VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

VŠESMĚROVÝ MOBILNÍ ROBOT – DETEKCE PŘEKÁŽEK

MECANUM WHEEL MOBILE PLATFORM – DETECTION OF OBSTACLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Ondřej Pollach
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Roman Parák
SUPERVISOR

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automatizace a informatiky
Student:	**Ondřej Pollach**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Roman Parák**
Akademický rok:	2018/19

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

Všesměrový mobilní robot – detekce překážek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zahrnovat rešerši problematiky v oblasti všesměrových mobilních robotů a seznámení se s řídicími prostředky společnosti B&R Automation a vývojovým prostředím Automation Studio. Předmětem práce bude návrh řešení detekci překážek v reálnem čase. Následovat bude implementace a ověření navrženého řešení simulací a následně na reálném hardwaru. Senzorika umožní řešit kolize s živou i neživou překážkou. Pohony i přídavná senzorika budou řízeny, resp. využívány pokročilým programovatelným automatem firmy B&R Automation.
Práce předpokládá aktivní přístup studenta, nutnost práce v laboratoři a absolování školení ve firme B+R Automatizace, spol. s.r.o se sídlem v Brně.

Cíle bakalářské práce:

Seznamte se s řídicími prostředky společnosti B&R Automation a vývojovým prostředím Automation Studio.
Proveďte stručnou rešerši v oblasti všesměrových mobilních robotů.
Diskutujte možná řešení detekci kolizí.
Vyberte vhodné řešení a proveďte jeho realizaci.
Ověřte funkčnost vytvořeného řešení.

Seznam doporučené literatury:

Bernecker&Rainer. Perfection in Automation. http://www.br-automation.com/

CUBERO, Sam: Industrial robotics: theory, modelling and control.Mammendorf: Pro-Literatur-Verl.

IMRAMOVSKÝ, J. Všesměrové podvozky robotů v digitální výrobě. Brno: Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 47 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Branislav Lacko, CSc..

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Závěrečná práce je zaměřena na řešení problému detekce kolizí na všesměrovém robotu pomocí vybraných infračervených senzorů. Signály ze senzorů jsou zpracovávány pomocí mikroprocesoru Arduino Mega 2560, v němž je proveden přepočet a následná aproximace výstupních signálů jednotlivých senzorů. Aproximovaná data jsou poté posílána přes USB do mikropočítače Raspberry Pi 3 model B, ze kterého výsledné hodnoty putují skrze Ethernetovou síť do programovatelného logického automatu společnosti B&R Automation. Konečnou fází projektu je vizualizace zpracována pomocí Automation studia od firmy B&R.

ABSTRACT

Bachelor thesis is focused on detection of obstacles on omnidirectional mobile robot. Infrared sensors are being used to solve this problem. Signals from sensors are processed in microcontroller Arduino Mega 2560, where main computation and aproximation is included. Aproximated data are sent via USB to microcomputer Raspberry Pi 3 model B. Raspberry shares this data with PLC from B&R Automation company using Ethernet network. Final part of the project is visualisation, which is developed in B&R Automation studio.

KLÍČOVÁ SLOVA

Senzor, všesměrový mobilní robot, robotické platformy, měření vzdálenosti, Arduino, BR Automation

KEYWORDS

Sensor, omnidirectional robot, robot platforms, distance measurement, Arduino, BR Automation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POLLACH, Ondřej. *Všesměrový mobilní robot – detekce překážek.* Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Ing. Roman Parák.

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Romanu Parákovi za pomoc a ochotu během celého procesu tvorby práce. Dále bych rád poděkoval rodině a přátelům, kteří mi byli oporou během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Romana Paráka a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 24. 5. 2019 ……

Ondřej Pollach

OBSAH

1 ÚVOD 15

2 B&R AUTOMATION 17
2.1 Ethernet POWERLINK 17
2.2 mapp technology 18
2.3 OPC UA 18
2.4 openSAFETY 18
2.5 Automation Studio 19

3 MOBILNÍ ROBOTICKÉ PLATFORMY 21
3.1 Typy kol 21
3.1.1 Standardní (zafixovaná) kola 21
3.1.2 Orientovatelná kola 21
3.1.3 Koulové kolo 22
3.1.4 Všesměrová kola 22

4 PROSTŘEDKY NA MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI 25
4.1 Ultrazvukové senzory 25
4.2 Infračervené senzory 26
4.3 LIDAR 27
4.4 3D kamery 29

5 NÁVRH A IMPLEMENTACE ŘEŠENÍ ZPRACOVÁNÍ SENZORŮ 31
5.1 Vybrané senzory a jejich schematické zapojení 31
5.2 Arduino a použitý script 32
5.3 Přenos informací z Raspberry Pi do PLC a vizualizace 39

6 ZÁVĚR 41

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 43

8 SEZNAM PŘÍLOH 47

1 ÚVOD

Robotika je vědní obor, který je nějakým způsobem zakomponován téměř ve všech oblastech nynějšího každodenního života. Tento obor se nadále rozvíjí, a to směrem autonomie, kdy jsou vyvíjeny systémy, s nimiž se robotické platformy dokáží samovolně pohybovat v rámci daného prostředí. Aby tohoto cíle bylo dosaženo, je třeba zajistit, aby řídící jednotka měla k dispozici údaje o poloze jak robota, tak překážek, které se kolem robota nacházejí. Aplikaci měřící techniky se nelze v tomto případě vyhnout. Senzory a kamery na snímání polohy neposkytují ovšem přímo hodnoty vzdálenosti, ale většinou jen změny napěťového signálu, proto je potřeba programu, který s těmito signály je schopen pracovat a vyčíst z nich reálnou vzdálenost objektů od robota.

Tato bakalářská práce je zaměřena hlavně na zpracování výstupních signálů ze senzorů a následné poslání přepočtených hodnot dále do případné řídící jednotky, kde se výsledky mj. vizualizují pro lepší přehlednost pro uživatele. Celý měřicí systém se skládá z několika částí. První z nich jsou samotné senzory, které byly vybrány tak, aby dokázaly snímat předměty a rychle reagovat na změny jejich polohy, zároveň není kladen přílišný důraz na přesnost měření (odchylka může dosahovat až jednotek cm), důležité je jen to, aby robot měl informace o překážkách kolem sebe a měl dostatek času, aby se objektům vyhnul. Druhou důležitou částí je Arduino, k němuž jsou senzory připojené. Výstupní signály ze senzorů jsou připojeny na vstupní analogové piny, na nichž se v závislosti na vzdálenosti mění napětí. Toto se díky programu nahranému na Arduino přepočítává a aproximuje pro hladší výsledky. Z Arduina dále informace putují přes USB do Raspberry Pi, které v tomto případě pracuje pouze jako prostředník mezi Arduinem a PLC (Raspberry je implementováno z důvodu pozdějšího využití další měřicí techniky, případně jiných zařízení). Komunikace s konečným adresátem systému (PLC) je zprostředkována pomocí Ethernetové sítě. Nakonec je v programu B&R Automation studio za pomoci modulárních funkcí modulu *mappView* vytvořena vizualizace, která poskytuje přehledný popis situace, v níž se robot nachází.

2 B&R AUTOMATION

B&R Automation je soukromá firma zaměřující se na automatizaci v průmyslu. Byla založena roku 1979 v rakouském Eggelsbergu pány Erwinem Berneckerem a Josefem Rainerem. Společnost má v současné době 190 poboček ve více než 70 zemích světa, mezi něž spadá od roku 1997 i Česká republika, a zaměstnává přes 3400 lidí. Produkty B&R Automation je možno najít ve velkém spektru průmyslových odvětví, a to například v automobilovém průmyslu, potravinářském průmyslu, energetice, chemickém průmyslu, metalurgii, robotice, elektronice, plastikářském průmyslu a mnoha dalších.

Mezi nejdůležitější produkty vyvinuté touto firmou patří průmyslová PC, řídící systémy, bezpečnostní systémy a také software Automation Studio, který obsahuje nástroje pro všechny fáze projektu. [1][2]

Obr. 1 Logo firmy B&R Automation [2]

2.1 Ethernet POWERLINK

Ethernet POWERLINK byl přiveden na trh v roce 2001 a jedná se o následníka klasické technologie sběrnic. POWERLINK byl vyvinut, protože pro různé automatizační úlohy bylo potřeba využívat různých sběrnic a poté také různých nástrojů a modulů rozhraní, což naráželo na omezení diagnostiky a infrastruktury. Díky vysokému výkonu a funkce reálného času na základě globálního standardu Ethernet je možné zkombinovat do jediné sítě i ty nejnáročnější úkoly řízení, robotiky, CNC a řízení pohybu. Je zde využit model producent/konzument pro zlepšení propustnosti sítě. Další výhodou je vysoká přenosová rychlost (až 100 MB/s) a přesnost synchronizace (asi 100 ns). [3]

2.2 mapp technology

Mapp je aplikace, která v sobě zahrnuje několik modulárních funkčních bloků, díky nimž je vytváření software pro daný systém intuitivnější a o mnoho rychlejší. Každý funkční blok obsahuje několik funkcí připravených k použití. Celý mapp představuje plug-in pro vývojové prostředí B&R Automation Studio. Níže je uvedeno několik příkladů jednotlivých funkčních bloků a jejich použití. [4]

- *mapp Control* obsahuje algoritmy například k ovládání hydraulických zařízení, jeřábů a zpracování plastů.
- *mapp Motion* přináší uniformní řešení pro veškeré oblasti řízení pohybu – ať už se jedná o jednoosé či víceosé systémy nebo o robotiku a CNC aplikace.
- *mapp Safety* zjednodušuje zavedení a použití bezpečnostních prvků do systému. Operátor může bezpečnostní parametry nastavovat jednoduše pomocí HMI aplikace.
- *mapp View* slouží k vytváření intuitivních vizualizací a je založeno čistě na webových standardech, díky čemuž je možné vizualizace zobrazovat na jakýchkoli zařízeních (telefon, tablet, počítač). Obsahuje užitečné funkce v modulárních blocích *widgets*, které lze aplikovat i bez znalostí použitých programovacích jazyků (HTML5, CSS).

