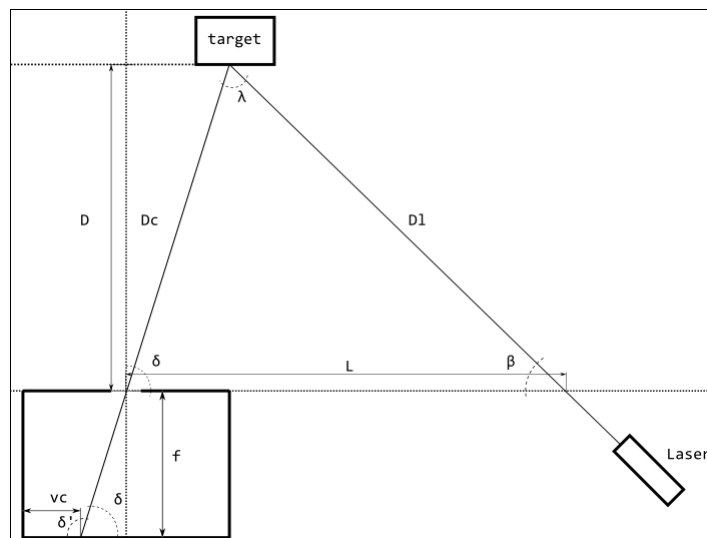
Laser-optické měření je specifické použitým zdrojem světla, kterým je zde laser, tedy optický zdroj emitující úzký paprsek koherentního monochromatického proudu fotonů. Díky tomuto přesnému zářiči je možno použít filtry a tím měřit světlo o přesné vlnové délce. Tato vlastnost zajišťuje téměř kompletní eliminaci rušení vzniklého vlivem prostředí. Měření touto metodou je velice přesné a dosahuje chyby měření pod 1%/metr při dosahu až několik stovek metrů v závislosti na výkonu zářiče.

U laser-optického měření se snímače dělí na plošné a bodové. Plošné snímače se dále rozdělují na jedno a více dimenzionální. Jednodimenzionální snímání probíhá pouze na horizontální ose od měřidla. Výhodou toho snímání je rychlost, která dosahuje až 100ms na jedno měření. Nevýhodou je zde měření právě pouze jedné osy. Vícedimenzionální snímače jsou pokročilejší a schopna změřit celý prostor v měřitelném rozsahu. U těchto čidel se rozsah pohybuje okolo 180° horizontálně a až 250° svisle, v závislosti na modelu snímače. Tato měřidla už nedisponují takovou rychlostí snímání. Běžně se u nich rychlost jednoho měření pohybuje okolo 300ms. Opět je toto číslo přímo závislé na modelu a rozlišení měřidla. Druhá skupina měřidel jsou měřidla bodová. Bodová měřidla jsou schopna měřit vzdálenost jednoho určitého bodu. Poskytují oproti plošným měřidlům méně informací o prostoru, což se kompenzuje pohyblivým uchycením. Jejich výhoda spočívá v rychlosti měření v řádech jednotek milisekund.

Pro aplikaci v mobilním robotu je ideální právě prostorové měřidlo. Prostorová měřidla jsou bohužel cenově nedostupná. Z tohoto důvodu byla v rámci práce snaha o návrh a realizaci vlastního měřidla. Před začátkem realizace měřidla byly stanoveny následující kroky:

1. Analýza principů potřebných pro realizaci snímače
2. Výběr vhodného HW
3. Vytvoření prototypu pro ověření funkčnosti měřidla
4. Analýza poznatků z prototypu
5. Vytvoření finálního měřidla zdokonalením prototypu

Z dostupných dokumentací komerčních měřidel bylo zjištěno, že všechna dostupná měřidla jsou postavena na dvou základních principech. U prvního principu je použit polovodičový člen pracující na principu polarizace PN přechodu dopadajícím světlem. Měření zde probíhá zachycováním odražených fotonů určité vlnové délky. Zároveň je změřen čas od vyslání světelného impulsu. Důpočet vzdálenosti se pak provádí pomocí matematické rovnice ($s = \frac{t_{celkov} * v_{svtla}}{2}$). Právě díky vysoké rychlosti světla je při použití tohoto principu potřebné zajistit dostatečnou rychlost řídicí elektroniky. Druhý princip pracuje s obrazovým CMOS snímačem. Tento systém se výrazně liší od prvního právě principem měření vzdálenosti. Zde jsou odražené fotony zachyceny CMOS snímačem, z jehož matice se odečte souřadnice dopadu. Následně je pomocí Pythagorovy věty důpočten úhel dopadu vůči ohnisku snímače 2.4. Při znalosti úhlu dopadu a pevné vzdálenosti mezi zářičem a snímačem použijeme triangulaci pro výpočet vzdálenosti bodu dopadu světla [8, 9]



Obrázek 2.4: Schéma laser-optického měření [9]

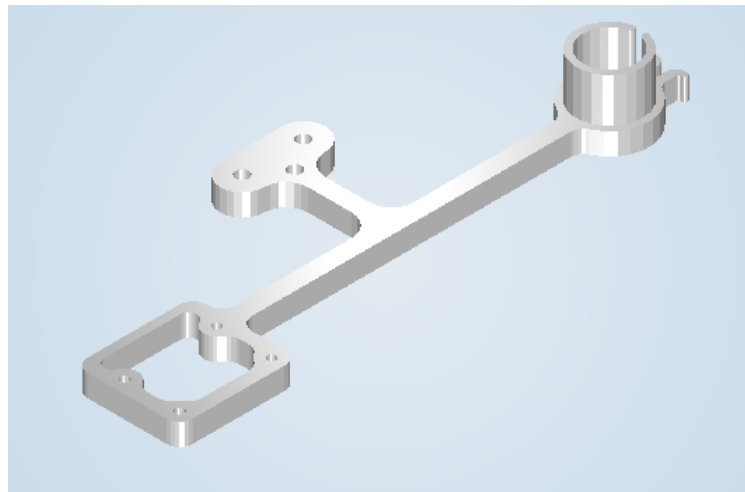
Pro konstrukci prototypu vlastního snímače byla použita stará webkamera a laserové ukazovátko. Tělo konstrukce bylo vytvořeno z balsového dřeva a pro ověření principu byl prototyp dostačující. I při maximální snaze o eliminaci rušení byla maximální rozlišovací schopnost omezena na 30cm - 1m ($\pm 30\%$) po vzdálenosti jednoho metru již nebylo schopné identifikovat změnu na matici snímače. Po provedení testovacích měření a analýze dat byl stanoven závěr, že nedostatek prototypu spočívá pravděpodobně v malém rozlišení snímače.

Při vytváření finálního měřidla byl tedy již vybírán HW takový, aby splňoval následující podmínky:

- Optický snímač
 - Vysoké rozlišení
 - Dostatečná obnovovací frekvence

- Dostupnost informací od výrobce ohledně optiky snímače
- Zářič
 - Dostatečný světelný výkon
 - Možnost přesného ostření
 - Projekce bodu či čáry

Na základě těchto podmínek byl vybrán snímač OV5647 výrobce OmniVision. Tento snímač disponuje maximálním rozlišením 2592 x 1944 zobrazovacích bodů. Při tomto rozlišení je snímač schopen pořídit obrázek každé 2ms. K tomuto snímači je výrobcem dodávána kompletní technická dokumentace. Jako zářič byl již zvolen přesný ostřený laser o výkonu 5mW. Tento laser dokáže generovat rovnoměrnou čáru či bod. Tentokrát byla nutnost vytvořit pro měřidlo stabilní pevné uchycení. Díky možnosti využít 3D tiskárny byli možnosti takřka neomezené. Byl tedy navržen pevný systém uchycení, který zajišťuje neměnnou vzdálenost a úhel zářiče vůči snímači 2.5.



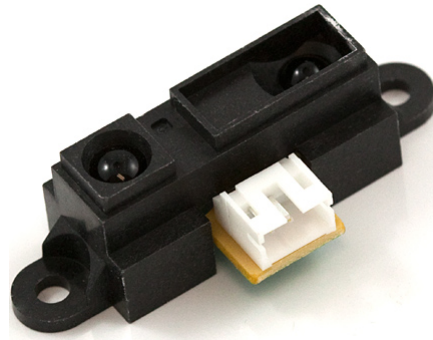
Obrázek 2.5: Navržené tělo měřidla

Na finální verzi měřidla byla provedena řada měření a bylo zjištěno, že není vhodná pro aplikaci. Díky chybě způsobené optikou snímače, jež se nazývá „Sférická aberace“ [8] dochází ke zkreslení snímaného obrazu v jeho krajích. Přesné měření je tedy možné pouze ve středu snímaného spektra. Toto se v praxi projevuje zkreslováním hodnot, jejichž eliminace by byla matematicky možná avšak velice obtížná z důvodu nepřesnosti použité optiky. Tato metoda měření má však velký potenciál pro budoucí zkoumání.

Infra-optické

Oproti laserovému zářiči je zde použita jedna či více LED emitující světlo v infračerveném (pro člověka neviditelném) spektru o vlnových délkách 760nm až

1mm. Tato varianta zářiče je podstatně levnější než Laserový ale na úkor dosahu (desítky cm) a přesnosti změřené vzdálenosti. U tohoto systému není, díky nedokonalostem zářiče, potřebné pracovat s citlivým optickým snímačem takže se měření bude potýkat s možností velkého rušení vlivem prostředí, toto případné rušení lze eliminovat modulací signálu na určitou frekvenci [4].



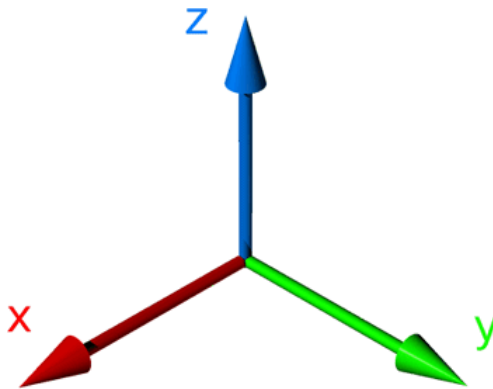
Obrázek 2.6: IR Dálkoměr (Sharp GP2Y0A21) [10]

Nejpoužívanějším snímačem z řad IR snímačů, je snímač GP2Y0A21 2.6. Tento snímač je schopný změřit vzdálenosti jednoho metru. Jeho přesnost je bohužel relativně nízká a činí 1,5 cm / metr. Snímač má analogový výstup a vzdálenost je zde předávána v podobě napětí o určité úrovni. Výhodou je zde vysoká rychlost měření a jednoduchá analýza dat. Nevýhodou je analogový výstup, na který je potřebné aplikovat A/D převodník pro převod do TTL úrovně a malá měřitelná vzdálenost.

