

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV PŘÍSTROJOVÉ A ŘÍDICÍ TECHNIKY



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Koncepční návrh laserového snímače vzdálenosti s webovou kamerou pro
detekci překážek v dráze robota

Conceptual design of a laser distance meter with a web camera for car obstacle
avoidance

AUTOR: Jan Janovský

STUDIJNÍ PROGRAM: Teoretický základ strojního inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Ing. Martin Novák Ph.D.

PRAHA 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a to výhradně s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....
Podpis

Abstrakt

Bakalářská práce „Koncepční návrh laserového snímače vzdálenosti s webovou kamerou pro detekci překážek v dráze robota“ je rozdělena na dvě hlavní části.

První část je věnována rešerši měřících metod vzdáleností používaných v současné době a měřičů vzdáleností. Jsou představeny tři různé typy snímačů, konkrétně ultrazvukové, optické laserové a radary. Pro každou metodu jsou popsány fyzikální základy a principy měření, výhody a nevýhody a aplikace a použití. Na konci představení každé metody je vybrán a ukázán jeden příklad průmyslového přístroje. Poslední část teoretické části patří porovnání všech typů senzorů.

V praktické části je popsán průběh návrhu laserového snímače vzdálenosti s webovou kamerou. Nejdříve práce klade důraz na výběr principu měření, který bude nejlépe plnit zadání. Poté jsou vypsány všechny potřebné komponenty k realizaci měření s jejich důležitými informacemi a je vymodelován první návrh sestavení. Dále je popsán postup psaní programu k řízení přístroje předtím, než do něj budou implementovány dvě různé metody výpočtu vzdálenosti a bude proveden experiment. Práce pokračuje výběrem vhodné metody výpočtu na základě výsledků experimentu. Snahou je poté vybranou metodu co nejvíce zpřesnit. Poslední část je věnována představení konečnému koncepčnímu návrhu laserového měřiče vzdálenosti.

Klíčová slova

snímač, detekce, vzdálenost, laser, webová kamera, měřič vzdálenosti

Abstract

The bachelor's thesis "Conceptual design of a laser distance meter with a web camera for car obstacle avoidance" is divided into two main parts.

The first part is devoted to research of currently used contactless distance measuring methods and range finding sensors. Three different types of sensors are introduced, specifically ultrasonic sensors, optical laser sensors and radars. For every method there are described its physical basis and measuring principles, advantages and disadvantages and applications and usage. There is one example of industrial device chosen and shown with its main properties in the end of introduction of every method. The last part of theoretical section belongs to comparison of all of types of sensors.

In the practical part of the thesis there is described process of design laser distance meter using a web camera. First, the work puts emphasis on choosing the principle of measurement, which will fit most with the task. Then, all needed components for realizing the measurement are written out including their important information and the first design of assembly is made. After that, the procedure of writing a program to control the device is described before two different methods of distance calculation are implemented to the device and an experiment is made using both of them. The work follows with selecting better method based on the results of the experiment. The effort is then put on making the chosen method more accurate. The last part is devoted to introducing the final conceptual design of the laser distance meter.

Keywords

sensor, detection, distance, laser, webcam, range finder

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce, doc. Ing. Martinu Novákovi PhD., který mi ochotně radil při plnění stanovených úkolů a také společnosti Atelier Technik s.r.o., která mi poskytla technické zázemí.

Obsah

Úvod.....	1
I. Teoretická část	2
1. Bezdotykové měření vzdálenosti	2
Základní parametry	2
2. Ultrazvukové snímače vzdálenosti	2
Fyzikální základ.....	2
Princip měření.....	2
Výhody a nevýhody	3
Aplikace	4
Nastavení parametrů a provozní podmínky	5
Použití	5
Ultrazvukový snímač UM30-214113	6
Ultrazvukový měřič vzdálenosti SRF485WPR	7
3. Optické laserové snímače vzdálenosti	8
Fyzikální základ.....	8
Laser.....	8
Přijímače	9
Výhody a nevýhody	10
Triangulační princip měření.....	10
Princip doby letu světla.....	13
4. Radary	15
Fyzikální základ.....	15
Princip měření.....	15
Aplikace	16
Použití	16
Výhody a nevýhody	16
Snímač vzdálenosti RR30	17