2.3 OPC UA

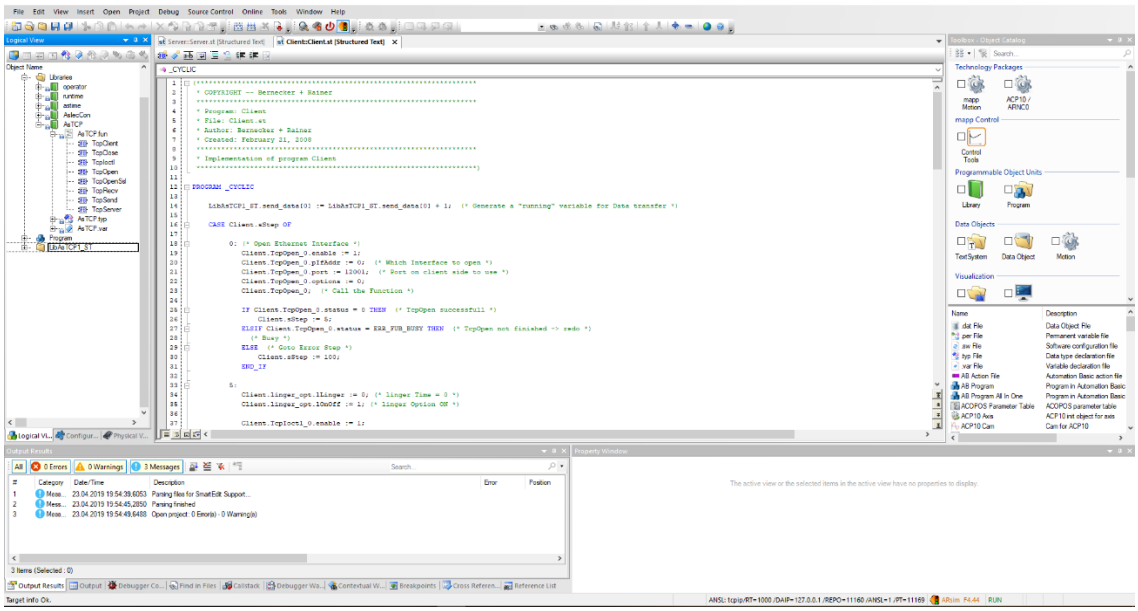
OPC UA je komunikační standard vyvinutý OPC Foundation a využití nachází hlavně v průmyslové automatizaci. Jedná se o technologii založenou na široce využívaných komunikačních protokolech jako například TCP/IP, SOAP nebo HTTP, což zajišťuje fungování na všech typech platforem (Windows, Linux, Mac, Android). Pomocí OPC UA je možno sbírat informace z různých zdrojů v reálném čase, monitorovat bezpečnostní systémy, sbírat historická data aj. Díky své celkové flexibilitě, nezávislosti a zabudovaným bezpečnostním mechanismům se OPC UA považuje za ideální komunikační protokol pro průmysl 4.0. [5]

2.4 openSAFETY

OpenSAFETY představuje nezávislý komunikační protokol používaný pro přenos informací, které jsou důležité k zajištění bezpečnosti v různých průmyslových odvětvích. Dříve byla bezpečnost řešena pomocí speciálních relé, která byla propojena s kontrolním systémem. Použití protokolu openSAFETY nevyžaduje implementaci žádné kabeláže ani dalších elektrických prvků. Tento protokol dokáže přenášet bezpečnostní data prostřednictvím jakékoli sběrnice. [6]

2.5 Automation Studio

Automation Studio (AS) je integrované vývojové softwarové prostředí, které obsahuje nástroje pro všechny fáze projektu. AS šetří čas potřebný na uvedení systému do provozu i peněžní náklady díky možnosti programovat řízení, komunikace i vizualizace bez použití dalšího software. Uživatel má k dispozici několik programovacích jazyků, mezi něž patří Strukturovaný text, Ladder diagram, Function Block Diagram, Instruction List, Automation Basic, Sequential Finction Chart, ANSI C a ANSI C++. Tyto jazyky lze v rámci jednoho projektu libovolně kombinovat. AS obsahuje rovněž pluginy, knihovny a diagnostické nástroje k usnadnění celkové práce s projektem i následné sledování a opravování tohoto projektu. Další výhodou je možnost simulace projektu bez reálného hardware. [7]



Obr.2 Náhled na rozhraní programu Automation Studio

3 MOBILNÍ ROBOTICKÉ PLATFORMY

Robotika je vědní obor, který v dnešní době má nespočet aplikací snad ve všech odvětvích lidského působení. Mobilní robotika se zabývá roboty, kteří se mohou pohybovat. Autonomní roboti, kteří se dokáží sami pohybovat v rámci určité oblasti mohou být užiteční například na automatizaci vnitropodnikové logistiky, kde je potřeba doplňovat materiál do regálů a přemisťovat výrobky, dále existují roboti určení na zneškodňování válečných min, sekání trávy, průzkum těžce dosažitelných oblastí, vysávání, a další. Každý z těchto robotů se přitom pohybuje po různém typu povrchu a jejich platformy a kola se zákonitě musí lišit.

3.1 Typy kol

3.1.1 Standardní (zafixovaná) kola

Tato kola mají 2 stupně volnosti a mohou robotem pohybovat dopředu nebo dozadu. Jedná se o nejjednodušší a nejběžnější variantu kol, kdy střed kola je připevněn k podvozku robota, úhel mezi podvozkem a rovinou kola je konstantní a jednotlivá kola jsou spojena s motory, díky čemuž je zajištěn pohyb a ovládání robota. [8]

Obr. 3 Standardní kola [9]

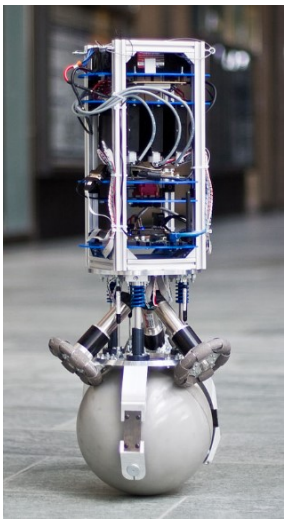
3.1.2 Orientovatelná kola

Tato kola jsou připevněna k vidlici, která zajišťuje polohu kol na daném místě. Orientovatelná kola bývají obyčejně využívaná k vyvážení robota než na samotné řízení. Rozlišují se dva typy těchto kol, a to *centrální* (osa vidlice se nachází ve vertikálním směru a prochází středem kola) a *necentrální* (osa vidlice je lehce vychýlená z vertikálního směru). Použití orientovatelných kol je vhodné v případě, kdy je dostatečně zajištěn pohon robota a zároveň by robot nemusel být v některých možných situacích stabilní.[8]

Obr. 4 Centrální (vlevo) a necentrální (vpravo) orientovatelné kolo [10]

3.1.3 Koulové kolo

Koulová kola obsahují sférické těleso z tvrdého materiálu (různé kovy, nylon) uložené v držáku. Využití je v několika ohledech složitější, než u ostatních typů kol. Při použití jediného koulového kola je problémem kontakt s povrchem pouze v jednom bodě, stabilita je poté často zajišťována pomocí gyroskopu. Nevýhodou může být i potřeba motoru s vysokým výkonem, kvůli velkému tření, které je potřeba překonávat. Také je třeba dbát na prostředí, v němž se robot s koulovým kolem bude pohybovat – tato kola nelze využít na nerovném terénu, za přítomnosti většího množství prachu nebo na mastných površích. [10]



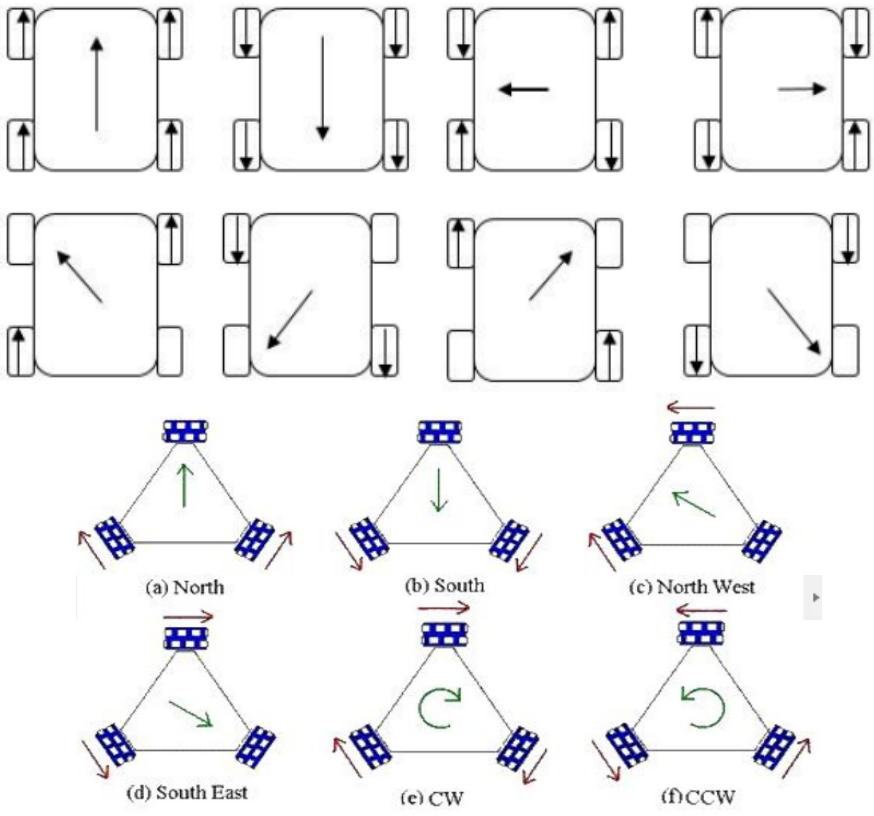
Obr. 5 Ballbot The Rezero [11]

3.1.4 Všesměrová kola

Všesměrová kola jsou nejlepší volbou pro robota, který vyžaduje pohyb do více směrů. Pohyb v axiálním směru kola je umožněn díky malým pasivním členům uložených po obvodu samotného kola. Pasivní členy mají většinou tvar válečků a jejich osa může být buď tečná k obvodu většího kola, nebo vychýlená o 45 ° od tečného směru, v závislosti na tomto uložení se tato kola dále dělí na *běžná všesměrová kola* a *mecanum kola*.

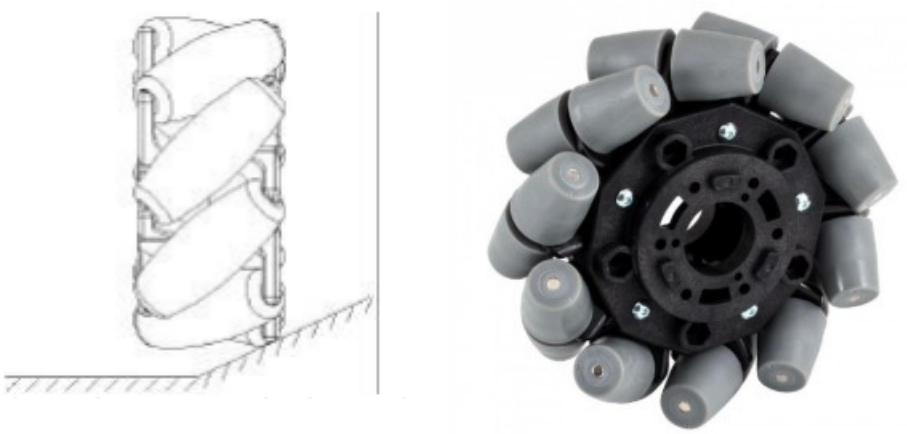
Obr. 6 Běžné všesměrové kolo (vlevo) a kolo mecanum (vpravo) [12][13]

Natočené válečky na kolech *mecanum* jsou schopny převádět část síly do normálového směru kola. Každé z kol je poháněno vlastním motorem, který může měnit smysl otáček. V závislosti na směru rotace a rychlosti jednotlivých kol se mění výsledný vektor síly, čímž je zajištěna možnost pohybu robota v jakémkoli směru bez nutnosti pootáčení samotných kol. V následujícím obrázku je ukázáno, jakým způsobem je upravován výsledný vektor síly určující zároveň směr pohybu.