2.3 Prostorové snímání

2.3.1 Akcelerometr

Jak už název napovídá, jedná se o snímače akcelerace tedy zrychlení. Tento typ čidel měří na základě tíhového zrychlení. Tíhové zrychlení udává rychlost, které dosáhne těleso za jednu sekundu volného pádu. Na Zemi je tíhové zrychlení definováno takzvaným „Normálním tíhovým zrychlením“ tedy: $g_n = 9,8066m/s^2$. Pokud je akcelerometr v klidovém stavu a postaven kolmo k zemskému povrchu naměříme hodnotu „Zemské tíhy“ tedy 1g. Stejná bude i výslednice v libovolném naklonění pokud rozšíříme akcelerometr o další dvě osy vzájemně 2.7. Pohybem akcelerometru se tato hodnota mění z důvodu působení tíhového zrychlení.

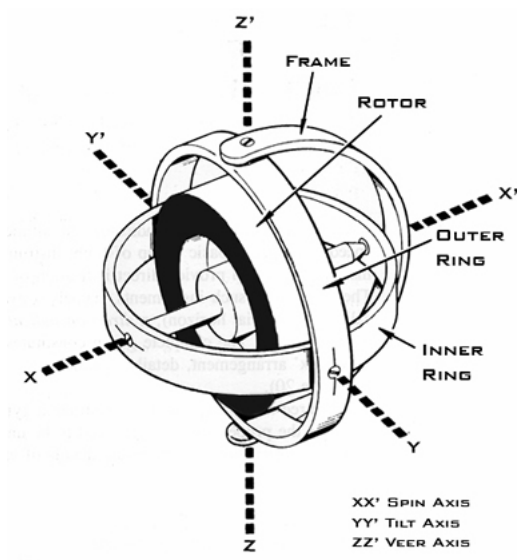


Obrázek 2.7: Prostorové osy [11]

Tříosé akcelerometry jsou dnes implementovány do celé řady zařízení, kde je potřeba znát okamžitý náklon zařízení a zároveň tato hodnota nemusí být úplně přesná. Běžně jsou použity v mobilních telefonech či tabletech. Pokud je akcelerometr v klidovém stavu zle výslednicí tíhových zrychlení na třech osách zjistit přesný úhel naklonění. Pro přesné měření náklonu nejsou však akcelerometry vhodné z důvodu možného zkreslení jakýmkoli pohybem. K tomuto zkreslení dochází právě kvůli způsobu měření na základě tíhového zrychlení v osách. K eliminaci tohoto zkreslení se akcelerometry kombinují s gyroskopy.[12]

2.3.2 Gyroskop

Gyroskop je zařízení pro měření úhlové rychlosti. Tato zařízení poskytují data o úhlových rychlostech v daných osách 2.8. Pro gyroskop jsou vždy důležité počáteční podmínky, které jsou použity jako vztažné. Po odečtení naměřených hodnot od počátečních podmínek tedy získáme přesný úhel naklonění s minimální chybou. Gyroskopy jsou velice citlivé a je tedy nutné provést dostatečnou filtraci výstupních dat.



Obrázek 2.8: Gyroskopické osy

Podobně jako akcelerometr není gyroskop samotný ideální na měření změny směru. Výstupem elektrického gyroskopu jsou stupně/sekundu tedy úhel, o který se gyroskop pootočí okolo dané osy za jednu sekundu. Výhodou použití gyroskopu je absolutní odolnost vůči chybě způsobené tíhovým zrychlením. Na druhou stranu je téměř nemožné určit absolutní úhel natočení v osách proti Zemi. K odstranění této chyby se data kombinují s daty z akcelerometru. Druhou nevýhodou je chyba měření v ose se setrvačnickem gyroskopu. Ten díky své rotaci vytváří energii ovlivňující měření své osy.[13]

2.3.3 Magnetometr

Magnetometr či elektronický kompas je zařízení pro měření magnetického pole. Toto zařízení pracuje na principu magnetorezistivního jevu. Při tomto jevu dochází ke změně elektrického odporu na magnetickém materiálu. Tento materiál reaguje i na slabé magnetické pole. Po dostatečné kalibraci zařízení včetně započtené magnetické deklinace lze získat přesný azimut. Tento údaj je vhodný pro absolutní navigaci vůči Zemi.

Pro aplikaci byl zvolen magnetometr HMC5883L. Tento magnetometr je díky svým vlastnostem jako rychlost, přesnost a použité rozhraní velice oblíbený v mnoha robotických odvětvích. Magnetometr využívá pro komunikaci komunikačního standardu I2C a na této sběrnici je dostupný na neměnitelné adrese „0x1e“. Z této adresy je odesláním potřebných příkazů možné získat data v podobě dvou čísel udávajících směr vůči magnetickému severu. Tato dvě čísla lze reprezentovat jako souřadnice na osách X a Y. Na základě těchto dvou souřadnic je pomocí matematické funkce Arkus tangens dopočítán úhel vůči počátku souřadnicového systému v Radiánech. Tento úhel je převeden na stupně z důvodu snadné čitelnosti.[14]

Po zapojení kompasu a prvním čtení dat bylo zjištěno, že díky odchýlkám vzniklých během výroby je udávaný azimut nepřesný a z tohoto důvodu bylo nutné vypracovat kalibrační metodiku pro zpřesnění měření.

1. Sběr dostatečného množství surových dat z měřidla
2. Nalezení okrajových hodnot
3. Dopočítání osazení počátečního bodu souřadnicového systému

Provedením kalibrace jsme již získali relativně přesné měření odchýlené pouze o magnetickou deklinaci v místě měření. Tato deklinace se s časem mění a pro absolutně přesné měření je ji potřeba obměňovat.

3. Komunikační protokoly

Komunikace je jeden z nejdůležitějších oborů moderní technologie. Před vznikem standardizovaných protokolů byla komunikace daného systému řešena vždy jiným způsobem. Toto řešení tedy znemožňovalo vývoj kompatibilního hardwaru pro více systémů.

3.1 I2C

Počítačová sběrnice používaná k propojování nízko rychlostních periférií k základní desce systémů. Sběrnici jsou rozdělena zařízení na Master nebo Slave. Master zařízení obstarávají komunikaci a zároveň generují hodinový signál. Slave zařízení již jen v závislosti na hodinovém signálu a dotazu komunikují s Master zařízením, z pravidla odečtení hodnot či systémové hlášení.

Tento protokol je založen na dvojici dvousměrných datových vodičích tedy sériové datové (SDA) a sériové časové (SCL) lince. Stejně jako u ostatních protokolů jsou použity +5V a +3.3V TTL úrovně komunikace. Nicméně protokol je velice variabilní a lze použít i jiná libovolná napětí. Základní rychlost komunikace 100 kbit/s ve standardním módu a 10 kbit/s v pomalém módu [4].

3.2 UART

RS232C je tradiční rozhraní pro přenos informací vytvořené původně pro komunikaci dvou zařízení do vzdálenosti desítek metrů. Pro větší odolnost proti rušení je informace po propojovacích vodičích přenášena větším napětím, než je standardních 5V. Přenos informací probíhá asynchronně, pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizace sestupnou hranou startovacího impulsu. I přes fakt že je tento standard velice starý, je do dnes hojně používaný díky svým vlastnostem a jednoduchému principu funkce. Jeho nevýhoda spočívá v možnosti ztrát informací. Z toho důvodu se u komunikace používá kontrolní součet v podobě paritního bitu, jež označuje počet LOG1 ve zprávě jako sudý či lichý [4].

4. Pohonný subsystém

Pohonný subsystém je kritická část všech mobilních robotů. Při návrhu tohoto subsystému je nutné klást velký důraz na jeho dostatečné odstínění od ostatní elektroniky v obvodu. Elektrické motory jsou indukční točivé stroje, u kterých při pohybu vzniká magnetické i elektrostatické rušení. Toto rušení působí na všechny součástky v obvodu.[4]

4.1 Elektrické motory

Elektrické motory jsou točivé stroje sloužící ke změně elektrické energie na mechanickou. Tyto stroje pracují na principu elektromagnetické indukce. Elektrické motory jsou složeny ze dvou hlavních částí: Statoru a Rotoru. Statorem elektrického stroje je jeho nepohyblivý obal tvořený permanentním magnetem či elektromagnetem. Rotor je tedy pohyblivá část motoru tvořena cívkou.

Při přivedení proudu na rotor je indukováno magnetické pole. Díky opačné polaritě magnetického pole vzniká točivý pohyb rotoru. V horní či dolní úvrati pohybu je změněna polarita proudu a motor se opět pootočí. Tento děj se neustále opakuje do odstavení proudu. Tento princip lze u motorů násobit a tím ovlivnit jejich maximální točivý moment.

4.2 Střídavé motory

Na rozdíl od stejnosměrných motorů jsou střídavá určena do obvodů se střídavým proudem. U těchto motorů je použita jiná konstrukce než u motorů stejnosměrných. Díky střídání polarity sinusovým průběhem napětí, zde není potřebný komutátor. Aby bylo možné zajistit neustálý běh motoru, je tedy potřebné motor napájet třemi fázemi pootočenými vzájemně o 120° . Střídavé motory se dnes hojně používají v modelářství z důvodu jejich efektivity a výkonu. Modelářské střídavé motory jsou však chybně nazývány „střídavé“. Jejich konstrukce sice odpovídá střídavým motorům ale princip funkce je rozdílný. U těchto motorů se střídání fází řeší inteligentním obvodem zajišťujícím vnější komutaci motoru.

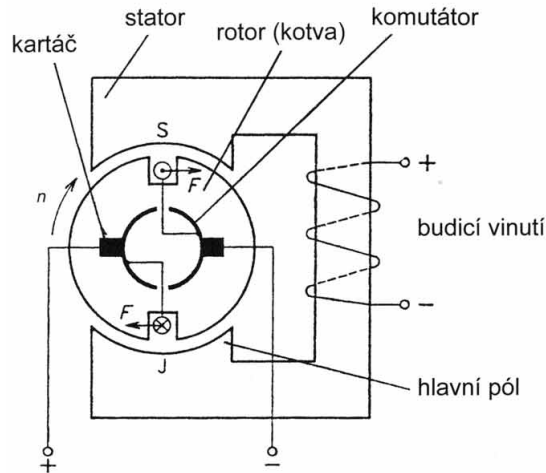
Další velkou výhodou je možnost přesného řízení těchto motorů. Je u nich totiž vždy použito většího množství magnetických trojic, z důvodu zvýšení krouticího momentu. Mezi nimi je při správném řízení přecházet plynule a motor lze i magneticky zabrzdit. Jedinou nevýhodou je, že v tomto nestandardním režimu teče motorem poměrně vysoký proud, na který se musí dimenzovat řídicí elektronika.

4.3 Stejnosměrné motory

Stejnosměrné motory jsou napájeny stejnosměrným napětím. Z důvodu neměnného směru toku proudu, by zde tedy nemělo dojít ke změně polarity magnetického pole vytvářeného cívkami, a tím k pohybu motoru. Je tedy zřejmé, že je změnu směru toku proudu změnit uměle. K této činnosti je na rotoru motoru

umístěn takzvaný komutátor 4.1. Což je jednoduché mechanické zařízení v podobě kontaktů, vyvedených na cívky rotoru. Na tyto kontakty doléhají „kartáčky“ elektromotoru, a tím se vytvoří na cívce magnetické pole. Po otočení motoru přes úvrať se polarita opět mění a dochází k dalšímu točení motoru.