5.	Porovnání	18
	Ultrazvukové přístroje	18
	Laserové přístroje	18
	Radary	18
II.	Praktická část	19
6.	Specifikace účelu, vlastností a základních parametrů modelu	19
	Účel a vlastnosti	19
	Základní technické parametry	19
7.	Princip měření	19
8.	Komponenty	20
	Laserová dioda	20
	Kamera	20
	Servomotor	21
	Programovatelná deska	22
9.	Model	23
	Konstrukce	23
	Držák laserového modulu	24
	Kryt	24
10.	Sestava zařízení	25
11.	Program	26
	Software	26
	Zpracování obrazu	27
	Ovládání servomotoru	29
12.	Funkce výpočtu vzdálenosti	29
	Triangulační metoda	29
	Metoda polynomické funkce	31
13.	Experiment	32
	Měření	32
	Výběr metody výpočtu	34

Zpřesnění měření	34
14. Nedostatky a jejich řešení	35
15. Konečný model	37
Závěr	39
Bibliografie	40
Seznam obrázků	45
Seznam grafů	46
Seznam tabulek	46

Úvod

Bezkontaktní měření vzdálenosti má velký význam v moderních technologiích. Jednou z nejdůležitějších a nejpokrokovějších oblastí uplatnění bezkontaktních snímačů vzdálenosti je bezesporu jejich aplikace ve vozidlech s autonomním řízením. Detekování a měření vzdáleností od překážek v okolí vozidel a schopnost zmapovat prostor kolem nich patří mezi základní a nutné vlastnosti těchto přístrojů. Mým cílem je pokusit se sestavit takovýto snímač vzdálenosti, který bude dále použitelný v mnoha dalších strojírenských aplikacích.

V teoretické části je vypracována rešerše na téma bezkontaktních snímačů vzdálenosti, které bych mohl využít k řešení zadaného problému detekce překážek v dráze robota. Zde popisují základní principy těchto snímačů, jejich výhody a nevýhody, aplikace a také jejich aktuální využití v technické praxi. Zaměřuji se na snímače ultrazvukové, optické laserové a radary.

V praktické části je popsán postup návrhu a sestavení laserového snímače s webkamerou, zvolení nejvhodnějšího principu měření, výběr potřebných součástí a zautomatizování jeho chodu. Nakonec je proveden experiment, po kterém následuje konečná úprava uspořádání snímače.

I. Teoretická část

1. Bezdotykové měření vzdálenosti

Jak již název principu měření napovídá, jedná se o vyhodnocování vzdáleností měřicími přístroji, které nejsou v přímém kontaktu s měřenými objekty. K tomuto úkolu využívají několika fyzikálních principů a zákonů. Bezkontaktní měřiče vzdálenosti velice usnadňují jak samotné měření, tak zároveň jeho přesnost. Nachází využití v mnoha technických aplikacích, ve kterých by bylo měření klasickými metodami velice náročné, až takřka nemožné. [1]

Základní parametry

Funkci těchto snímačů lze popsat těmito základními údaji:

- aktivní rozsah – dosah senzoru, uvnitř kterého dokáže zjistit přítomnost clonky definované normou či výrobcem
- slepá zóna – nejkratší možná vzdálenost od senzoru, v které je schopen detekovat clonku
- snímací rozsah – zvolená oblast z aktivního rozsahu, ve které dojde k aktivování výstupu při detekci clonky
- reakční doba – maximální doba mezi vysláním signálu a aktivováním výstupu
- rychlost přeběhu – maximální rychlost předmětu v radiálním směru, aby jej stihl senzor zachytit
- rychlost přiblížení – maximální rychlost předmětu v axiálním směru, aby jej stihl senzor zachytit
- úhel odklonu – maximální přípustné odklonění roviny clonky

[2]

2. Ultrazvukové snímače vzdálenosti

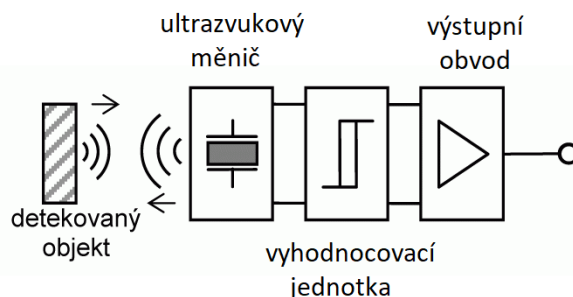
Fyzikální základ

Zvuk se řadí mezi elastické vlnění, které se šíří pouze v hmotném pružném prostředí, kde se kmitání přenáší z jedné částice na další pomocí vazby a tím se přenáší energie kmitavého pohybu. Ultrazvukem pak můžeme nazvat takové frekvence, které jsou lidským uchem neslyšitelné, čili vyšší než 20kHz. [1]