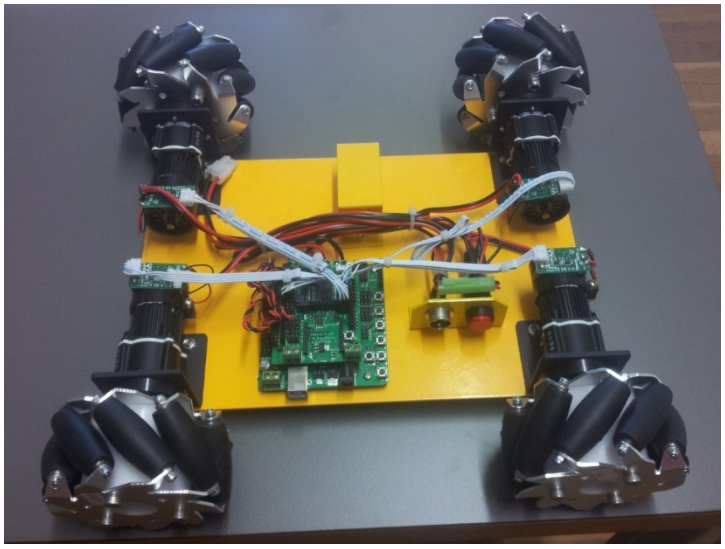


Obr. 7 Pohyb čtyřkolové a tříkolové všesměrové mobilní robotické platformy [14][15]

U všesměrových mobilních robotů se využívají podvozky, jež disponují třemi, nebo čtyřmi těmito koly, kdy tříkolový design je pro jisté aplikace dostačující, nicméně při aplikaci čtyř kol je dosaženo větší stability a únosnosti platformy. Tradiční modely kol typu mecanum nebyla optimální pro pohyb po nakloněných a nerovných površích z důvodu malé styčné plochy mezi kolem a zemí (obr. 8). Řešení poskytnul upravený model originálu, který využívá rozdělených těles připomínající soudek namísto celistvých válečkovitých útvarů, styčná plocha se v tomto případě zvětší a kolo má tak větší záběr. Největší nevýhodou oproti standardním (zafixovaným) kolům je jejich vysoká pořizovací cena. [15][16][17]



Obr. 8 Tradiční mecanum kolo na nakloněném povrchu (vlevo) a upravené mecanum kolo (vpravo) [16][17]

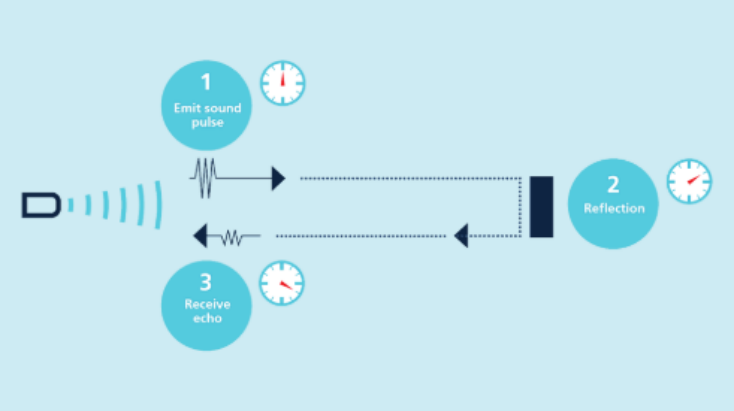


Obr. 9 Všesměrová mobilní robotická platforma vyvinutá na VUT FIT [18]

4 PROSTŘEDKY NA MĚŘENÍ VZDÁLENOSTI

4.1 Ultrazvukové senzory

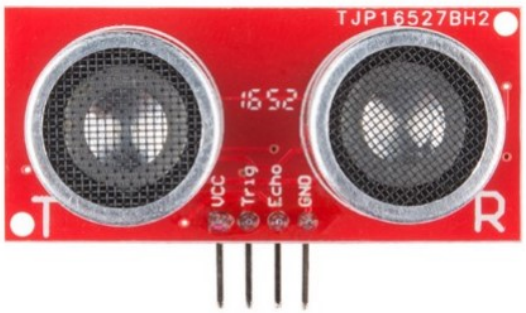
Ultrazvukový senzor prostřednictvím vysílače emituje krátké vysokofrekvenční zvukové pulzy, které se poté šíří vzduchem rychlostí odpovídající rychlosti zvuku v daném prostředí (pro vzduch je tato rychlost přibližně rovna 340 ms^{-1}). Jakmile zvuková vlna narazí na překážku, odrazí se a šíří se stejnou rychlostí zpět k senzoru, kde přijímač zachytí tento signál a na základě uplynulého času od vyslání impulzu se vyhodnocuje vzdálenost daného objektu od senzoru.



Obr. 10 Princip ultrazvukového senzoru [19]

Detekované objekty mohou být vyrobeny z téměř jakéhokoliv materiálu. Jediným omezením jsou materiály měkké, které dobře pohlcují zvuk. Ultrazvukové senzory jsou schopné zachytit předměty ve vzdálenosti od 20 mm až do 10 m. Na přesnost měření má vliv několik faktorů, jako je složení vzduchu a nečistoty v něm, vlhkost a teplota – rychlost zvuku ve vzduchu roste lineárně s teplotou. Při ideálních podmínkách je možné s některými senzory dosáhnout přesnosti až 0,025 mm. [20]

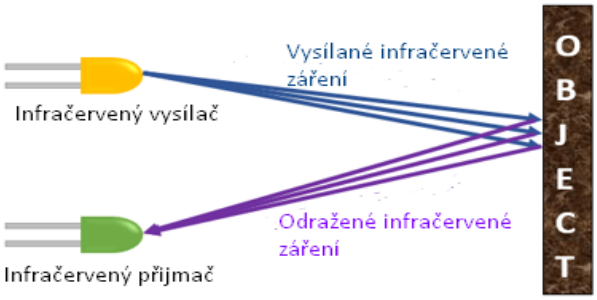
- Ultrazvukový senzor HC-SR04
  Umožňuje detekovat objekty ve vzdálenosti od 2 cm do 400 cm a v úhlovém rozpětí 15°, přičemž odchylka vzdálenosti může dosahovat až 3 mm. Základní princip tohoto senzoru je následující: modul přijme krátký vstupní signál (10 μs) a vysílač emituje 8 vysokofrekvenčních (40kHz) pulzů, které putují prostředím, odrazí se a dorazí k přijímači, který je zachytí a pomocí času a znalosti rychlosti zvuku v daném médiu se vypočte uražená vzdálenost. Senzor HC-SR04 je vhodný spíše na orientační lokalizování překážek okolo robota než na přesné měření vzdálenosti. Hlavní výhodou je pořizovací cena, která se pohybuje okolo 90 Kč. [21]



Obr. 11 senzor HC-SR04 [21]

4.2 Infračervené senzory

Infračervený senzor je elektronická součást, která vysílá a přijímá infračervené záření o vlnové délce od 750 nm do 100 000 nm. Vysílačem u tohoto typu senzoru bývá LED (dioda emitující světlo) a přijímačem je fotodioda, která je schopna infračervené záření detekovat. Princip je podobný jako u ultrazvukových senzorů, LED vyšle signál, který se pohybuje prostředím, dokud nenarazí na překážku, od které se odrazí a putuje zpět k fotodiodě, která signál zaznamená.



Obr. 10 Princip infračerveného senzoru

- Sharp GP2Y0A21YK0F
  GP2Y0A21YK0F je senzor na měření vzdálenosti využívající infračervené záření, které je vysíláno IRED (dioda vysílající infračervené záření) do okolí, po odrazu od objektu se vrací zpět, kde je signál zachycen PSD (detektor pozice). Dokáže rozpoznat překážky ve vzdálenosti od 10 cm do 80 cm s přesností ±3 mm. Pořizovací cena se pohybuje okolo 320 Kč. [22]

Obr. 12 Senzor Sharp GP2Y0A21YK0F [22]

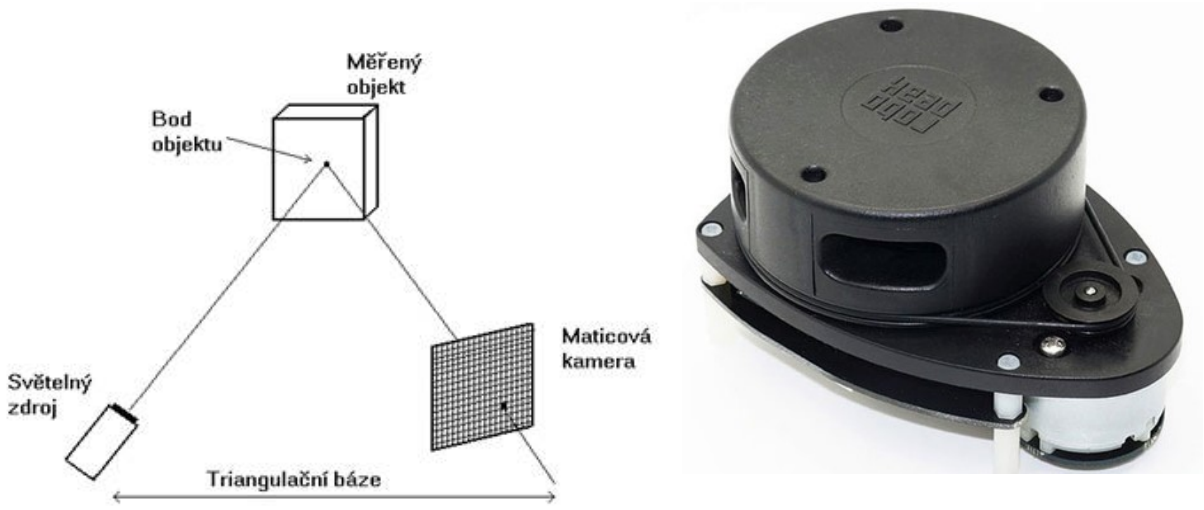
- Sharp GP2Y0A710K0F
  GP2Y0A710K0F je infračervený senzor stejně jako GP2Y0A21YK0F s rozdílem v rozsahu rozpoznatelné vzdálenosti a ve vlastní velikosti senzoru. Detekované objekty mohou ležet od 100 cm do 550 cm daleko od senzoru. Sharp GP2Y0A710K0F je o necelé 2 cm delší a o 1 cm širší než GP2Y0A21YK0F. Pořizovací cena je kolem 560 Kč. [23]

Obr. 13 Infračervený senzor Sharp GP2Y0A710K0F [23]

4.3 LIDAR

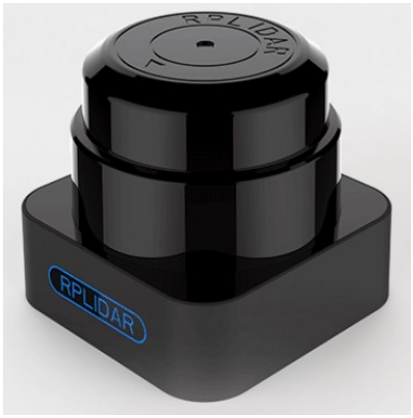
LIDAR je anglická zkratka pro Light Detection And Ranging (detekce a měření vzdálenosti pomocí světla). LIDAR je měřicí technologie využívající laserové pulzy pro získávání informací o vzdálenosti, které mohou poté být využity například na tvorbu 3D modelu sledovaného prostředí. Využití této technologie je široké – kromě určování polohy objektů v rámci robotiky se LIDARy hojně využívají například při mapování neznámého terénu, kdy se připevní několik senzorů na letadlo či dron a při průletu probíhá skenování dané oblasti. Ačkoli je tato technologie velmi užitečná a má mnoho výhod (možnost pořizování až desetitisíců snímků za vteřinu, dosah desítky metrů, možnost snímat objekty ve všech směrech a je použitelná v otevřených i uzavřených prostorách), je prozatím také relativně drahá v porovnání s ostatními možnostmi určování poloh objektů.