Stejnosemřné motory jsou dnes velice používány, díky jednoduchosti jejich



Obrázek 4.1: Stejnosemřný motor

zapojení a řízení. Pro jejich řízení není většinou potřebná žádná elektronika. Pro rozběh motoru stačí pouze přivést stejnosemřné napětí na přívodní vodiče motoru. Nevýhodou těchto motorů je neefektivita a nemožnost přesného řízení otáček.

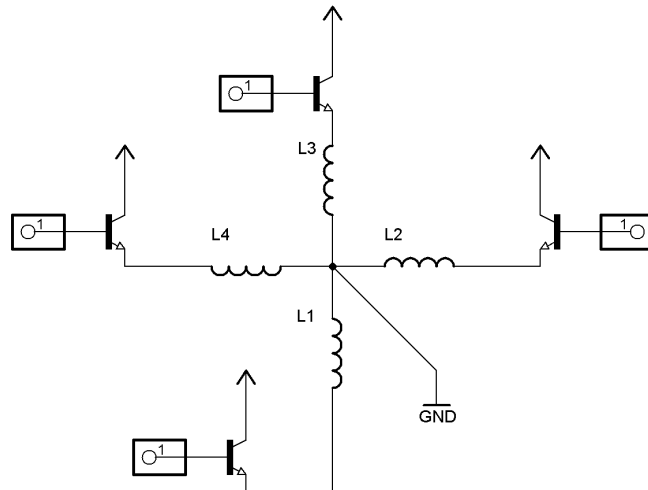
4.4 Krokové motory

Poslední typ elektromotorů jsou krokové motory. Krokové motory jsou charakteristické svou konstrukcí a funkcí. Jedná se o typ stejnosemřných motorů s vnější komutací. Jejich konstrukce je specifická velkým množstvím magnetických párů buzenými přes oddělené cívkové smyčky.

4.4.1 Unipolární řízení

Unipolární 4.2 řízení je jeden ze dvou způsobů řízení krokových motorů. Pro tento typ řízení je potřebné vyvedení zemního vodiče ze středu zapojených cívkových smyček. Řízení probíhá přiváděním napájecího proudu na jednu specifickou cívku v jeden okamžik. Díky tomuto principu řízení mají Unipolární krokové motory menší spotřebu, ale poskytují zároveň menší krouticí moment než motory s řízením Bipolárním. Výhodou tohoto řízení je jednoduché zapojení řídicí elektroniky, kdy stačí pouze jediný spínací prvek na cívku motoru.

V praxi se dá pro řízení takového motoru použít jediný H-můstek. Při použití H-můstku místo speciálního řídicího obvodu je třeba dbát na správné řízení. Při buzení příliš vysokou frekvencí bude docházet nejen k velkému tepelnému na-

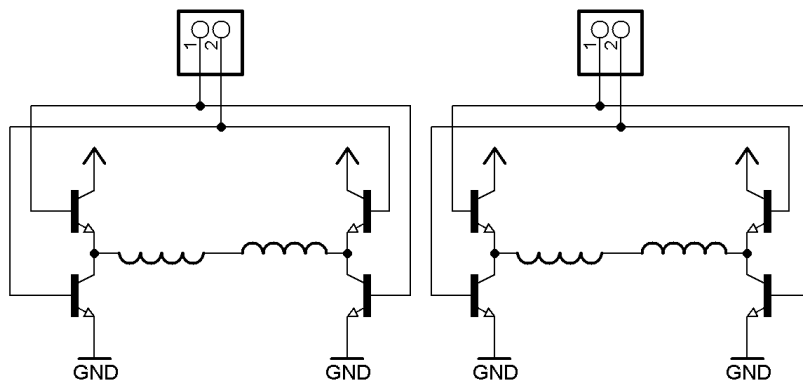


Obrázek 4.2: Schéma Unipolárního zapojení

máhání motoru ale i řídicího můstku. Speciální obvody tímto neduhem netrpí z důvodu jejich proudového omezení.

4.4.2 Bipolární řízení

Druhým typem řízení je řízení Bipolární 4.3. U Bipolárního řízení se budí dvě protilehlé cívký zároveň. Tyto protilehlé cívký musí být zapojeny vždy tak aby se na nich tvořila magnetická pole opačné polarity. Motory využívající tento způsob řízení nabízí vyšší krouticí moment právě díky zesílení magnetického pole tvořeného dvěma cívkami zároveň. Nevýhodou Bipolárně řízených motorů je velká spotřeba energie.



Obrázek 4.3: Schéma Bipolárního zapojení

Ze schématu zapojení je patrné, že oproti Unipolárnímu řízení je potřebné dvojnásobné množství spínacích prvků. Z tohoto důvodu je nutné použít dvojité H-můstky místo jednoduchého. Jelikož jsou tyto můstky velice citlivé na protékající proud je nutné je dostatečně dimenzovat či zdvojit obvody pokud to umožňují.

5. Podvozek mobilního robotu

Při návrhu podvozku mobilního robotu je nutné uvažovat mnoho faktorů jako: velikost, osazení jednotlivých komponent, uchycení součástí, mobilita a univerzálnost. Vždy je tedy potřebné dodržet specifický postup návrhu, kterého výsledkem bude vyhovující podvozek pro danou aplikaci. U této práce bylo stanoveno, že se robot pohybuje v uzavřeném prostoru. Tento fakt vedl ke snaze o minimalistickou konstrukci s důrazem na mobilitu robotu. Během vývoje bylo zároveň nutno vytvořit několik prototypů. Z těchto prototypů zdokonalováním postupně vznikl finální podvozek.

5.1 První verze podvozku

Jako první verze podvozku byl zvolen koncept klasického čtyřkolého vozidla. Pro tento prototyp bylo využito podvozku z dálkově ovládaného auta. Tento podvozek nabízel ideální velikost pro montáž potřebné elektroniky. Podvozek nabízel profesionálně navrženou mechaniku, jejíž součástí byl náhon všech kol jedním motorem, Ackermanovo řízení předních kol a zavěšení náprav umožňující stabilizaci podvozku. Zároveň byl na obou nápravách umístěn diferenciál omezující prokluz kol. Řízení tohoto podvozku sestává ze dvou hlavních prvků a to stejnosměrného motoru řízeného přes specializovaný regulátor a servomotor používaný pro natáčení předních kol. Po osazení podvozku potřebnou elektronikou a ověření řídicích funkcí se bylo nutné zaměřit na část měření vzdálenosti. Díky velkému poměru otáčení nebylo možné použít pevného uchycení snímačů z důvodu dlouhé reakční doby. Tento problém byl vyřešen montáží snímačů na druhý servomotor, který zajišťoval stabilizaci snímačů v podélné ose podvozku.

Pro aplikaci pohyblivého uchycení snímačů byl navržen princip řízení založený na použití gyroskopického snímače. Tento snímač měl zajišťovat udržení správného směru snímačů vůči okolnímu prostoru robotu. Během přímé aplikace bylo odhaleno, že použití gyroskopu a uchycení čidel na servomotoru je nevyhovující. Prvním důvodem je vlastnost gyroskopického čidla nazývaná „Drift“ ta se dá volně přeložit jako „prokluz“ snímače. Tato chyba se na výstupních datech projevuje, neustálým zvyšováním chyby měření a je možné ji kompenzovat použitím dat z akcelerometru. Bohužel gyroskop pro tento účel pořízený neměl vestavěný akcelerometr. Z naměřených dat bylo zjištěno, že chyba je lineární tudíž byla odstraněna konstantou stanovenou na základě minutové kalibrace po spuštění gyroskopického snímače. Druhým důvodem zde bylo použití právě servomotoru pro uchycení snímačů. Servomotory jsou obecně určeny pro použití v modelářství a jejich konstrukce tak neumožňuje otočení hřídele o více než 180° . Tato vlastnost se na zavěšení projevovala při otočení o 90° ze středové polohy kdy už nebylo možné servomotorem dále otáčet. Stejně jako v prvním případě bylo řešení provedeno programově a to takové že při otočení o více než 90° byla stanovena nová výchozí pozice měřidel.

K řízení i snímání zde byla vybrána platforma Raspberry Pi s dostatečným množstvím vstupně/výstupních bran pro připojení snímačů i řízení robotu. Díky

jejímu dostatečnému výpočetnímu výkonu bylo možno i přímo vizualizovat naměřená data, ukládat je na vzdálené či lokální uložiště či jen předzpracovávat surová data do uživatelsky čitelné podoby. Díky použití Raspberry Pi bylo jednoduché a praktické i programování kde stačilo pro jednoduché úpravy algoritmu připojení tabletu přes bezdrátovou síť. Tyto úpravy se dali jednoduše dělat přes vzdálenou plochu samotného Raspberry Pi. Po připojení bezdrátové klávesnice k tabletu již bylo možné pracovat přímo jako s plnohodnotným PC.

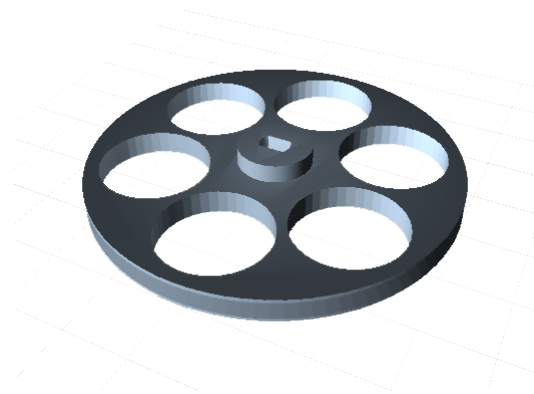
Další důležitou vlastností použitého podvozku typu „auto“ byl poloměr otočení tohoto podvozku. V tomto případě je posunuta osa otáčení podvozku mimo podvozek robotu. Toto se v praxi projevuje neschopností otáčení robotu na jednom bodě. V závislosti na rozložení měřeného prostoru by tedy mohl vzniknout problém v měření malých prostor, kde by se nemusel robot „vytočit“. Tento problém se bohužel nedá vyřešit a to hlavní důvod proč nebyla daná konstrukce použita. Na této verzi byla však ověřena správnost řídicích a měřících algoritmů.