Princip měření

Ultrazvukové měření lze realizovat s použitím elektroakustických měničů, například piezoelektrických, operačním zesilovačem, mikroprocesorem se čtyřmi I/O piny a vnitřním

integrovaným komparátorem. Ultrazvukové měniče fungují na principu přeměny elektrické energie na energii mechanickou, v tomto případě zvuku. Při průchodu elektrického proudu se deformují a po jeho odeznění se vracejí zpět do svého původního tvaru. Tím vytváří mechanické kmitání, které se poté šíří do prostoru kolem měniče a po kontaktu s překážkou se od ní odrazí. V ultrazvukových měřících vzdálenosti se používají ultrazvukové měniče, které však fungují na stejném principu, jediným rozdílem je právě pracovní frekvence, která je u ultrazvukových měničů vyšší než u piezoelektrických z důvodu vytvoření ultrazvukových vln. [3]



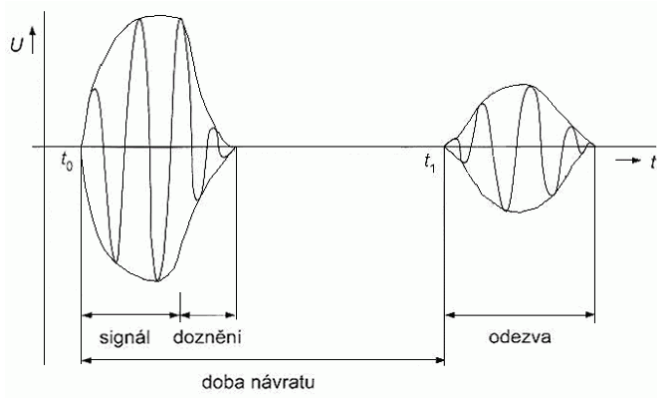
Obrázek 1 Schéma ultrazvukových snímačů [2]

Nejdříve je ultrazvukový vysílač na velmi krátkou dobu vybuzen oscilátorem s vysokou frekvencí elektrického proudu naladěnou na rezonanční frekvenci měniče. Akustické vlnění stejného kmitočtu se šíří prostředím a odráží se od všech předmětů, které mají vyšší hustotu než dané prostředí, zpátky do přijímače. Signál na přijímači je nejdříve třeba zesílit zesilovačem, aby jej mohl komparátor poté detekovat. Pokud přijímač zaznamená vlnění o stejné frekvenci, jakou vyslal vysílač, výstupní napětí snímače bude mít maximální hodnotu. Díky tomu vzniká filtrační účinek od okolních frekvencí, který je užitečný při zesilování signálu z důvodu redukce šumu. Polovina času, který uplyne mezi vysláním a příjmem signálu se přepočítá při známých parametrech prostředí na vzdálenost. Ultrazvukové měniče lze využít jako vysílače i přijímače. [2] [3]

Výhody a nevýhody

Výhodou je možnost detekce průsvitných a lesklých předmětů či předmětů s nepravidelným povrchem. Ultrazvukové snímače dokážou pracovat za velmi nepříznivých podmínek, například v dešti a prachu. Zároveň také mechanické kmitání na měničích zabraňuje usazování nečistot na snímači, které by u jiných typů měřících metod mohly způsobovat nepřesné měření. Mají velmi dobrou rozlišovací schopnost, která se s rostoucí hodnotou měřené vzdálenosti nemění. Díky této skutečnosti velmi dobře potlačují negativní vlivy pozadí. V porovnání s ostatními měřícími přístroji jsou relativně levné. [4]

Nevýhodou ultrazvukových snímačů je existence tzv. slepé zóny při měření krátkých vzdáleností. Tento problém se vyskytuje u přístrojů s jedním piezoelektrickým měničem, kdy snímač musí po vyslání impulsu nečinně čekat na dokmitání měniče, který musí být schopen poté opět odražený signál přijmout. Tomuto jevu dokmitání měniče se také říká doznění a způsobuje neschopnost snímače měřit vzdálenosti v těsné blízkosti přístroje. [2]



Obrázek 2 Doznění měniče [2]