- RPLIDAR A1
  RPLIDAR A1 je založen na principu laserové triangulace, využívá vysokorychlostní získávání vize a hardware vyvinutý firmou Slamtec. Tento systém měří vzdálenost 8000krát za vteřinu. Jádro LIDARu rotuje ve směru hodinových ručiček pro dosažení 360° záběru okolí a poté vytváří jeho mapu. Frekvence otáčení motoru se může nacházet v rozmezí od 2 do 10 Hz v závislosti na PWM signálu vysílaného do motoru. Rozsah měřených vzdáleností se pohybuje od 0,15 do 12 m s odchylkou menší než 0,5 cm (do 1,5 m vzdálenosti), případně menší než 1 % z měřené vzdálenosti (pro celý rozsah). Úhlová odchylka je menší než 1 ° při frekvenci otáčení motoru nastavenou na 5,5 Hz. Rozměry LIDARu jsou 98,5x70x60 mm a cena se pohybuje kolem 2300 Kč. [24]



Obr. 14 Laserová triangulace a RPLIDAR A1 [25][26]

- RPLIDAR S1
  RPLIDAR S1 využívá na vyhodnocení vzdálenosti objektu metodu TOF (anglická zkratka odpovídá českému ekvivalentu *doba letu*), která počítá uraženou dráhu světla z jeho rychlosti a času, za který se od vysílače dostane k přijímači. Na rozdíl od triangulace tato metoda nevykazuje změnu v přesnosti měření se zvyšující se vzdáleností. RPLIDAR S1 je schopný rozpoznat objekty v okruhu až 40 m s odchylkou maximálně 3 cm a je odolný vůči vnějším vlivům, díky čemuž je jeho využití vhodné i na outdoorové aplikace. Co se velikosti týče, je menší než RPLIDAR A1, má rozměry 55,5x55,5x51 mm, ale jeho cena je téměř 7krát větší (15000 Kč). [27]

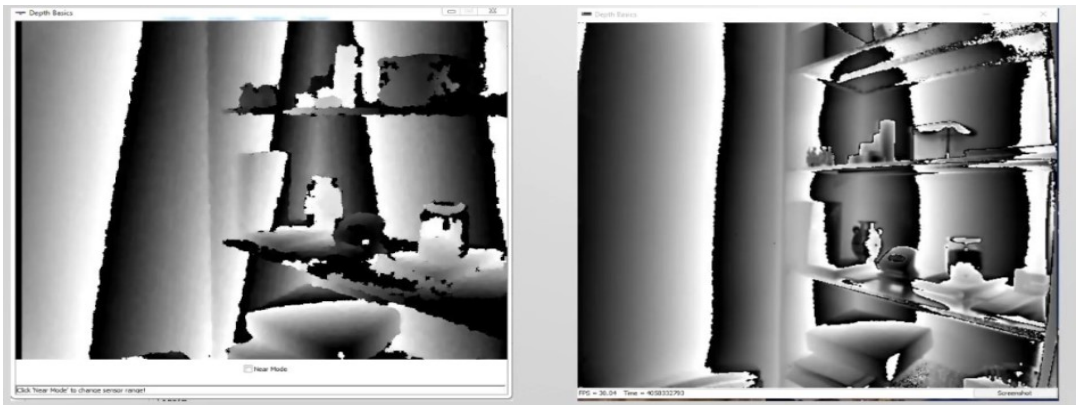


Obr. 15 RPLIDAR S1 [27]

4.4 3D kamery

3D kamery fungují na principu podobném lidskému zraku, kdy využívají 2 a více čoček pro zachytávání obrazu z více úhlů, nebo existují kamery využívající pouze jednu čočku, která ovšem mění svojí pozici. Získání více perspektiv z různých pozic umožňuje zjištění informací o třetím rozměru (vzdálenosti), tento princip se nazývá stereoskopie. Obecně vzato jsou informace o okolním prostředí z 3D kamer nejlepší z uvedených možností – hlavní výhodou je kvalitní vizualizace včetně barev a tvarů objektů. Na druhou stranu jsou ceny 3D kamer řádově vyšší než ceny obyčejných senzorů.

- Kinect v1 a Kinect v2
  Kinect v1 i Kinect v2 jsou 3D kamery vyvinuté společností Microsoft a primárně určená pro herní konzoli Xbox 360. Starší verze (Kinect v1) má rozlišení 640x480 pixelů a zaznamenává 30 snímků za sekundu, rozsah měřitelných vzdálenosti je 40–450 cm a úhlový záběr je 57 ° (horizontální směr) a 43 ° (vertikální směr). Kinect v2 má kameru s rozlišením 1920x1080 pixelů při 30 snímcích za vteřinu. Rozsah měřitelných vzdáleností je 50–450 cm a úhlový záběr je 70 ° (horizontální směr) a 60 ° (vertikální směr). Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma kamerami je v kvalitě obrazu (rozlišení) a v úhlovém záběru, který je větší u novějšího Kinectu v2. Porovnání je vidět na obrázcích níže. [28]

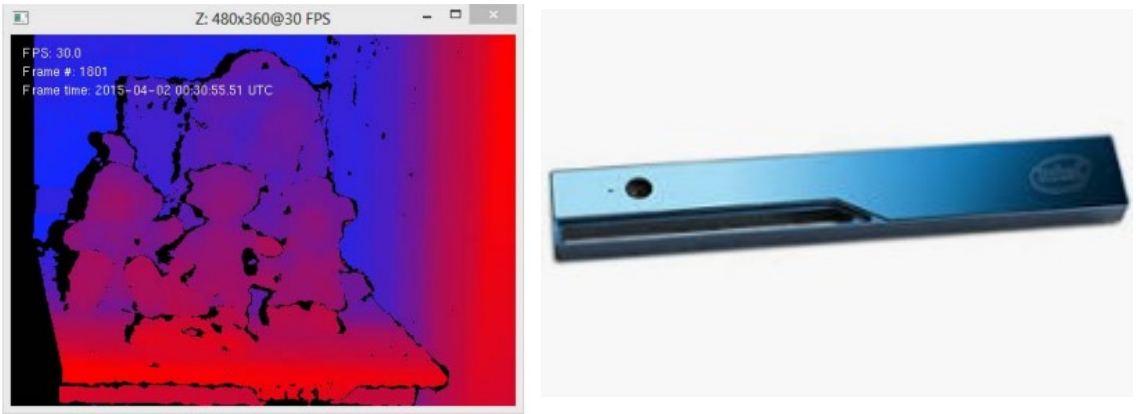


Obr. 16 Porovnání kamer Kinect v1 (vlevo) a Kinect v2 (vpravo) [29]

- Kinect Azure
  Kinect Azure je nejnovějším Kinectem od firmy Microsoft. Je kompaktnější než jeho předchůdci, je lehký a má celkově lepší parametry - RGB kamera například snímá v kvalitě 3840x2160. Ke Kinectu Azure existuje několik SDK (software development kit), které usnadňují práci se zaváděním kamery do provozu. Kinect je možno připojit k zařízení s operačním systémem Windows, nebo Linux. Kinect Azure bude na trhu k dispozici od 30. 8. 2019 a pořizovací cena je stanovena na 399 $ (asi 9 000 Kč). [30]

Obr. 17 Kinect Azure [30]

- Intel Realsense R200
  Intel Realsense R200 je modul, který zajišťuje 3D skenování na vzdálenosti od 0,4 do 2,8 m. Díky svému malému provedení (101,56x9,55x3,8 mm) se hodí na množství různých aplikací včetně autonomních robotů. R200 komunikuje skrze port USB 3.0 a poskytuje barevný obraz, infračervené video a informace o hloubce v podobě videa, kdy každému pixelu je přiřazena určitá hodnota reprezentující vzdálenost od kamery. [31]

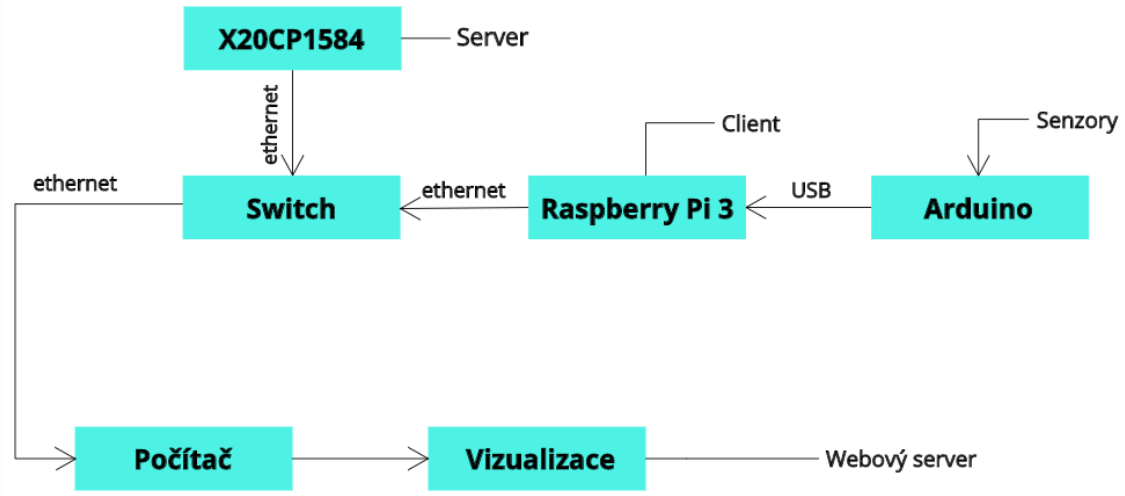


Obr. 18 Ukázka stylu zaznamenávání hloubky (vlevo)
a samotná kamera R200 (vpravo) [31]

5 NÁVRH A IMPLEMENTACE ŘEŠENÍ ZPRACOVÁNÍ SENZORŮ

Hlavní úkol bakalářské práce se zabývá hledáním optimálního řešení detekce kolizí na všesměrovém mobilním robotu, který má 4kolový podvozek s koly typu *mecanum*. Výběr prostředků pro detekci kolizí byl proveden na základě několika parametrů, a to na prostředí, v němž se bude robot pohybovat, objektů, které se v daném prostředí mohou nacházet a ceně samotných senzorů. Robot je určen pro pohyb v průmyslových halách či jiných uzavřených prostorách a kvůli velkému množství typů objektů, které se mohou v okolí robota objevit by bylo optimální využít kombinace několika různých měřicích prostředků, například levné ultrazvukové a infračervené senzory a jeden dražší LIDAR nebo 3D kamera. V rámci bakalářské práce byly využity pouze různé typy infračervených senzorů.