5.2 Druhá verze podvozku

Druhá verze podvozku byla diametrálně odlišná od první verze právě díky jejím nevýhodám obzvláště v možnostech pohybu. Tato verze již byla navržena kompletně právě se zaměřením na maximální možnou pohyblivost. Bylo upuštěno od „klasického“ čtyřkolého konceptu, který byl nahrazen dvojicí hnaných kol a dvojicí podpůrných koleček. Tato změna posunula osu otáčení mezi hnaná kola. Ta byla umístěna ve středu těla robotu a umožňovala robotu otáčení na bodě bez nutnosti pohybu vpřed či vzad. Další výrazná úprava spočívala v použitém pohonu. Na rozdíl od první verze byl jeden stejnosměrný motor nahrazen dvojicí unipolárních krokových motorů (pro každé kolo jeden) typu 28BYJ-48. Tyto krokové motory zároveň umožňovali zpřesnění měření díky řízení po jednom kroku, který na kolech o průměru 6cm představoval 0,1mm vzdálenosti. Motory měli již vestavěnou převodovku s poměrem 1/64 takže z 64 kroků na otáčku motoru bylo 4096 kroků na otáčku hřídele. Právě díky tomuto parametru byly tyto motory vybrány. Pro použití těchto motorů byla navržena speciální kola 5.1, která seděla přímo na hřídel motoru. Tato kola měla průměr 6cm a díky navržené drážce byla možnost použití O-kroužku jako pneumatiky kola, jež zvyšoval adhezi robotu.

Oproti pohyblivému uchycení v případě prvního podvozku, které se příliš neosvědčilo, bylo zvoleno uchycení pevné. Čidla byla umístěna nejdále od osy kol kvůli jejich citlivosti snímání, jež se délkou ramene zvyšovala a umožňovala citlivější řízení motorů. Druhou výhodou bylo mechanické zjednodušení konstrukce a také řídicího programu. Tímto došlo k odstranění programových funkcí potřebných k stabilizaci snímačů a zároveň uvolnění výpočetního času.

Na základě potřeby většího množství vstupně/výstupních bran byla upravena i řídicí část robotu. Původně použité Raspberry Pi bylo doplněno o desku Arduino UNO rozšířenou o „shield“ pro řízení motorů. Tento „shield“ díky dvojici H-můstku umožňuje přímo řídit buď čtveřici stejnosměrných motorů či dvojici krokových motorů. Obě použité platformy komunikovali sériovou komunikací realizovanou propojením USB kabelem. Pro stabilitu a rychlost komunikace se



Obrázek 5.1: Návrh kolečka na krokový motor

osvědčila komunikační rychlost 19200 Baud. Při použití vyšších rychlostí docházelo náhodně k chybám komunikace. Tímto krokem došlo k oddělení logiky řízení robotu od pohonné části. To se ukázalo jako praktické řešení, které bude vhodné použít i v budoucnu.

Testováním bylo zjištěno, že tato verze by již byla použitelná pro přímou aplikaci až na pár nevýhod. První nevýhodou této verze byla malá rychlost a síla použitých motorů. Za druhou nevýhodu lze považovat absenci snímače určujícího směr či pootočení robotu.

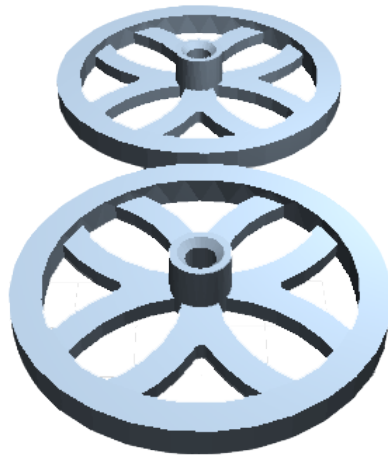
5.3 Finální verze podvozku

Finální verze podvozku vycházela ze zkušeností nabytých při testování prvních dvou verzí. Tato verze se při testování osvědčila a je vhodná pro praktické použití.

Konstrukce se oproti druhé verzi změnila hlavně v použitých pohonech a jejich rozložení. Původní krokové motory použité v druhé verzi byly vyměněny za silnější a rychlejší krokové motory typu SX16-0402N českého výrobce Microcon. Tyto motory mají oproti původním podrobnou dokumentaci včetně výkonových charakteristik motoru. Pro použití tohoto motoru bylo potřebné zjistit jmenovité napětí motoru. Výrobce u těchto motorů udává pouze vnitřní odpor a jmenovitý proud motoru. Na základě Ohmova zákona byl sestaven vzorec pro výpočet napětí: $U_{jmenovite} = I_{jmenovite} * R_{motoru}$ z něhož nám po dosazení vyšlo jmenovité napětí 12V. Toto napětí není nutné použít, ale je to doporučeno pro maximalizaci točivého momentu. U zdroje je zároveň nutné zajistit dostatečný proud pro buzení cívek motoru. Z těchto důvodů byl opuštěn do této doby používaný zdroj v podobě Ni-MH modelářské baterie, která poskytovala napětí rovno 7,2V. Nahrazena byla gelovým olověným akumulátorem, který poskytuje napětí právě 12V. Z bezpečnostních důvodů byl tento akumulátor vybaven tavnou pojistkou na 1A proudu což by při odběru 0,4A / Motor mělo bohatě stačit i při plném záběru obou motorů.

Motory SX16-0402N mají 200 kroků na otáčku hřídele. V praxi to znamená, že každý krok je dlouhý 1,8° což je pro potřeby doplňkového měření dostatečné.

Z důvodu rozdílné hřídele použité u těchto motorů byla navržena nová kola robotu 5.2. U návrhu těchto kol byl dodržen stejný průměr 6cm z důvodu eliminace úprav zbytku těla robotu. Motory byly zároveň přesunuty do zadní strany robotu. Tímto krokem se prodloužila délka ramene mezi osou motorů a snímači v přední straně robotu což vedlo k zvětšení citlivosti měření.



Obrázek 5.2: Návrh nového kola podvozku

V části logiky byly také provedeny značné úpravy, obzvláště v uložení všech komponent. Z důvodu přesného uchycení ultrazvukových snímačů byla navržena speciální montáž vyrobena metodou 3D tisku. Stejnou metodou byly vyrobeny i držáky platforem Raspberry Pi a Arduino. Tento krok vedl nejen k pohodlnější obsluze robotu ale také k zvýšení bezpečnosti obou platforem, jejichž uložení v plastu zabraňuje možnému zkratu. Poslední a hlavní změna v této části robotu spočívá v použití magnetometru pro absolutní orientaci v prostoru. Na základě následujících vlastností byl vybrán snímač s názvem HMC5883L. Tento snímač využívá připojení přes rozhraní I2C, kde je dostupný na statické adrese „0x1E“. Během pokusu byl tento magnetometr vystaven předmětům ovlivňujícím magnetické pole jako například: feromagneticky vodivé železo, permanentní magnet či vodič střídavého napětí. Během těchto pokusů byla měřena odchylka dosahující maximálně 1°. Pokusy byly prováděny přikládáním předmětů do vzdálenosti 10cm od snímače.

6. Algoritmizace

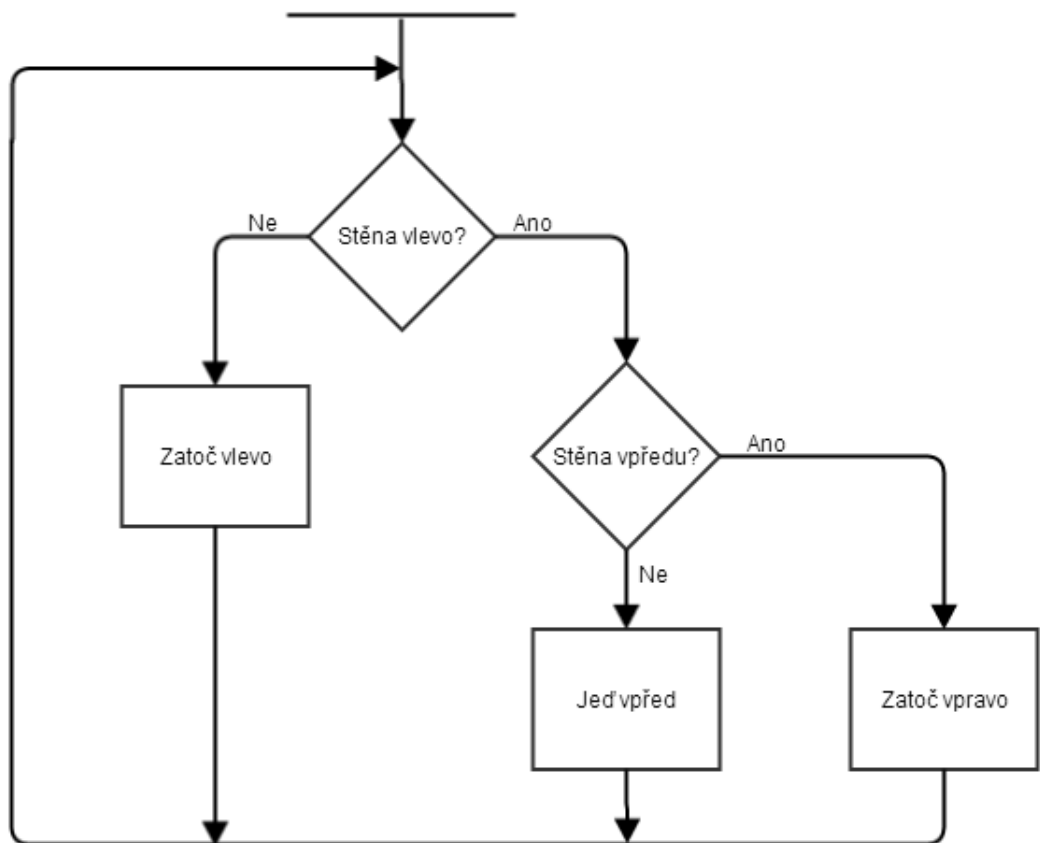
Jelikož je algoritmizace u autonomních systémů velice složitá a vývoj zabere někdy i několik měsíců je často přistoupeno k použití obecně známých algoritmů a jejich kombinací. Tento postup vývoje ušetří čas, ale může s sebou přinést i mnoho problémů. Jeden z problémů může být například špatná hierarchie programu vzniklá spojením více algoritmů. Z těchto důvodů je v jistých případech nutné přistoupit k návrhu nového algoritmu. Jakýkoli proces algoritmizaci lze rozdělit do pěti logických kroků:

1. Formulace problému
2. Analýza úlohy
3. Vytvoření algoritmu
4. Sestavení a odladění programu

Před začátkem algoritmizace je tedy nutné správné formulování řešeného problému. V tomto kroku by měli být správně určeny výchozí hodnoty, požadované výsledky a jejich formu. Dalším krokem je analýza úlohy, jež přímo vychází z formulace problému. Během tohoto kroku je ověřena řešitelnost úlohy, dostatečnost výchozích hodnot zároveň je zde proveden výběr nejvhodnějšího řešení. Následuje vytvoření algoritmu zpravidla jako vývojového diagramu, v němž je použito slovního zápisu z důvodu zjednodušení orientace a možnosti přesné specifikace části algoritmu. Posledním krokem je přímá aplikace algoritmu v programovacím jazyku. V této části jsou odhaleny jak chyby navrženého algoritmu, tak chyby programátora a je potřebné je eliminovat. Finální verze programu by měla být stabilní a měli by u ní být odladěny možné chyby způsobené funkcí programu.