Dále nedokážou detekovat tlumící materiály. S rostoucí vzdáleností objektu se zvyšuje prostorový úhel snímání a také čas odezvy, čímž se velice omezuje maximální dosah měření. Zanedbatelnou nevýhodou je nekonstantní rychlost šíření zvuku v závislosti na parametrech prostředí. Ke korekci naměřené hodnoty z důvodu změny teploty prostředí však postačí vestavěná kompenzace teploty. [4] [5]

Aplikace

Ultrazvukové senzory lze použít ve dvou základních aplikacích:

- měřiče vzdálenosti
- závory

Princip snímačů vzdáleností na základě vyhodnocování času odezvy (echa) je již popsán v kapitole 1.1 Princip měření.

Dvoucestné závory fungují na principu odrazu signálu reflektorem. Vysílač i přijímač jsou umístěny v jednom pouzdru a detekují přítomnost objektu, který se nachází právě mezi snímačem a reflektorem. Jednocestné závory postrádají reflektor, který je nahrazen přijímačem, tudíž se vysílaný signál šíří pouze jedním směrem a bez odrazu je vyhodnocen na konci závory. [6]

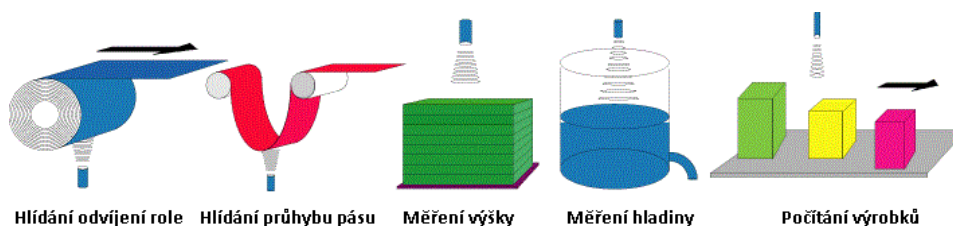
Nastavení parametrů a provozní podmínky

Ultrazvukové senzory, které slouží k monitorování přítomnosti objektu, mají nastavitelný spínací rozsah vzdáleností, ve kterých aktivují výstup čidla. Pokud navíc disponují analogovým výstupem, je možné nastavit jejich meze odpovídající minimální a maximální elektrické hodnotě výstupu. Tímto způsobem je možné kromě detekce přítomnosti také měřit skutečnou vzdálenost objektu od snímače.

Největší vliv na funkci senzoru z pohledu provozních podmínek mají hrubost povrchu a tvar předmětu. Pokud je drsnost povrchu menší než vlnová délka vlnění, tak se odražený signál šíří podle zákona úhlu dopadu a odrazu a tím pádem se nemusí odrazit zpět do přijímače při nezajištění kolmosti dopadajícího vlnění na plochu leštěného předmětu. Výrobci ve svých katalogových listech většinou uvádějí závislost úhlu odklonu na drsnosti povrchu snímané clonky. Zároveň si je třeba uvědomit možnost nežádoucího vzájemného ovlivňování více senzorů mezi sebou interferencí či odrazem z důvodu nenulové šířky vyzařujících charakteristik. [2]

Použití

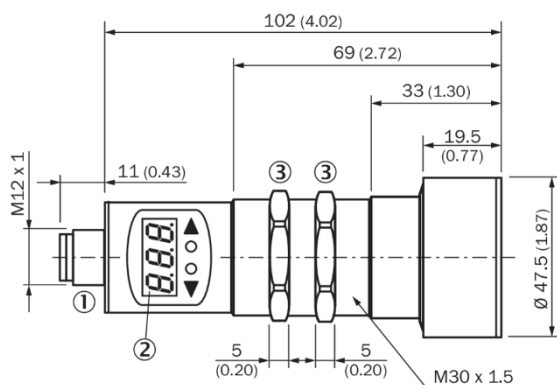
Ultrazvukové snímače nacházejí široké uplatnění v mnoha odvětvích průmyslu i zdravotnictví, jako neinvazivní vyšetřovací metody. Využívá se jejich schopností detekovat libovolné materiály za opticky nepříznivých podmínek. Ve výrobních procesech se používají převážně na počítání výrobků či kontrole chodu linky, jak je zobrazeno na obrázku dole. Díky schopnosti detekovat i průhledné látky, velmi často se také používají pro měření výšky hladiny vody v nádržích. V automobilovém průmyslu se v poslední době také využívají jako senzory parkovacího asistenta. Sonar, neboli v překladu z angličtiny zvuková navigace a zaměrování, se díky velkému dosahu pod hladinou vody hojně využívá v námořnictví. [4] [7]