Signály ze senzorů jsou zpracovány v mikroprocesoru Arduino Mega 2560 (respektive jeho klonu). Zde jsou na základě změny napětí na jednotlivých pinech Arduina vyhodnoceny reálné snímané vzdálenosti. Vypočtené hodnoty jsou následně posílány přes USB do mikropočítače Raspberry Pi 3B+, který slouží jako prostředník mezi Arduinem a PLC, komunikace mezi Raspberry Pi a PLC je zprostředkována pomocí OPC UA, které využívá modelu server/klient. Raspberry Pi je zakomponován z důvodu budoucí potřeby 3D kamery nebo LIDARu, kdy je optimálnější připojit tyto měřící prostředky k Raspberry než Arduinu. Teoreticky by bylo možné využití pouze PLC, to by ale z důvodu vysoké ceny I/O karet zbytečně nákladné. Použitím Arduina snížíme počet potřebných karet z 5 na 1. Pro představu, 1 I/O karta stojí okolo 1500 Kč, kdežto Arduino lze pořídit do 1000 Kč.

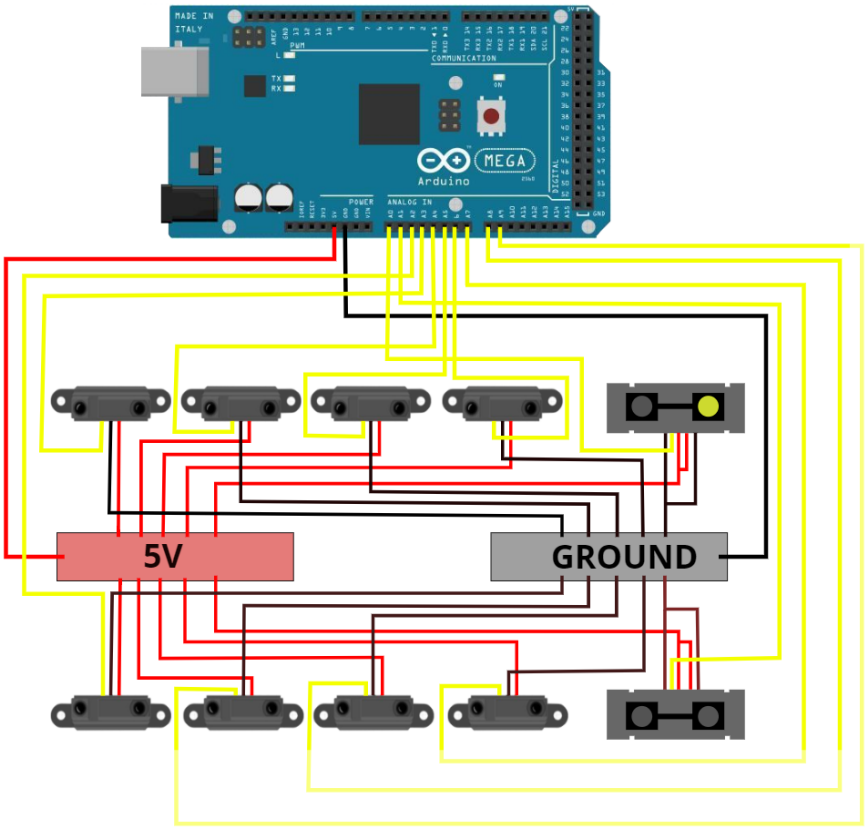


Obr. 19 Schematické zapojení celého systému řešení

5.1 Vybrané senzory a jejich schematické zapojení

Na základě parametrů uvedených výše bylo vybráno 8 senzorů Sharp GP2Y0A21YK0F, které jsou rozmístěny po dvou na každé ze 4 stran robotické mobilní platformy a měly by detekovat objekty vzdálené od 10 do 80 cm. Dále jsou využity 2 senzory Sharp GP2Y0A710K0F umístěné

po jednom v přední a zadní části robota, ty měří objekty vzdálenější, a to od 100 do 550 cm. Celkově je tedy využito 10 senzorů, což je důvod, proč bylo pro tuto aplikaci vybráno Arduino Mega 2560 (má 16 analogových pinů, oproti 6 analogovým pinům na Arduinu Uno). Všechny senzory sdílejí společný zdroj napětí (na obr. 20 červenou barvou) a rovněž zemnící dráty (na obr. 20 černou barvou) jsou spojeny. Signály ze senzorů (na obr. 20 žlutou barvou) jsou vyvedeny na jednotlivé analogové vstupní piny Arduina.

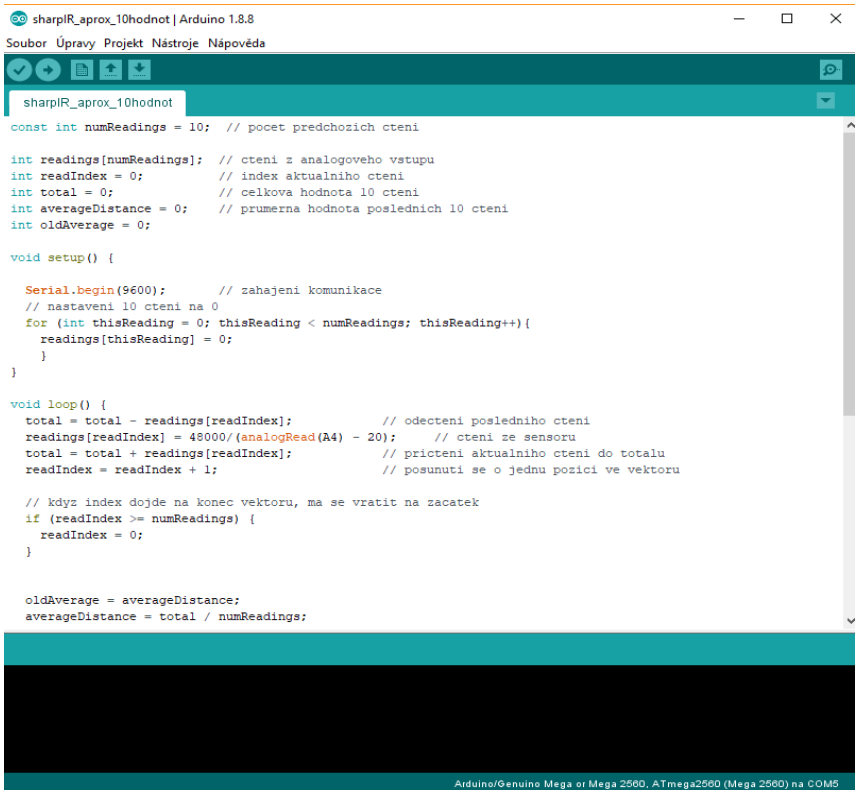


Obr. 20 Schéma zapojení senzorů do Arduina

5.2 Arduino a použitý script

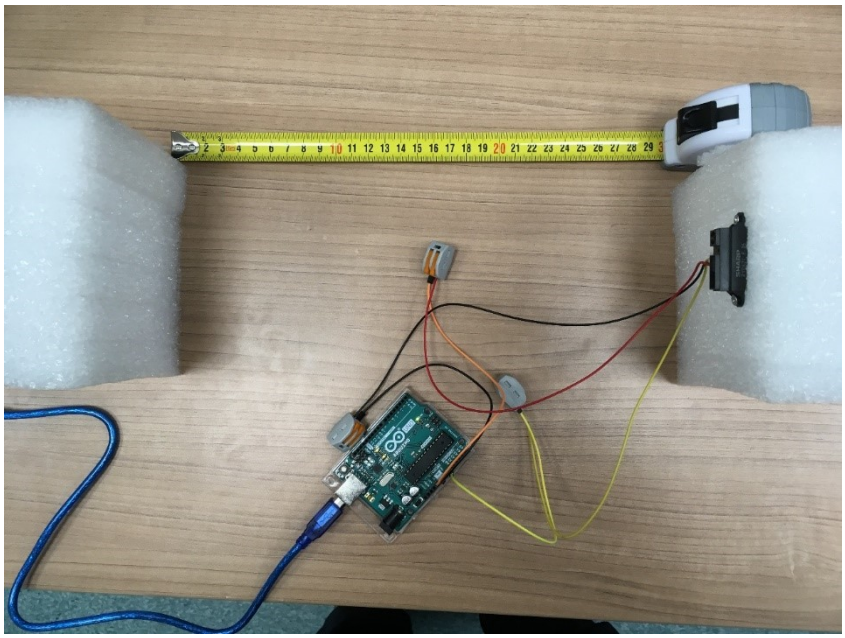
Arduino je otevřená elektronická platforma založená na uživatelsky jednoduchém hardware a software, byla totiž původně určena víceméně pro domácí kutily, studenty nebo začínající programátory. Arduino se díky svým rozměrům, ceně a vlastnostem stalo velice oblíbené a nyní nachází využití v mnoha projektech, v nichž se využívají senzory, menší motory, LED a další elektronické součástky využívající menšího napětí. Platforma obsahuje mikroprocesor programovatelný ve vývojovém prostředí Arduino IDE, které využívá vlastního programovacího jazyku podobného jazyku *C*. Software je k dispozici jako open source. Arduino disponuje několika analogovými a několika digitálními piny (množství záleží na typu desky), piny napěťové (3,3 V a 5 V) a zemnící piny.

Výstupní signály ze senzorů výrazně kolísají (obzvláště při větších měřených vzdálenostech), proto bylo třeba zahrnout do scriptu algoritmy pro zjemnění a aproximaci těchto signálů. Pro porovnání jsou dále uvedeny 3 grafy ze záznamu měření totožné vzdálenosti. Ve zkratce script zpracovává výstupní signály ze senzorů (přepočet změny napětí na vzdálenost, aproximace) a dále tyto informace posílá po sériové lince do Raspberry Pi ve formě stringu, s nímž poté pracuje Raspberry.