Jako základ řídicího algoritmu byl použit algoritmus běžně používaný pro hledání cesty neznámým bludištěm. Tento algoritmus se jednoduše nazývá „Pravidlo levé ruky“ a jeho funkce je popsána zjednodušeným diagramem 6.1.

Testováním robotu bylo zjištěno, že použitím tohoto algoritmu lze změřit obvodové stěny měřeného prostoru. Zároveň bylo zjištěno, že podrobnější měření vnitřku měřeného prostoru je s použitím tohoto algoritmu nemožné. Řešení tohoto problému spočívá v návrhu zcela unikátního dynamického algoritmu, jež by byl schopen se přizpůsobit rozličným nástrahám vnitřních prostor. Řešení je zároveň podmíněno použitím dokonalejších snímačů na základě laser-optického snímání.



Obrázek 6.1: Algoritmus „pravidlo levé ruky“

Závěr

V rámci bakalářské práce byl navrhnout a vyroben autonomní robot, který umožňuje měření uzavřených prostor. Dále byla provedena analýza snímačů a platform běžně používaných v mobilní robotice.

Cennou částí práce se stal rozsáhlý průzkum oblasti měření vzdálenosti. Tato část se obzvláště zaměřila na laser-optické a ultrazvukové měření vzdálenosti. Jelikož jsou komerční laser-optická měřidla vzdálenosti cenově nedostupná, bylo přistoupeno k vývoji vlastního řešení. Toto řešení nebylo možné dovést k dokonalosti z důvodu náročnosti a rozsahu celého procesu. Pro aplikaci byla tedy použita ultrazvuková měřidla, jejichž vlastnosti jsou dostačující.

Na vytvořeném robotu bylo provedeno velké množství testů s cílem maximalizovat přesnost měření vzdálenosti. Během těchto testů se ukázalo, že je robot schopen změřit i složitěji tvarovaný prostor s přesností do $\pm 10\%$. Tato měření byla prováděna v idealizovaném prostředí bez přítomnosti větších překážek

Budoucí vývoj by měl být obzvláště zaměřen na laser-optické měření prostoru a algoritmizaci explorační neznámého prostředí. Během vývoje bylo zjištěno, že pouze rozsah těchto dvou samostatných částí by mohl značně přesáhnout rozsah bakalářské práce. Na základě těchto poznatků bude práce dále rozvíjena během navazujícího studia.

Seznam použité literatury

- [1] GIRLING, Gary. *Raspberry Pi: a practical guide to the revolutionary small computer*. Sparkford, 2013. ISBN 978-0-85733-295-0.
- [2] WARREN, John-David. *Arduino robotics*. New York, NY, c2011, xxiv. Technology in action series. ISBN 978-1-4302-3183-7.
- [3] BANZI, Massimo. *Getting Started with Arduino 3rd release*. Milano: Ineraction Design Lab, 2012.
- [4] TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika*. Praha: Europa-Sobotáles, 2002. ISBN 80-867-0600-1.
- [5] SIEGWART, Roland. *Introduction to autonomous mobile robots*. 2. Vydání. Massachusetts Institute of Technology, 2011. Intelligent robotics and autonomous agents. ISBN 978-0-262-01535-6.
- [6] LAPIN, Adam. *Using an Ultrasonic Sensor (HC-SR04) on a Raspberry Pi with Python*. [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://www.bytecreation.com/blog/2013/10/13/raspberry-pi-ultrasonic-sensor-hc-sr04>
- [7] ŠKODA, Libor. *Chyby měření: základní pojmy*. [online]. [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: http://www.fjfi.cvut.cz/files/k402/pers_hpgs/skoda/prime_mereni1.pdf
- [8] MAXON, Kenneth. *A Real-time Laser Range Finding Vision System*. [online]. [cit. 2013-08-01]. Dostupné z: <http://www.seattlerobotics.org/encoder/200110/vision.htm>
- [9] FLORES, Eduardo. *Laser Range Finder with OpenCV*. [online] [cit. 2013-09-12]. Dostupné z: <https://github.com/eduardofv/lrf/blob/master/doc/img/model2-800.png>
- [10] *Sharp GP2Y0A21*. [online]. [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: <http://www.inmotion.pt/store/images/INM-0135.jpg>
- [11] HUNT-SMITH, Robin. *XYZ: Axis*. [online]. [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: http://www.adobe.com/support/freehand/basics/3d_animations/images/xyz.gif
- [12] HUSÁK, Miroslav. *Akcelerometry: Přednáška*. [online]. [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/X34SES/prednasky/08%20Akcelerometry.pdf>
- [13] VOJÁČEK, Antonín. *Integrované MEMS GYROSKOPY*. [online]. [cit. 2014-02-07]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/integrované-mems-gyroskopy>

- [14] HONEYWELL. *3-Axis Digital Compass IC HMC5883L*. Plymouth, MN, 2013. Dostupné z: http://www.adafruit.com/datasheets/HMC5883L_3-Axis_Digital_Compass_IC.pdf
- [15] JURÁSEK, Antonín a Miroslav Hrabovský. *EAGLE: návrhový systém pro začátečníky : uživatelská a referenční příručka*. 1. Vydání. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-730-0177-2.

Seznam použitých zkratek

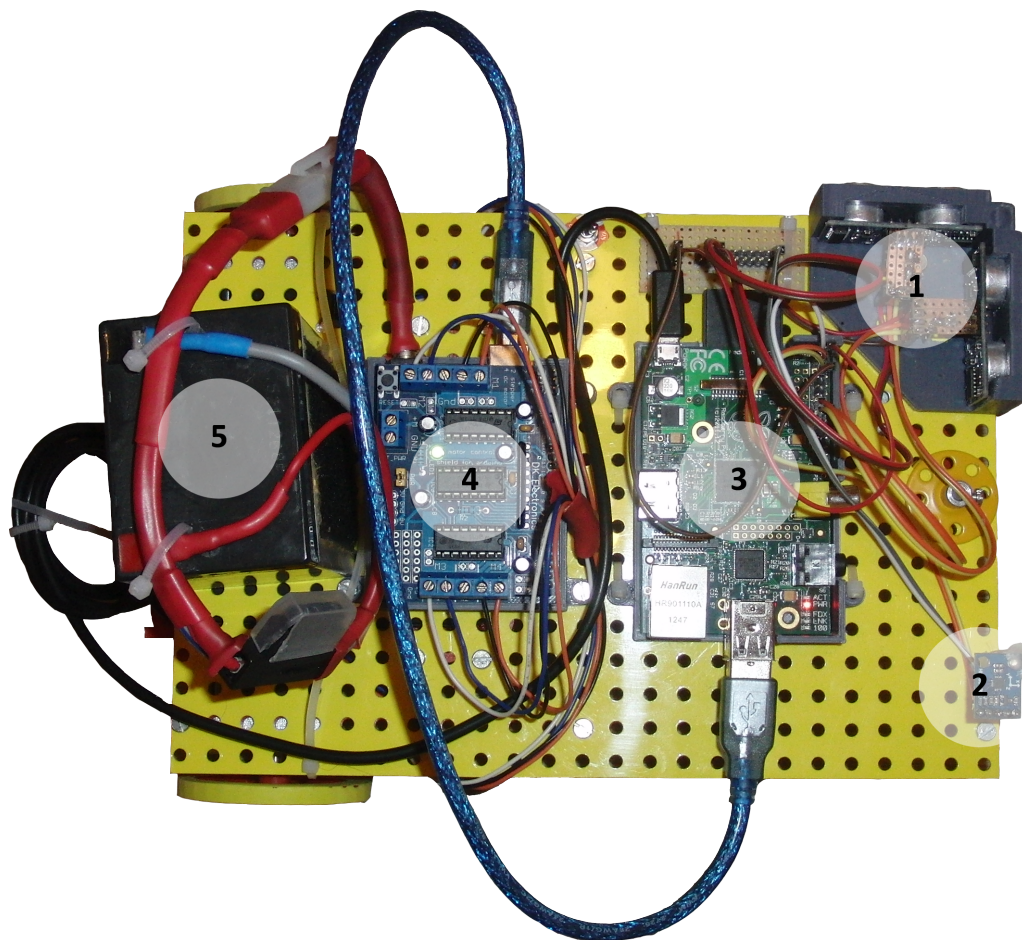
A/D	Analogově Digitální
ARM	Advanced RISC Machine
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DC	Direct Current
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphic Processing Unit
HW	Hard Ware
I2C	Inter Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IR	Infra Red
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
LOG0	Logická 0
LOG1	Logická 1
PC	Personal Computer
RAM	Random Access Memory
SD	Secure Digital
SOC	System On Chip
SPI	Serial Peripheral Interface
TTL	Transistor Transistor Logic
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter

Přílohy

Seznam příloh

- A) Popis robotu
- B) Naměřené hodnoty
- C) Schéma zapojení
- D) Řídící program Raspberry Pi
- E) Řídící program Arduino
- F) Výkresy navržených držáků