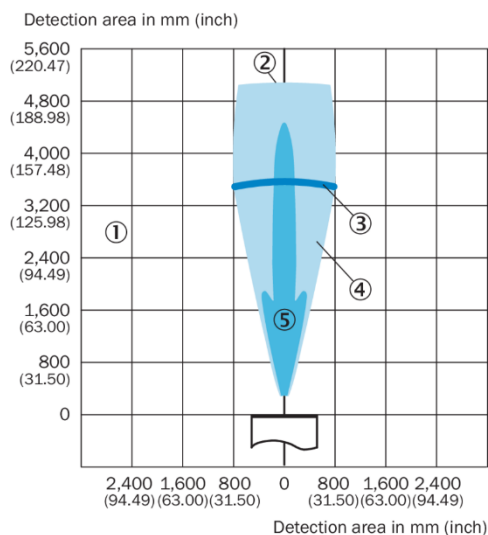
Obrázek 3 Použití ultrazvukových snímačů v průmyslu [6]

Ultrazvukový snímač UM30-214113

Jedná se o ultrazvukový senzor vyrobený firmou SICK. Jeho provozní dosah je 350 – 3400 mm s mezním dosahem 5000 mm. Disponuje rozlišením menším než 0,18 mm, přesností $\pm 1\%$ a dobou odezvy 180 ms. Obsahuje kompenzátor teploty a analogový i digitální výstup. Dokáže pracovat při teplotách od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ v prašném i vlhkém prostředí. Při využití analogového výstupu je nutné senzor napájet stejnosměrným napětím 15-30 V a příkonem pod 2,4 W. Analogový výstup umožňuje proudový i napěťový signál o parametrech 4-20 mA, respektive 0-10 V. Cena za jeden kus činí přibližně 13 000 Kč. [8]



Obrázek 4 Ultrazvukový snímač UM30-214113 [8]



Obrázek 5 Charakteristika snímáčího rozsahu [8]

Z charakteristiky snímáčího rozsahu, která je zobrazena na obrázku vpravo, lze vyčíst mezní dosah (číslo 2) a provozní dosah (číslo 3). Dále odkazy 4 a 5 popisují aktivní rozsahy při detekování rovne desky o rozměrech 500 x 500 mm, respektive tyče o kruhovém průměru 27 mm. Hodnoty v závorkách na obou obrázcích jsou údaje v palcích.

Senzor se používá například při kontrole zbývajícího objemu topiva v zásobníku kotle zároveň s kontrolou jeho automatické doplňování či při měření výšky hladiny ve vodních zásobnících. [8]

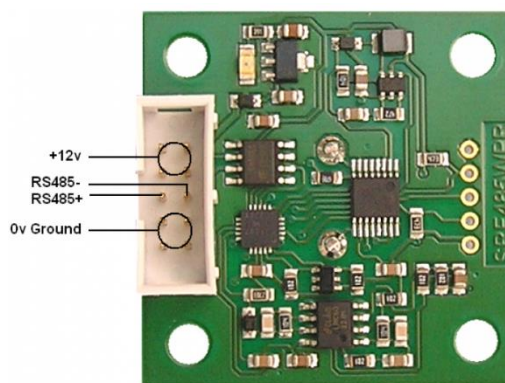
Ultrazvukový měřič vzdálenosti SRF485WPR

Ultrazvukový dálkoměr SRF485WPR je vybaven jedním voděodolným měničem a kompenzátorem teploty, který je schopen korekce měření při teplotách od -30 do +50 °C. Jeho rozsah měření leží mezi 0,6 a 5 m. Rozměry snímače jsou 40,5 x 40,5 mm s měničem o průměru 25 mm. Přístroj je nutné napájet stejnosměrným napětím 12 V a elektrickým proudem 10 mA. K přenosu dat využívá standart sériové komunikace RS-485, díky kterému je možné připojit na ovladač až 127 přístrojů. Pořizovací cena měřiče se pohybuje kolem 1000 Kč . [9] [10]

Využití nachází na parkovištích, kde kontrolují obsazenost parkovacích míst či v obchodních střediscích při ovládání chodu automatických dveří.