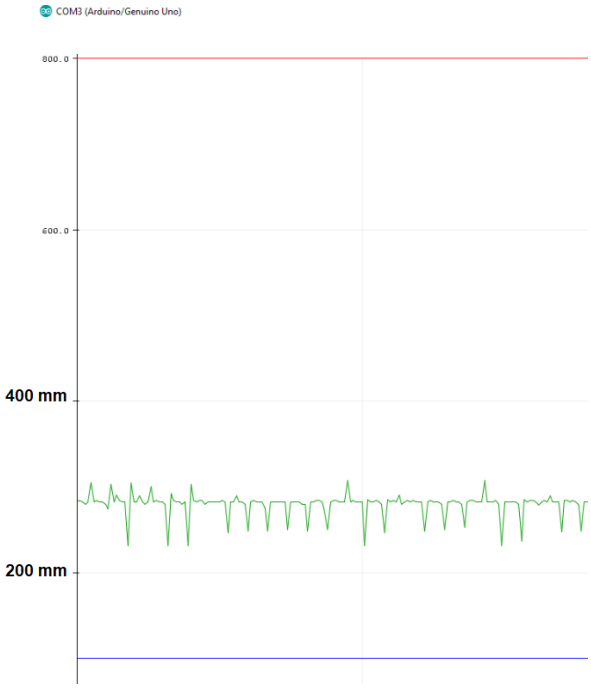


Obr. 21 Vývoj ové prostředí Arduino IDE

Obr. 22 Arduino Mega 2560 [32]

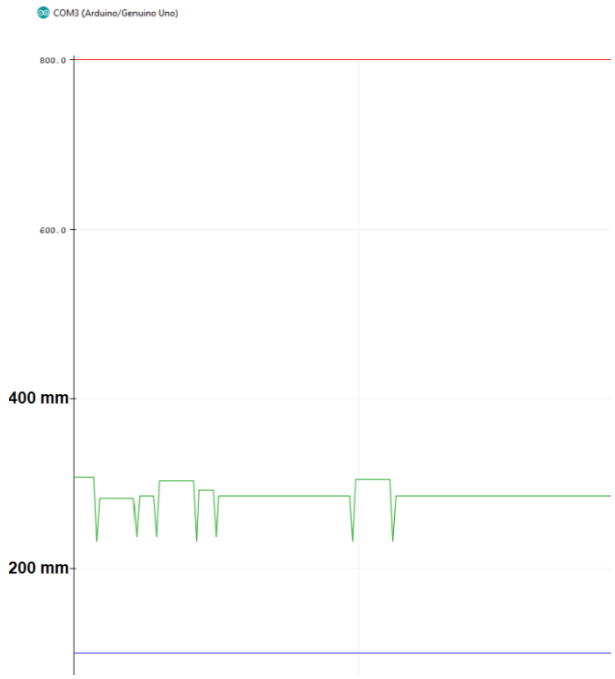


Obr. 23 Nastavená situace pro testování aproximace a zjemňování



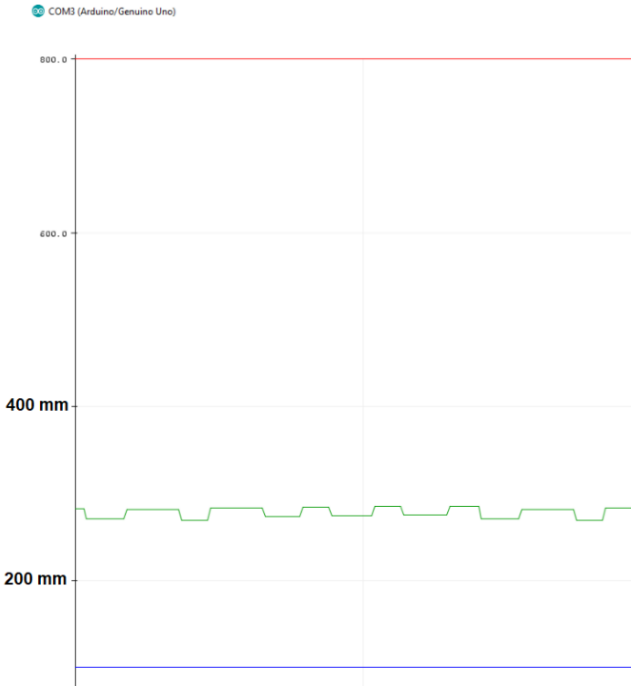
Obr. 24 Výsledky bez aproximace pro konstantní vzdálenost

Na obr. 24 je znázorněná měřená vzdálenost s časem. Hodnoty jsou vypočteny pouze z výstupního signálu z daného senzoru. Jde vidět, že i když se vzdálenost s časem reálně nijak nemění, zaznamenávané hodnoty vykazují velkou nekonzistentnost, hodnoty se odchylují od reality až o 50 mm. Hodnoty jsou omezeny akorát okrajovými podmínkami. Pokud je měřená vzdálenost větší než 800 mm, nebo menší než 100 mm, pak se hodnota přepíše na 800, respektive 100 mm. Je zřejmé, že je potřebná aproximace výsledků.



Obr. 25 Výsledky s aproximací pro konstantní vzdálenost

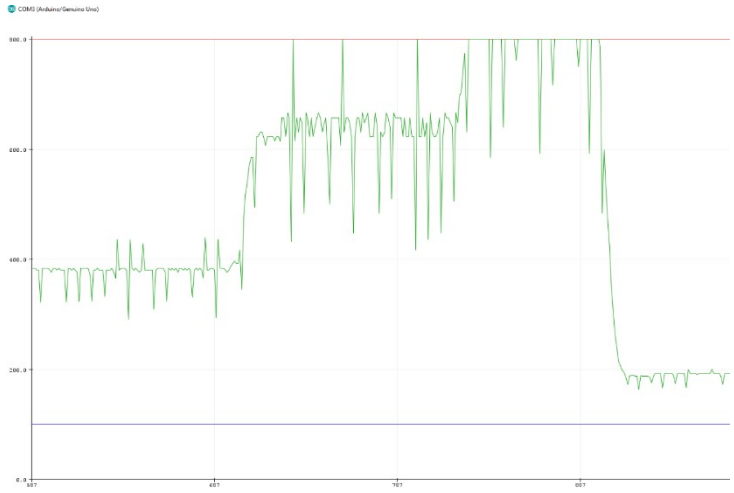
Na obr. 25 jsou znázorněny výsledky, které jsou v rámci scriptu aproximované. Aproximace byla provedena pomocí porovnání aktuální a předchozí hodnoty. Porovnávací podmínka byla ta, že pokud se aktuální hodnota liší od předchozí hodnoty o 20 mm nebo méně, pak se do aktuální hodnota přepíše na předchozí. Je aplikovaná rovněž okrajová podmínka pro krajní hodnoty měřitelného intervalu. Graf už je relativně stabilní, nicméně skoky od reálné hodnoty jsou stále velmi výrazné, proto byla provedena ještě jedna úprava.



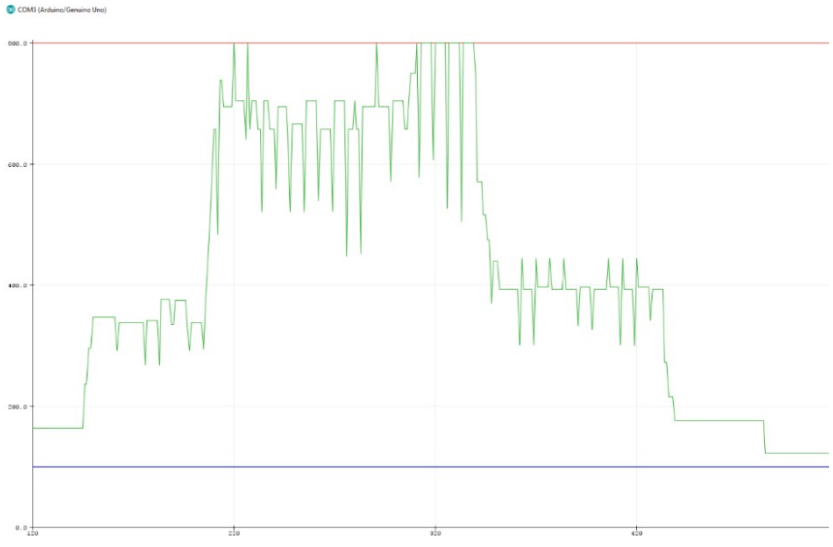
Obr. 26 Výsledky s aproximací a zjemněním pro konstantní vzdálenost

Výsledky z obr. 26 byly získány pomocí užití scriptu, který nejdříve vypočítal průměrnou hodnotu vzdálenosti z předchozích 10 měření a následně porovnal předchozí průměrnou hodnotu s průměrnou hodnotou aktuální s tím, že pokud je aktuální hodnota o méně než 10 mm větší, nebo menší než ta předchozí, pak se aktuální hodnota přepíše na předchozí. Tímto krokem se výsledný graf výrazně zjemní – odchylky se výrazně zmenší. I zde opět platí podmínka upravující situaci, kdy se objekt nachází za rámcem měřitelného intervalu.

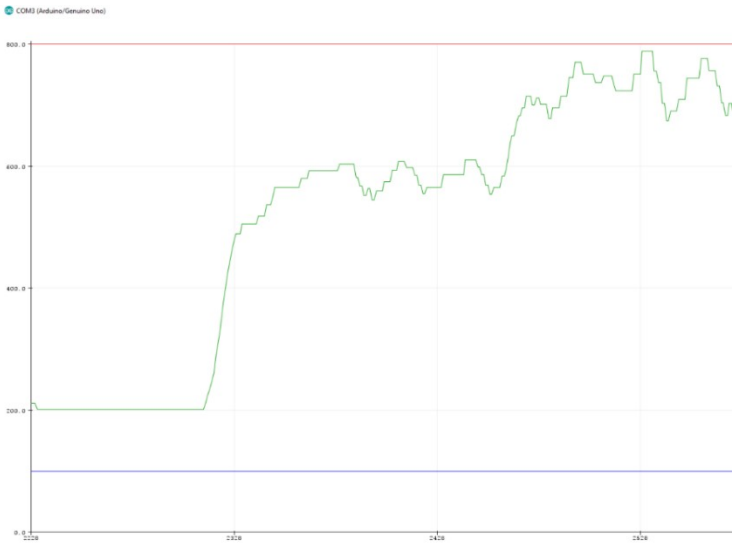
Poslední 3 grafy odpovídaly statické situaci, kdy byla nastavena určitá neměnná vzdálenost mezi senzorem a překážkou (tato vzdálenost byla necelých 30 cm). Následující grafy ukáží, jak se senzory chovají, pakliže je vzdálenost nestacionární.