A. Popis robotu



Obrázek A.1: Horní pohled

1. Ultrazvukové snímače
2. Magnetometr
3. Raspberry Pi
4. Arduino Uno
5. Napájecí baterie

B. Naměřené hodnoty

KLS12	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
	10,047	20,001	30,019	40,023	50,018	59,973	70,042	80,068	89,929	100,083	110,025	119,932	130,115	140,193	150,255
	10,021	20,033	29,987	40,024	49,975	60,048	69,993	80,024	90,061	100,07	110,092	119,857	129,837	140,197	150,329
	10,006	20,027	30,019	39,985	50,013	60,012	69,955	79,954	90,057	99,99	109,891	120,017	129,982	139,993	149,541
	10,028	19,962	30,011	39,98	50,002	60,018	70,023	79,958	90,039	100,039	109,863	120,098	130,162	140,034	150,143
	10,034	20,022	30,01	39,991	49,979	59,953	69,976	79,958	90,052	99,952	110,084	119,979	129,821	139,854	149,572
	9,998	19,963	29,982	39,995	50,011	59,963	69,951	79,972	89,939	100,054	110,124	119,874	129,868	139,769	150,418
	10,043	20,025	30,016	39,994	50,004	60,024	69,97	80,034	90,039	99,914	109,968	119,854	129,812	139,965	150,367
	10,034	19,976	29,992	40,01	49,99	60,012	70,03	80,028	90,047	100,085	110,134	120,003	129,947	139,714	149,97
	9,999	20,038	29,995	40,004	50,003	59,988	69,965	79,969	89,944	99,977	109,926	120,01	129,805	139,946	150,049
	9,965	20,018	29,994	40,006	50,009	59,999	70,002	79,931	90,051	99,945	110,121	120,113	130,108	140,278	149,746
	10,008	19,954	29,992	40,023	49,986	59,998	70,032	79,981	89,997	99,932	110,064	119,956	130,004	139,791	149,53
	10,006	20,046	30,001	39,992	49,998	59,964	70,002	80,011	89,955	99,996	110,065	119,858	130,065	139,895	149,656
	10,026	19,993	30,003	40,022	50,02	60,047	69,996	80,067	90,001	100,028	109,95	120,059	130,13	139,913	149,873
	10,005	19,968	30,017	39,994	50,005	60,039	70,048	79,938	89,975	99,921	109,891	119,873	129,918	139,899	150,343
	10,05	20,05	30,02	40,003	49,985	60,049	69,95	80,072	89,968	100,031	110,011	119,919	129,94	139,859	149,514
	9,988	19,954	30,001	39,987	50,011	60,026	69,969	79,953	90,01	100,1	109,953	120,088	130,004	139,744	150,268
	10,008	20,021	29,979	40,011	49,993	60,028	69,983	79,957	89,966	100,002	110,1	119,962	130,003	139,793	150,283
	10,031	20,016	29,987	39,978	49,988	60,01	70,012	79,95	89,956	100,064	109,921	119,872	130,167	139,812	150,025
	10,008	20,019	29,981	39,996	49,991	60,035	70,031	79,966	89,975	100,018	110,145	120,102	129,868	139,807	149,761
	10,005	20,003	30,003	39,993	49,989	60,004	70,003	80,026	90,004	99,938	109,909	119,929	130,168	139,792	149,749
	9,976	19,989	30,003	40,01	49,979	59,965	70,026	80,011	89,945	100,048	110,127	120,061	130,184	139,826	149,947
	10,016	20,003	29,999	40,003	49,992	60,006	69,98	79,994	90,055	110,094	119,971	130,072	140,096	150,317	
	10	20,008	29,987	40,012	50,016	60,038	70,007	80,059	89,927	100,058	110,003	119,881	130,1	140,258	149,875
	10,031	19,979	29,995	39,979	50,016	60,001	70,045	79,932	90,055	100,033	109,918	119,973	130,137	139,845	150,313
	9,973	19,997	29,994	40,015	50,021	60,036	70,02	80,032	89,961	110,085	119,891	130,042	139,79	150,005	
	10,048	19,971	30,012	40,023	50,014	60,017	70,02	80,062	90,033	99,997	110,096	120,073	130,146	140,105	150,083
	9,995	19,954	29,994	40,015	49,985	60,007	70,007	79,961	89,983	99,964	110,1	120,086	129,935	139,716	149,778
	10,029	20,043	30,001	40,001	50,01	59,985	70,045	80,065	90,072	99,964	109,962	120,005	129,83	139,888	150,078
	9,99	19,95	29,983	40,022	50,024	59,954	69,975	79,948	89,942	99,95	109,961	119,959	129,901	140,01	149,876
	9,972	19,976	30,021	40,016	50,021	60,007	69,954	80,02	89,948	100,016	109,893	119,952	129,805	140,071	150,03
	9,961	20,018	30,016	39,992	49,984	60,043	69,971	80,01	90,035	100,002	109,86	120,113	129,871	140,268	149,888
	9,982	19,996	29,979	39,998	50,004	60,047	70,015	80,025	90,017	100,021	110,101	120,014	129,877	139,862	150,052
	9,98	20,04	30,024	40,012	50,001	59,96	70,029	80,069	90,012	99,915	109,942	119,923	130,056	140,054	150,329
	9,978	20,046	30,024	40,019	50,015	59,956	69,976	79,931	89,929	100,034	110,134	120,063	130,182	140,223	149,995
	10,041	20,038	30,003	40,012	50,022	59,971	69,981	80,069	90,028	110,131	120,012	130,049	140,209	149,529	
	9,966	20,019	30,001	40,019	49,991	60,046	69,993	80,071	90,023	100,038	109,87	119,935	130,022	140,196	149,623
	9,965	19,956	29,977	39,999	49,989	60,013	70,017	80,023	89,95	100,096	110,085	120,014	130,156	139,913	149,924
	10,042	20,019	30,021	39,977	50,022	60,008	69,981	80,041	89,928	100,098	109,914	120,131	130,074	140,209	149,979
	10,043	19,978	30,006	39,975	50,022	59,951	69,994	80,073	89,969	100,032	110,082	119,896	130,029	140,157	150,486
	9,95	19,961	30,025	40,002	50,023	60,013	69,964	79,994	90,003	99,96	110,144	119,932	130,028	139,881	150,445
	9,994	19,97	29,998	40	50,008	59,97	69,984	79,927	89,984	100,098	110,024	119,921	130,001	140,217	149,587
	10,045	19,984	29,987	39,981	50,014	59,984	69,958	79,96	90,033	100,018	109,903	120,043	129,958	140,102	150,2
	10,049	19,975	29,987	39,987	49,983	59,956	70,013	79,944	90,034	100,092	110,124	120,139	130,092	140,148	150,191
	10,005	20,049	30,017	39,993	49,979	59,993	70,034	80	90,064	99,936	109,997	120,047	129,808	139,96	149,599
	10,037	19,972	29,994	39,997	50,007	60,036	70	79,989	90,064	99,948	109,989	120,054	130,01	140,297	149,825
	10,023	20,046	30,025	39,983	50,019	59,987	69,972	79,969	90,011	99,982	110,017	120,092	130,2	139,874	149,599

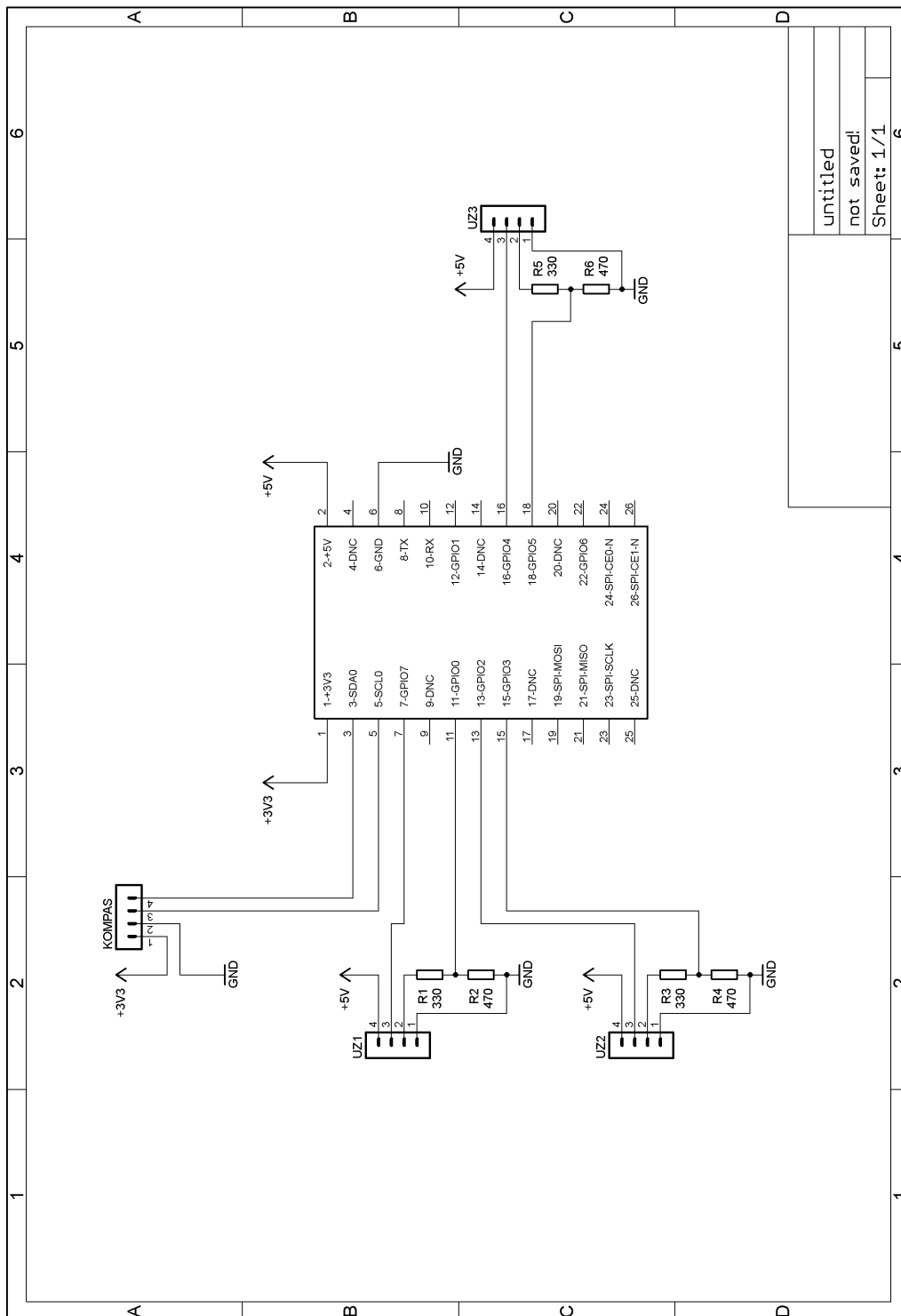
Obrázek B.1: Hodnoty naměřené na snímači KLS12

SRF04

9,968	20,0285	30,224	40,0995	50,056	59,875	69,844	80,0365	90,105	100,0555	109,939	119,951	130,0025	140,01	150,0305	160,131	170,1625	180,098	190,001	200,138
10,069	20,1695	29,889	39,9095	49,815	59,9685	70,067	79,9035	89,876	99,9555	110,12	119,941	130,0875	139,905	149,8805	160,034	170,1745	180,062	190,174	200,991
9,769	19,9945	29,894	40,1995	49,978	60,0495	69,998	79,9915	90,009	99,9235	109,89	120,113	129,9495	139,884	150,0925	160,014	169,8965	180,178	189,804	200,024
10,149	19,9995	30,199	40,0925	49,841	59,8965	69,913	79,8895	90,112	100,0215	110,112	120,106	129,9165	140,131	150,0335	160,014	169,8305	179,827	190,063	199,927
10,231	19,8475	30,167	40,0735	50,173	59,8485	69,927	79,8575	90,003	100,0215	109,992	119,944	129,9075	139,946	150,0305	159,966	170,1205	180,15	190,192	200,098
10,136	19,9325	30,178	39,9915	50,004	59,9615	69,995	80,0185	90,851	99,9245	110,105	119,898	130,0825	139,996	150,0185	159,939	169,9905	179,937	190,145	200,088
9,789	20,2285	29,977	39,8355	49,919	60,1685	70,016	80,0795	89,969	99,968	109,897	119,926	129,9185	139,871	150,0115	159,994	169,9565	179,919	189,805	200,227
9,833	19,9315	30,15	39,9715	50,192	60,0495	70,086	79,9445	90,023	99,9035	109,947	120,092	129,9205	139,918	150,0525	160,002	170,1665	180,063	189,847	200,24
10,006	20,1325	29,963	40,0015	49,961	59,9765	70,115	79,8815	90,055	99,8715	109,952	119,893	129,9265	140,093	149,9845	159,932	169,8715	180,19	190,148	199,981
9,901	19,9915	30,142	40,0715	49,813	59,9135	69,865	79,8615	90,013	100,1165	110,105	120,017	130,0315	140,102	150,0675	159,909	169,8835	180,078	190,104	199,79
9,876	19,9865	30,206	40,0835	50,145	59,8495	70,172	79,8565	90,001	99,9985	110,042	119,986	130,0055	139,92	150,1145	159,943	169,8585	180,126	189,955	199,847
10,048	20,0475	29,941	40,0935	50,13	60,0425	70,101	80,0795	90,079	100,0875	109,996	120,026	129,8885	140,031	149,9995	159,996	169,9165	180,047	190,167	199,861
9,9	20,0625	30,059	40,1165	50,155	59,8205	69,946	79,8915	89,992	100,0145	110,099	120,083	130,0955	139,87	149,9365	160,046	170,0265	180,106	189,785	200,132
9,832	19,9955	29,8	40,0245	50,175	60,1585	69,828	79,9975	90,047	99,8665	109,881	119,9	130,0265	139,877	149,9705	160,017	169,9225	180,119	190,072	199,915
9,891	20,1815	30,077	40,1305	50,083	60,0195	70,173	80,0315	89,927	99,9635	110,052	119,98	130,0385	139,988	150,0655	159,956	169,9845	179,829	190,114	199,894
9,959	20,2025	29,846	40,0345	49,931	60,0495	70,15	79,8445	89,92	99,9675	110,114	120,068	129,8905	140,081	150,0985	159,955	169,8605	179,869	190,088	199,96
10,09	19,8935	30,106	39,9245	50,022	59,9565	69,988	80,1245	90,108	99,9465	110,122	120,061	130,0805	139,869	149,9055	159,973	170,0015	179,854	190,133	199,9
9,832	20,1005	30,129	39,9395	49,948	59,8945	69,898	79,8465	89,857	100,0295	109,92	119,958	130,0405	139,922	149,8985	160,105	169,9065	180,03	189,784	199,865
9,81	20,0965	30,129	39,9395	49,948	59,8945	69,898	79,8465	89,857	100,0295	109,92	119,958	130,0405	139,922	149,8985	160,105	169,9065	180,03	189,784	199,865
9,93	20,1085	30,099	39,9145	49,863	59,8405	70,132	79,9575	90,134	100,0715	110,082	120,009	129,9045	139,882	149,9715	159,927	169,8555	179,827	189,982	200,025
9,874	20,0695	29,901	39,9135	49,88	60,1075	69,873	79,9225	90,107	99,8925	110,101	120,044	130,0935	140,113	149,8955	159,892	169,9315	179,942	190,045	200,038
10,231	20,1245	29,897	39,7875	49,946	59,9195	69,863	80,0505	90,114	99,9645	109,887	120,042	130,0335	140,141	150,1475	159,865	170,1645	179,932	189,871	199,953
9,921	19,9865	29,991	40,1235	50,13	59,8375	69,991	80,1155	89,931	99,9515	109,891	119,888	130,0735	139,915	149,9965	159,909	169,9285	180,172	190,13	200,155
10,13	20,0665	30,057	40,0505	49,97	60,1835	69,887	80,0115	89,933	100,0555	110,075	119,993	129,9425	140,012	149,9795	160,113	170,1075	179,896	190,026	199,844
10,004	20,0275	29,951	39,8805	49,93	60,1075	70,067	79,9605	89,873	100,1195	110,084	120,083	129,9085	139,954	150,1445	160,14	169,8985	180,055	189,946	199,766
9,893	20,1005	29,89	39,8545	49,929	60,1135	69,994	80,0115	89,897	100,0845	110,068	120,123	130,0325	140,044	150,0125	159,836	169,8675	180,084	189,871	199,993
9,966	20,0915	29,87	39,8705	50,04	60,0805	69,893	79,9685	90,025	99,9685	109,985	120,014	129,9325	140,048	149,9725	160,097	170,1195	180,108	189,902	200,147
9,967	19,8535	29,92	39,8685	49,818	59,8175	70,019	80,0315	89,85	100,1245	109,903	119,877	129,8815	139,912	150,1205	160,133	169,8205	180,036	190,178	200,117
9,777	19,9345	30,079	39,8605	49,912	59,8325	70,175	80,1525	89,915	99,9745	110,047	119,954	130,1305	139,939	149,9575	159,844	169,9385	179,985	190,007	200,052
9,878	20,0605	29,92	39,8185	49,906	60,0665	69,86	79,8795	89,948	99,9515	109,883	120,109	129,9275	140,133	149,8515	160,038	170,0705	180,044	190,214	199,892
9,816	19,9795	30,147	39,9175	50,063	60,0025	70,133	79,9885	89,878	99,9845	109,965	119,972	130,0165	140,103	149,8845	160,07	170,1195	179,936	189,802	199,788
9,771	19,7695	30,061	40,1905	49,917	59,9275	70,038	79,8395	90,14	99,9585	110,063	119,906	130,1225	139,915	150,0545	159,841	170,1315	179,853	189,859	199,988
10,079	20,2355	29,972	40,1815	49,851	59,9165	69,944	79,8465	90,1	100,0265	109,891	119,921	129,8785	139,944	149,9185	160,118	169,8705	179,914	189,927	199,797
9,778	20,1985	29,999	39,8635	49,873	60,0765	69,949	79,9335	89,852	99,9405	110,119	119,905	129,9165	139,877	149,9795	160,108	169,9885	179,966	190,136	199,825
9,972	20,0255	30,074	39,9585	50,081	60,1245	70,075	79,8535	90,065	100,0945	110,086	119,946	130,1095	140,021	150,0855	160,005	170,0525	179,989	190,117	199,918
10,083	19,7935	30,188	39,8095	50,023	59,9015	70,124	80,0795	90,075	100,1095	109,955	120,035	130,1085	139,927	150,0435	159,896	169,9945	180,095	189,958	200,221
10,151	20,0895	29,89	40,1675	50,095	59,8645	69,91	80,0865	90,075	100,1355	110,09	120,106	130,0925	139,978	149,9115	159,942	169,9665	179,959	190,21	200,074
9,785	20,0075	29,864	40,0595	49,921	60,0475	69,971	80,0265	89,971	100,0595	109,922	119,921	129,9625	139,941	150,0555	159,912	169,8825	179,857	190,012	199,818
10,076	19,8095	29,905	39,9565	50,005	59,9265	70,022	80,0095	89,899	99,9225	109,957	119,929	129,9185	140,023	150,1275	160,143	169,9615	180,189	189,813	200,141
10,153	19,9695	29,887	39,8885	49,906	59,8755	70,114	80,0175	89,923	100,1115	110,073	119,942	130,0045	140,014	150,1475	160,005	169,8895	180,14	190,176	199,829
10,204	20,0695	29,819	40,0775	50,137	60,0005	69,887	79,8695	89,918	99,9185	109,985	119,949	130,0825	139,957	150,0165	160,132	169,8825	180,148	190,059	200,003
10,067	19,7995	29,912	39,8365	49,972	60,0265	70,014	79,8715	89,895	99,9685	110,125	120,033	130,0735	140,064	150,0235	159,899	170,0015	179,833	190,152	199,767
10,113	20,0785	30,002	40,1925	50,047	60,0055	69,918	80,1215	89,992	100,0435	109,946	120,017	130,0865	139,85	149,9485	160,159	170,0695	180,181	190,096	200,054
9,775	20,0505	30,168	40,0175	49,879	59,8925	69,961	79,8975	89,981	100,0255	109,968	120,057	129,9025	139,956	149,9175	159,902	169,9085	180,141	189,82	200,114
10,204	20,2115	30,217	40,0145	50,179	59,8385	70,057	80,0695	90,086	99,9985	110,018	120,055	130,0665	140,013	149,9905	159,933	169,9625	179,989	190,178	200,22
10,088	19,8545	30,155	39,9025	50,185	60,1145	70,046	79,9335	90,103	99,9755	110,023	119,878	130,1375	140,105	149,9705	160,098	169,8545	179,9	189,78	200,226

Obrázek B.2: Hodnoty naměřené na snímači SRF04

C. Schéma zapojení



Obrázek C.1: Schéma zapojení snímačů k Raspberry Pi

D. Řídící program Raspberry Pi

```
import serial
import RPi.GPIO as GPIO
import time
import thread
import smbus
import math

ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 9600)
bus = smbus.SMBus(1)
address = 0x1e

GPIO.cleanup()
GPIO.setmode(GPIO.BCM)

TRIGF = 23
ECHOFF = 24
TRIGS = 27
ECHOS = 22

GPIO.setup(TRIGF, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ECHOFF, GPIO.IN)
GPIO.setup(TRIGS, GPIO.OUT)
GPIO.setup(ECHOS, GPIO.IN)

file = open("data.txt", "w") #vytvoreni souboru pro ukladani
file.close()

distf = 0
dists = 0

x_off = 65
y_off = -56

def read_byte(adr):
    return bus.read_byte_data(address, adr)

def read_word(adr):
    high = bus.read_byte_data(address, adr)
    low = bus.read_byte_data(address, adr+1)
    val = (high << 8) + low
    return val

def read_word_2c(adr):
```

```

    val = read_word(adr)
    if (val >= 0x8000):
        return -((65535 - val) + 1)
    else:
        return val

def write_byte(adr, value):
    bus.write_byte_data(address, adr, value)

def otoc():
    cilovy = smer() + 70
    if cilovy >= 360:
        cilovy = cilovy - 360
    aktualni = 0
    while aktualni < cilovy:
        ser.write("r")
        aktualni = smer()
        if cilovy < 70:
            if aktualni > 290:
                aktualni = 0
        time.sleep(0.2)
    ser.write("f400")
    time.sleep(1)

def smer():
    scale = 0.92

    x_out = (read_word_2c(3) - x_off) * scale
    y_out = (read_word_2c(7) - y_off) * scale
    z_out = (read_word_2c(5)) * scale

    bearing = math.atan2(y_out, x_out)
    if (bearing < 0):
        bearing += 2 * math.pi
    time.sleep(0.01)
    return int(math.degrees(bearing))

def save(text):
    file = open("data.txt", "a")
    file.write(text + "\n")
    file.close()

write_byte(0, 0b01110000) # 8 vzorku 15Hz
write_byte(1, 0b00100000) #
write_byte(2, 0b00000000) # Kontinualni mereni
wallen = 0