Obr. 27 Výsledky bez aproximace pro proměnlivou vzdálenost



Obr. 28 Výsledky s aproximací pro proměnlivou vzdálenost

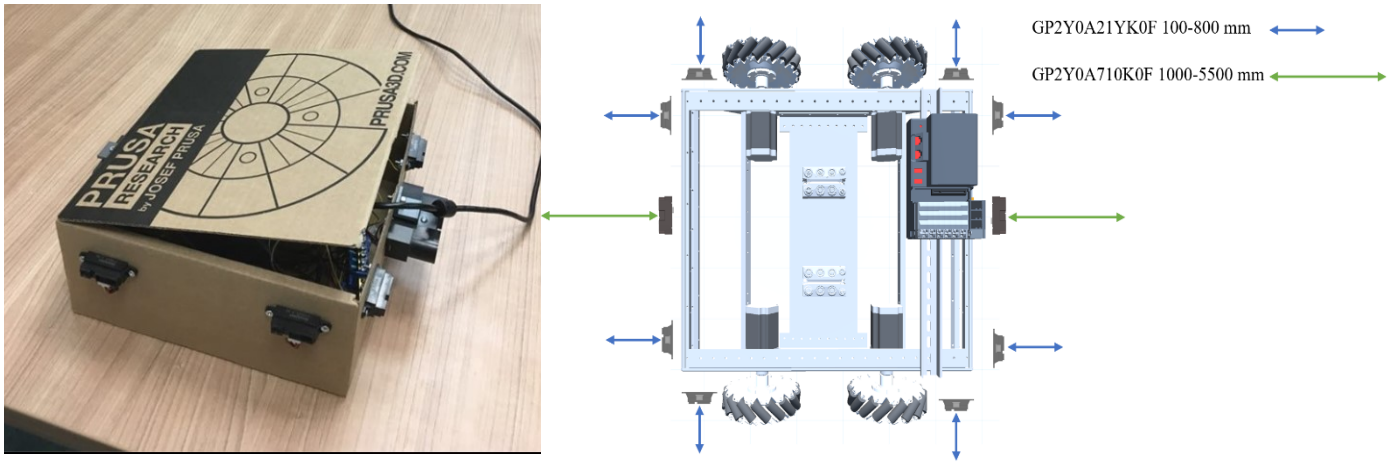


Obr. 29 Výsledky aproximované a zjemněné pro proměnlivou vzdálenost

Obr. 27, 28 a 29 zobrazují grafy výsledných přepočtených hodnot pro časově proměnnou vzdálenost. Na obr. 27 si lze všimnout, že u výstupního signálu senzoru přepočteného bez jakékoliv aproximace je amplituda kolísání úměrná s měřenou vzdáleností a při vzdálenostech blížících se limitu (800 mm) jsou odchylky velice výrazné – přesnost senzorů při větších vzdálenostech je velmi nízká. Aproximací na obr. 28 bylo dosaženo mírného zlepšení, nicméně aby byl graf ideálně vyhlazený v celém intervalu (100–800 mm), musely by být výsledky počítány s chybou kolem 200 mm, což je nepřípustné. Za předpokladu, že výsledná hodnota vzdálenosti je počítána z průměru posledních 10 hodnot a je zahrnuto i porovnání dvou posledních po sobě jdoucích hodnot (obr. 29), je patrné, že výsledek je ze všech třech grafů nejideálnější. Chyba, s níž se počítá v algoritmu je relativně malá (10 mm) a počet hodnot, z nichž se počítá průměr není natolik velký, aby byla doba reakce výrazně ovlivněna. Nicméně při měření na hranici intervalu (blížící se 800 mm) i přes tuto kombinaci aproximací graf signifikantně kolísá. Použité senzory poskytují uspokojivé výsledky pouze pro detekci objektů, jež jsou ve vzdálenosti od 100 mm do přibližně 400 mm, ačkoli výrobce uvádí detekovatelný rozsah od 100 mm do 800 mm. Pro tento výsledek existuje více možných vysvětlení – výrobce může uvádět hodnoty pro naprosto ideální podmínky, senzory jsou nějakým způsobem poškozené, na měření mohlo mít vliv prostředí, v němž se pokus uskutečnil (velká intenzita osvětlení, objekty špatně reflektující světlo).

Veškeré uvedené grafy odpovídají výstupům ze senzorů Sharp GP2Y0A21YK0F. Pro senzory Sharp GP2Y0A710K0F je analogicky aplikovaná další část kódu. Hlavním rozdílem mezi řešením těchto dvou typů senzorů je jiná rovnice popisující přepočet výstupního napětí ze senzorů a rozlišná délka vektoru předchozích hodnot, z něhož se počítá průměrná hodnota, která se poté porovnává s předchozí průměrnou hodnotou. Důvodem pro zvětšení tohoto intervalu je

fakt, že signál z těchto senzorů kolísá s mnohem větší amplitudou a celkově razantněji než senzory Sharp GP2Y0A21YK0F.



Obr. 30 Implementace měřicího systému na náhradní model

Algoritmus, který systém používá k dosažení uvedených výsledků využívá následujících výpočtů:

$$x_i = \frac{48000}{a_i - 20} \quad (1)$$

$$V_0 = [x_1\ x_2\ x_3\ x_4\ x_5\ x_6\ x_7\ x_8\ x_9\ x_{10}] \quad (2)$$

$$d_0 = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{10} \quad (3)$$

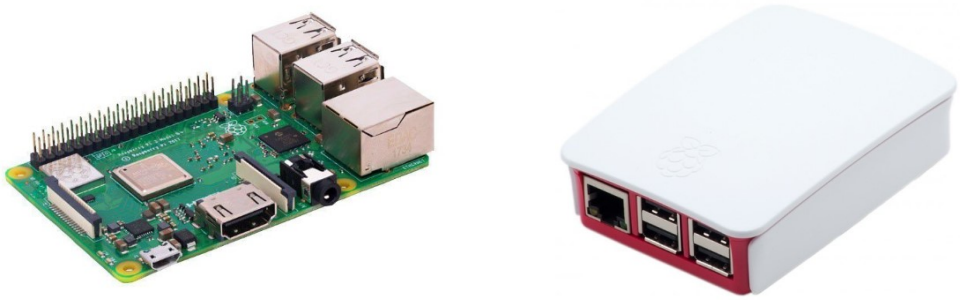
$$V_1 = [x_2\ x_3\ x_4\ x_5\ x_6\ x_7\ x_8\ x_9\ x_{10}\ x_{11}] \quad (4)$$

$$d_1 = \frac{\sum_{i=2}^{11} x_i}{10} \quad (5)$$

Rovnice (1) popisuje vztah přepočítávání změny výstupního napětí a_i na vzdálenost x_i v [mm]. Z uvedeného vztahu (1) se vytvoří vektor V_0 o délce 10 hodnot (2). Z vektoru V_0 je poté vypočtena průměrná hodnota d_0 dle vztahu (3). Následně proběhne nové měření, vytvoří se nový vektor obsahující předchozích 10 hodnot V_1 (4) a z něj se dopočítá nová průměrná hodnota d_1.Velikosti průměrných hodnot d_0 a d_1 se porovnají a v závislosti na velikosti jejich rozdílu se vyhodnocuje, zda si nová vzdálenost d_1 zachová svou velikost, nebo se její velikost přepíše na hodnotu d_0. Pokud se tyto hodnoty vzájemně liší o méně než 10 mm, pak se aktuální hodnota průměrné vzdálenosti d_1 přepíše na předchozí hodnotu d_0. Nakonec je uvedena podmínka, že pokud senzor poskytuje hodnoty mimo detekovatelný rozsah (100 – 800 mm), pak se do výsledné proměnné d_1 uloží některá z krajních hodnot tohoto intervalu (podle toho, zda se objekt nachází blíže než 100 mm od senzoru, případně dále než 800 mm).

5.3 Přenos informací z Raspberry Pi do PLC a vizualizace

Raspberry Pi je jednočipový mikropočítač, který obsahuje HDMI port pro připojení monitoru, několik USB portů pro klávesnici, myš a další zařízení (počet USB portů se liší u různých typů Raspberry Pi). Tento mikropočítač byl vyvinut britskou nadací *Raspberry Pi Foundation* za účelem podpory výuky informatiky ve školách. Raspberry Pi využívá oproti Arduinu svého operačního systému Raspbian a je tedy možné Raspberry využívat nejen k ovládání a řízení různých zařízení, ale i k vyvíjení samotných aplikací. Pro tuto bakalářskou práci byl vybrán Raspberry Pi 3 model B+. Tento model obsahuje 4jádrový 64bitový procesor Cortex A-53 o taktu 1,4 GHz a operační paměť 1 GB, která je sdílená s grafickým procesorem VideoCore IV. Obsahuje i moduly pro Wi-Fi a Bluetooth a poskytuje přístup k Ethernetové síti skrze jeden USB port.

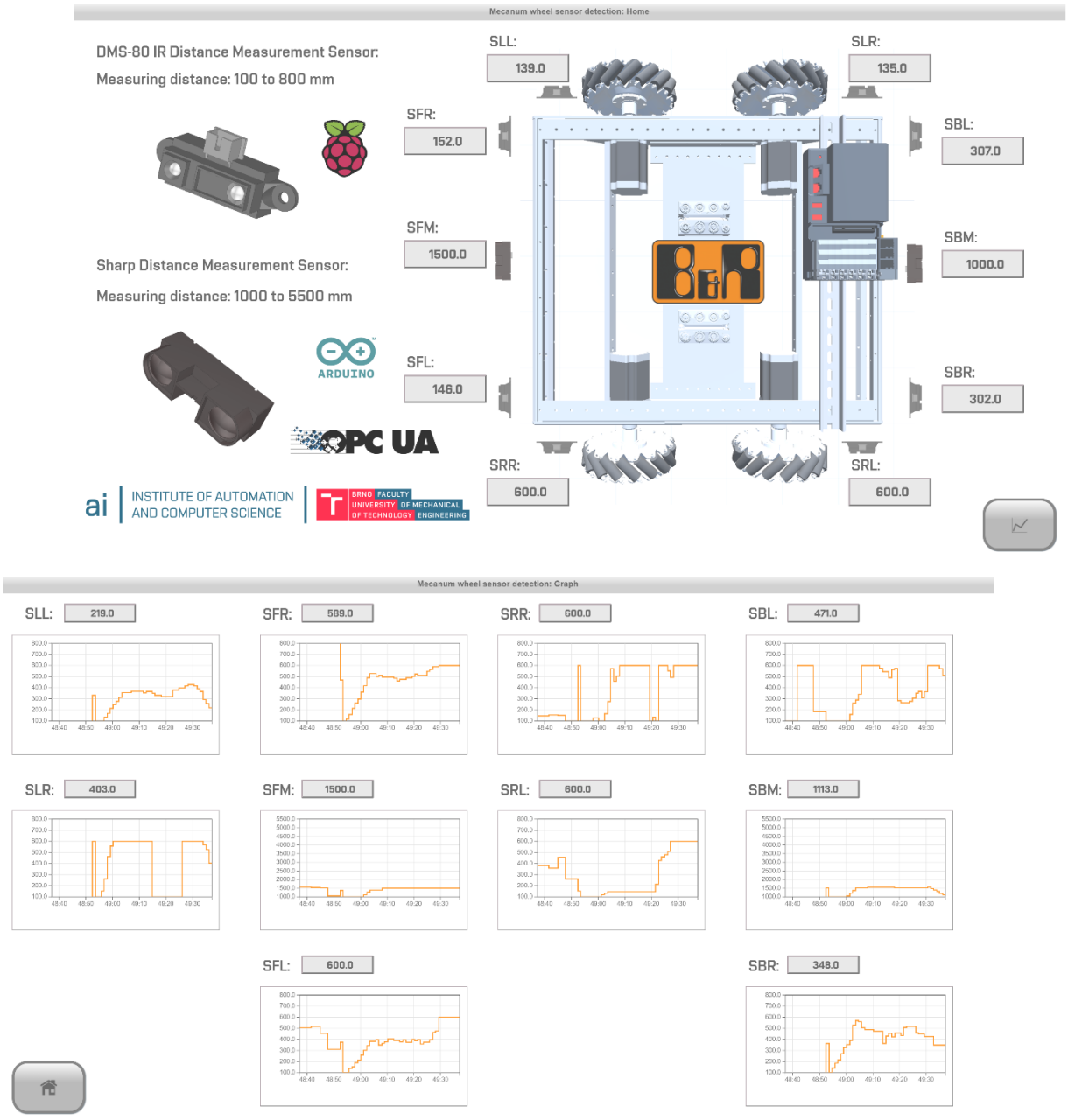


Obr. 31 Raspberry Pi 3B+ [33]

Script vytvořený v programovacím jazyku Python využívá modelu server/client, kdy serverem je v tomto případě PLC, do něhož Raspberry Pi coby klient posílá data, která přichází do Raspberry skrze sériovou linku z Arduina jako string. Tento string obsahuje 10 hodnot (1 pro každý senzor) a je následně rozdělen do 10místného vektoru. Každá z těchto hodnot tedy přísluší výstupům z jednotlivých senzorů, tyto hodnoty se poté přisuzují jednotlivým proměnným, které jsou pojmenovány pro přehlednost podle umístění daného senzoru na robotu. Raspberry přeposílá tato data do PLC přes Ethernetovou síť (OPC UA). Celý script je obsažen v příloze.