```

```

while 1:
    time.sleep(0.1)
#-----
    GPIO.output(TRIGF, False)
    GPIO.output(TRIGF, True)
    time.sleep(0.00001)
    GPIO.output(TRIGF, False)
    while GPIO.input(ECHOF) == 0:
        start = time.time()
    while GPIO.input(ECHOF) == 1:
        stop = time.time()
    elapF = stop - start
    distf = elapF * 17000
#-----
    if distf < 20:
        ser.write("b")
        if dists < 20:
            save(str(walllen * 0.0942) + "\t" + str(smer()))
            walllen = 0
            otoc()

    if distf > 26:
        if 11 < dists < 19:
            vz = 0
            vz = int(distf/0.0942) -12
            walllen += vz
            ser.write("f"+str(vz))
    if 11 < distf < 14:
        ser.write("s")
#-----
    time.sleep(0.1)
    GPIO.output(TRIGS, False)
    GPIO.output(TRIGS, True)
    time.sleep(0.00001)
    GPIO.output(TRIGS, False)
    while GPIO.input(ECHOS) == 0:
        start = time.time()
    while GPIO.input(ECHOS) == 1:
        stop = time.time()
    elapS = stop - start
    dists = elapS * 17000
#-----
    if dists < 10:
        if dists < 11:
            ser.write("r")
            time.sleep(0.3)

```

```
if dists > 20:
    if dists > 19:
        ser.write("l")
        time.sleep(0.3)
    #if dists > 100:
    #    ser.write("f"+str(int(20/0.0942)))
```

```
GPIO.cleanup()
```

E. Řídící program Arduino

```
#include <AccelStepper.h>
#include <AFMotor.h>

//definice motoru
AF_Stepper motor1(200, 1); //nastavit kroky a vystup
AF_Stepper motor2(200, 2); //nastavit kroky a vystup

//deklarace promennych
String content = "";
char character;
int kroky = 0;
int mem1 = 0;
int mem2 = 0;

//nastaveni smeru otaceni a krokovani motoru
void forwardstep1() {
    motor1.onestep(FORWARD, SINGLE);
}
void backwardstep1() {
    motor1.onestep(BACKWARD, SINGLE);
}
void forwardstep2() {
    motor2.onestep(FORWARD, SINGLE);
}
void backwardstep2() {
    motor2.onestep(BACKWARD, SINGLE);
}

AccelStepper stepper1(forwardstep1, backwardstep1);
AccelStepper stepper2(forwardstep2, backwardstep2);

//funkce obsluhujici pamet kroku pri upravach smeru
void jed(int mot1, int mot2)
{
    if(mem1 == 0 && mem2 == 0)
    {
        mem1 = stepper1.distanceToGo();
        mem2 = stepper2.distanceToGo();
    }
    stepper1.move(0);
    stepper2.move(0);
    delay(10);
    stepper1.move(mem1);
```

```

    stepper2.move(mot2);
}

//nastaveni arduina
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    Serial.write("Here we go\n");
    Serial.setTimeout(10);

    stepper1.setMaxSpeed(500);
    stepper1.setAcceleration(2000);

    stepper2.setMaxSpeed(500);
    stepper2.setAcceleration(2000);
}

//hlavni programova smycka
void loop()
{
    //obsluha seriove linky
    while(Serial.available() > 0) {
        character = Serial.read();

        if (character == 'f' && stepper1.distanceToGo() == 0)
        {
            kroky = Serial.parseInt();
            jed(-kroky,-kroky);
            kroky = 0;
        }
        else if (character == 'b')
        {
            jed(44,44);
        }
        else if (character == 'r')
        {
            jed(-220,220);
        }
        else if (character == 'l')
        {
            jed(220,-220);
        }
        else if (character == 's')
        {
            stepper1.move(0);
            stepper2.move(0);
        }
    }
}

```

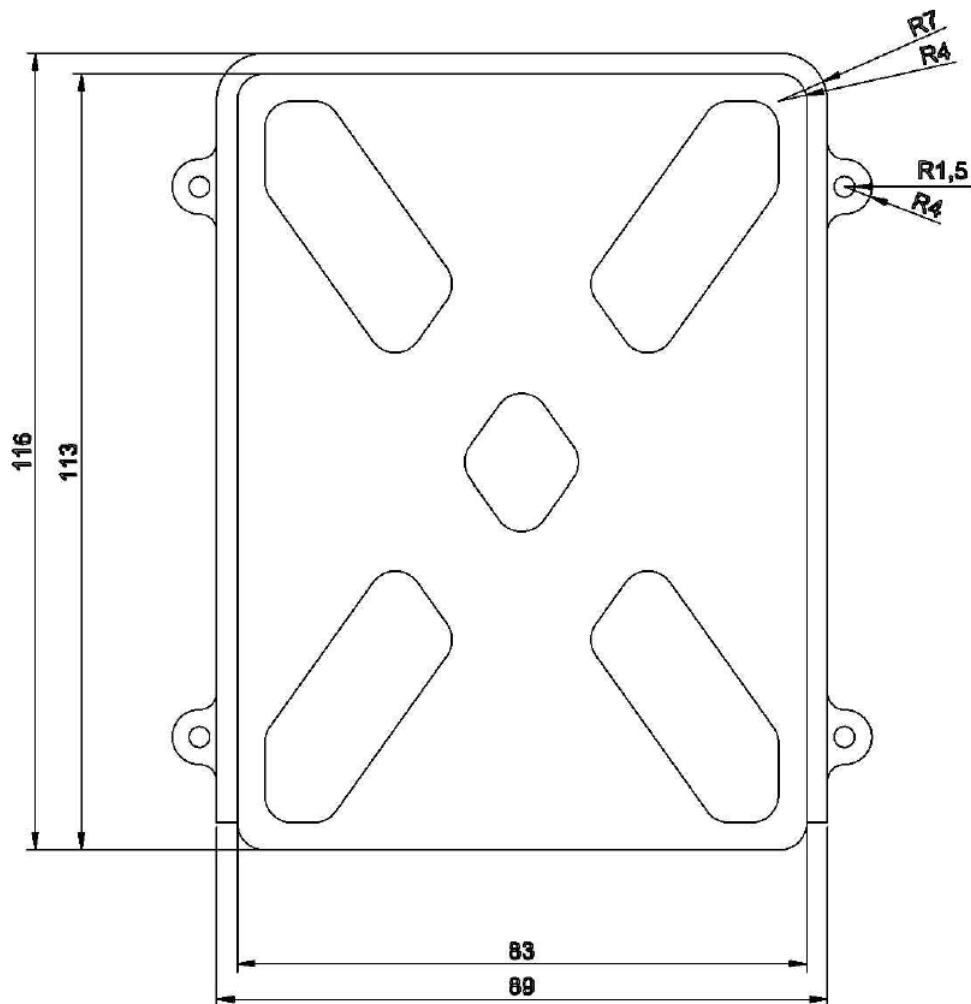


```
        mem1 = 0;
        mem2 = 0;
    }
    content.concat(character);
}

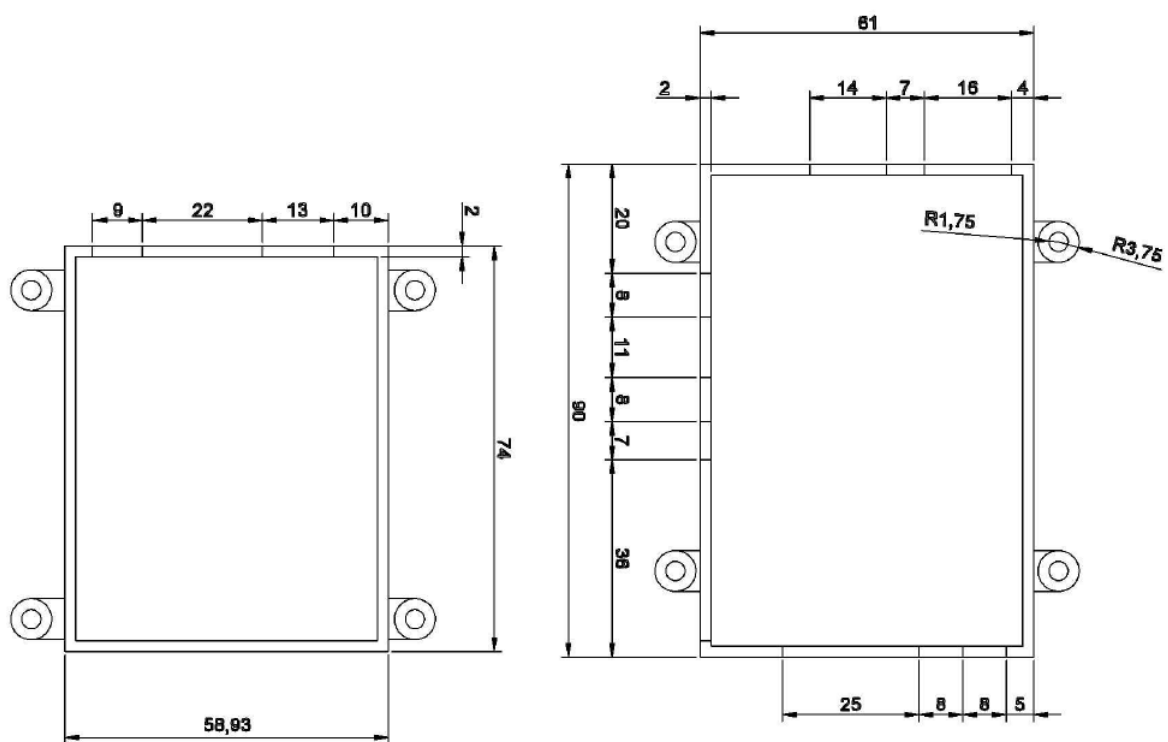
//obsluha obnovy pameti kroku
if (stepper1.distanceToGo() == 0 && mem1 != 0 && mem2 != 0)
{
    jed(mem1,mem2);
    mem1 = 0;
    mem2 = 0;
}

//spusteni motoru
stepper1.run();
stepper2.run();
}
```

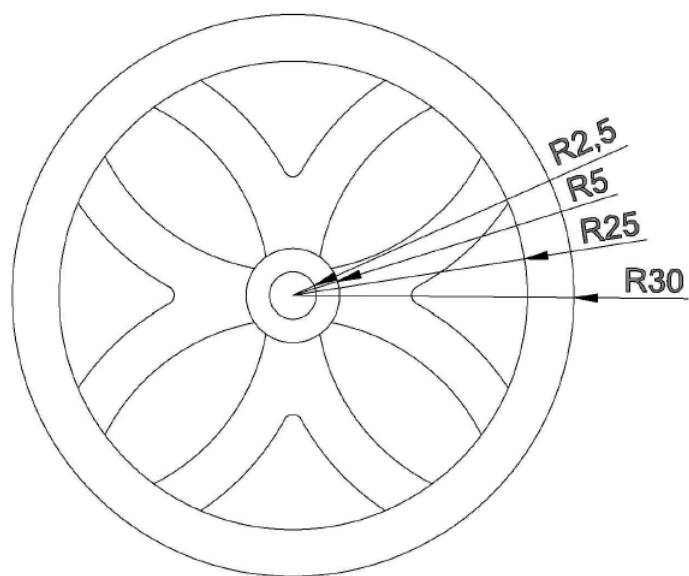
F. Výkresy navržených držáků



Obrázek F.1: Držák baterie Belkin



Obrázek F.2: Držáky Platform Raspberry Pi a Arduino



Obrázek F.3: Držáky Platforem Raspberry Pi a Arduino