PLC od firmy B&R Automation je konečným prvkem v tomto projektu. Jeho účelem je přijímat data, která se poté vizualizují pomocí modulárních funkcí z mappView obsaženém v Automation studiu. Výsledná vizualizace umožňuje uživatelům získat lepší představu o poloze robota. Na tvorbě vizualizace a vytváření komunikace mezi Raspberry a PLC má zásluhu i vedoucí práce Ing. Roman Parák.

Obr. 32 PLC X20CP1584 [34]



Obr. 33 Vizualizace v programu Automation studio za pomoci mapp View

6 ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na integraci měřicího systému na všesměrovou mobilní robotickou platformu. V rámci bakalářské práce bylo dosaženo úspěšné aplikace infračervených senzorů za použití Arduina, Raspberry Pi a PLC. Konečná vizualizace poskytuje relativně přesný přehled o překážkách v okolí všesměrové mobilní robotické platformy. Práce je rozdělena na část rešeršní a praktickou.

První strany rešeršní části bakalářské práce jsou věnovány společnosti B&R Automation. Jsou představeny řídící prostředky vytvořené touto firmou a také vývojové prostředí B&R Automation, v němž lze zpracovat veškeré řízení systému, zakomponovat bezpečnostní prvky, vytvářet vizualizace výsledků a další. Dále bylo uvedeno několik typů kol využívaných pro mobilní robotické platformy s důrazem na všesměrová kola, která jsou nejvyužívanější v oblasti všesměrové mobilní robotiky. Rešeršní část zakončuje porovnání rozlišných typů nástrojů pro detekci polohy. Mezi uvedenou měřicí technikou jsou popsány ultrazvukové senzory, infračervené senzory, technologie LIDAR a 3D kamery.

Další obsah se zaobírá návrhem a implementací systému na detekci kolizí. Na začátku praktické části bakalářské práce je stručně řečeno, jak je problematika řešena, na což navazuje popis jednotlivých fází projektu. Jsou obsažena jak schémata zapojení celého systému, tak i schémata propojení senzorů s Arduinem. V práci je uvedeno několik grafů, které popisují výsledné hodnoty vzdálenosti. Grafy jsou koncipovány tak, aby z nich byl patrný rozdíl mezi aplikací algoritmů, u nichž nebyla provedena aproximace a algoritmů, které aproximaci využívají. Vyhlazování výsledků je popsáno slovně a doplněno několika rovnicemi, které jsou ve scriptu mimo jiné obsaženy.

Na začátku projektu byly k dispozici pouze 4 senzory, které vyžadovaly 4 analogové piny, takže bylo postačující platformou Arduino Uno, které má analogových pinů 6, následně bylo však rozhodnuto, že pro lepší orientaci je vhodné využít senzorů více. Konečný počet senzorů je 10, kdy 8 z nich bylo vybráno tak, aby zachycovaly objekty v menší vzdálenosti (do 80 cm) a 2 z nich slouží pro detekci objektů vzdálenějších (od 1 do 5,5 m). Pro zapojení 10 senzorů byla vybrána deska Arduino Mega 2560, která obsahuje analogových pinů 16. Během testování jednotlivých senzorů bylo zjištěno, že výstupní signál z nich je značně kolísavý a způsobuje nepřesnosti měření. Toto kolísání bylo vyhlazeno použitím aproximačního algoritmu a připouštěná chyba měření je pro daný úkol v dostatečně malém intervalu. Testování probíhalo pouze na náhradním modelu, neboť robotická platforma nebyla k dispozici.

V reálné aplikaci vytvořeného měřicího systému by bylo vhodné zakomponovat více druhů měřicí techniky. Ideální by bylo použití LIDAR technologie, popřípadě 3D kamer.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] *B&R Automation: B&R Industrial Automation GmbH* [online]. San Francisco: Wikipedia Foundation, 2017 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/B%26R

[2] *B&R Automation* [online]. 2012 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.br-automation.com/cs/

[3] *Ethernet POWERLINK* [online]. 2019 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.ethernet-powerlink.org/powerlink/technology

[4] *B&R Automation: mapp Technology* [online]. 2012 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.br-automation.com/cs/produkty/software/mapp-technology/

[5] *B&R Automation: OPC UA* [online]. 2012 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.br-automation.com/cs/technologie/opc-ua/

[6] *B&R Automation: openSAFETY* [online]. 2012 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.br-automation.com/cs/technologie/opensafety/

[7] *B&R Automation: Automation Studio* [online]. 2012 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.br-automation.com/cs/produkty/software/automation-studio/

[8] FERRIERE, L., B. RAUCENT a G. CAMPION. *DESIGN OF OMNIMOBILE ROBOT WHEELS* [online]. 22 April 1996, , 3664 - 3670 [cit. 2019-05-21]. DOI: 10.1109/ROBOT.1996.509271. ISSN 1050-4729. Dostupné z: https://pdfs.semanticscholar.org/368a/e5fc6107effeaf3c614072fb0b8229eabac3.pdf

[9] *Motor Mount & Wheel Kit - Aluminum* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.generationrobots.com/en/401561-motor-mount-wheel-kit-aluminum.html

[10] *Wheeled robots: Types of robot wheels* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.robotplatform.com/knowledge/Classification_of_Robots/Types_of_robot_wheels.html

[11] *HERTIG, Lionel et al. Unified State Estimation for a Ballbot [online]. Department of Mechanical Engineering, University of Michigan, USA [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/261416262_Unified_state_estimation_for_a_ballbot#pf6*

[12] *Omnidirectional wheel [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.revrobotics.com/rev-41-1160/*

[13] *Mecanum wheel [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.andymark.com/products/6-in-sr-mecanum-options*

[14] Wey Kang Tey, *Designing an Omnidirectional Mobile Robot Using NI LabVIEW and NI Single-Board RIO,* Universiti Tecknologi Malaysia, [online]. Dostupné z http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-14839#

[15] *TAHERI, Hamid, Bing QIAO a Nurallah GHAEMINEZHAD. Kinematic Model of a Four Mecanum Wheeled Mobile Robot. International Journal of Computer Applications [online]. Institute of technology and Engineering, Massey University, Auckland, 2015, 3 March 2015, (113), 6 - 9 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://research.ijcaonline.org/volume113/number3/pxc3901586.pdf*

[16] *DIEGEL, Olaf, Aparna BADVE, Johan POTGIETER a Sylvester TLALE. Improved Mecanum Wheel Design for Omni-directional Robots [online]. Institute of technology and Engineering, Massey University, Auckland, 27 November 2002, , 117 - 121 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://ftp.mi.fu-berlin.de/pub/Rojas/omniwheel/Diegel-Badve-Bright-Potgieter-Tlale.pdf*

[17] IMRAMOVSKÝ, J. *Všesměrové podvozky robotů v digitální výrobě.* Brno: Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 47 s.
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Branislav Lacko, CSc..

[18] *Všesměrový podvozek s mecanum wheels* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií [cit. 2019-05-19]. Dostupné z:
http://www.fit.vutbr.cz/research/groups/intsys/public/mecanum.jpg

[19] *Ultrasonic principle [online]. 2018 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.microsonic.de/en/support/ultrasonic-technology/principle.htm*

[20] *CARULLO, Alessio a Marco PARVIS. An Ultrasonic Sensor for Distance Measurement in Automotive Applications. IEEE SENSORS JOURNAL [online]. Carnegie Mellon Library, 2001, 2 August 2001, (1), 143 - 147 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://roboticsclub.org/redmine/projects/colony/repository/revisions/1871/raw/branches/scout/SLAM/Ultrasonic%20Distance%20Measurement%20in%20Automive%20Applications.pdf*

[21] *Ultrasonic Ranging Module HC - SR04: datasheet[online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://cdn.sparkfun.com/assets/b/3/0/b/a/DGCH-RED_datasheet.pdf*

[22] *Sharp GP2Y0A21YK0F: datasheet [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf*

[23] *Sharp GP2Y0A710K0F: datasheet [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: http://www.sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a710k_e.pdf*

[24] *RPLIDAR A1 360° Laser Range Scanner: datasheet[online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.robotshop.com/media/files/pdf/rplidar-a1m8-360-degree-laser-scanner-development-kit-datasheet-1.pdf*

[25] *KALOVÁ, Ilona a Karel HORÁK. Optické metody měření 3D objektů [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2005, 12. 4. 2005 [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html*

[26] *RPLIDAR A1: 360° Laser Range Scanner. In: Slamtec[online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://www.slamtec.com/en/lidar/a1*

[27] *RPLIDAR S1: Portabel TOF Laser Range Scanner. In: Slamtec [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://www.slamtec.com/en/lidar/s1*

[28] *AL-NAJI, Ali, Kim GIBSON, Sang-Heon LEE a Javaan CHAHL. Real Time Apnoea Monitoring of Children Using the Microsoft Kinect Sensor: A Pilot Study[online]. 3 February 2017, , 1 - 15 [cit. 2019-05-21]. DOI: 10.3390. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/313333776_Real_Time_Apnoea_Monitoring_of_Children_Using_the_Microsoft_Kinect_Sensor_A_Pilot_Study*

[29] *Comparison of Kinect v1 and v2 Depth Images in Terms of Accuracy and Precision[online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=FznorYFODCY*

[30] *Azure Kinect DK [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://azure.microsoft.com/en-us/services/kinect-dk/*

[31] *Intel RealSense Camera R200: Embedded Infrared Assisted Stereovision 3D Imaging System with Color Camera* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://software.intel.com/sites/default/files/managed/d7/a9/realsense-camera-r200-product-datasheet.pdf

[32] *Arduino Mega 2560 Rev3 [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://store.arduino.cc/mega-2560-r3*

[33] *Raspberry Pi 3 model B+ 64-bit 1GB RAM [online]. In: . [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: http://rpishop.cz/raspberry-pi-3b/896-raspberry-pi-3-model-b-plus-64-bit-1gb-ram.html*

[34] *PLC X20CP1584. In: B&R Automation [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: https://www.br-automation.com/cs/produkty/control-systems/x20-system/x20-cpus/x20cp1584/*

8 SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A. CD-ROM

A. CD-ROM

Tab. 1: Obsah CD

Složka	**Soubor**
Bakalářská práce	BP_Ondrej_Pollach.pdf
Kód pro Arduino Mega 2560	desetSenzoru.ino jedenSenzor.ino jedenSenzorAprox.ino jedenSenzorPrumerAprox.ino
Kód pro Raspberry Pi 3B+	RaspberryToPLC.py
Video z testování	Testovani.mp4 Vizualizace.mp4
Fotky modelu	Model.jpg otevrenyModel.jpg modelRaspberry.jpg