Obrázek 7 Ultrazvukový snímač SRF485WPR [9]

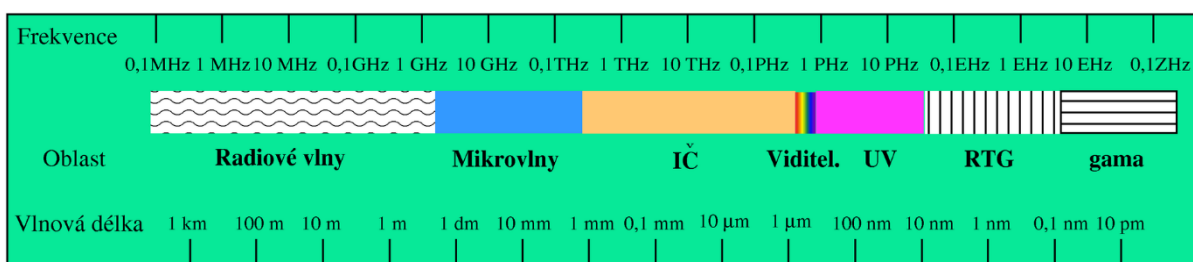


Obrázek 6 Deska SRF485WPR [9]

3. Optické laserové snímače vzdálenosti

Fyzikální základ

Elektromagnetické záření je příčné postupné vlnění magnetického a elektrického pole šířící se prostorem. K přenosu energie nepotřebuje žádné látkové prostředí, a proto se dokáže šířit i vakuem. Důležitou veličinou popisující takovéto vlnění je vlnová délka λ , podle které rozdělujeme spektrum elektromagnetického záření na několik typů vln od těch s nejdelšími vlnovými délkami (stovky metrů) po nejkratší (desítky pikometrů), jak lze vidět na obrázku č.6 dole. [11]



Obrázek 8 Spektrum elektromagnetického záření [12]

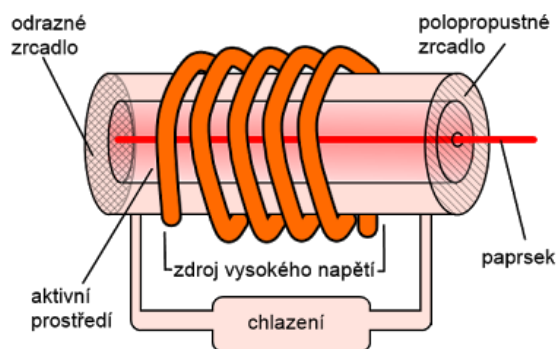
Pro účely měření vzdálenosti pomocí laserového paprsku je důležitá hlavně část viditelného spektra, světla. Vlnové délky těchto vln leží mezi vlnovými délkami infračerveného a ultrafialového záření a odpovídají zhruba hodnotám 390 – 780 nm. [1] [12]

Laser

Laser, z anglického *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, v překladu „zesilování světla stimulovanou emisí záření“, je optický zdroj elektromagnetického záření. [13] [14] Tvoří ho aktivní prostředí, odrazové a polopropustné zrcadlo a zdroj energie. [15]

Zdroj energie dodává do aktivního prostředí energii v podobě fotonů, čímž se elektrony obsažené v něm vybudí ze základní energetické hladiny na vyšší a dochází k tzv. excitaci. Pokud se na metastabilní hladině ocitne více elektronů, poté se tomuto jevu říká inverze populace. Při opětovném sestoupení elektronu na základní hladinu dochází k emitování kvanta energie ve formě fotonu. Tyto fotony poté stimulují další excitované elektrony, nutí je sestoupit zpět a vyzářit další fotony se stejnou vlnovou délkou, fází a stejným směrem. Tak dochází k zesilování světla. Do této doby však ještě laser nefunguje, neboť záření nemá daný směr. Tento směr mu udělí až dvě rovnoběžně položená zrcadla na koncích aktivního prostředí. Foton, který bude mít rovnoběžný směr s osou laseru, se začne pohybovat mezi zrcadly a průchodem aktivním prostředím s excitovanými elektrony na sebe naváže další

fotony a tím se jejich počet exponenciálně zvětšuje. Fotony, které mají jiný směr než kolmý k plochám zrcadel, zanikají vylétnutím z aktivního prostředí. Jakmile všechny zbývající fotony v aktivním prostředí dosáhnou stejné energie, která přesáhne prahovou hodnotu přenosu polopropustného zrcadla, je přebytečný světelný výkon vyzářen skrz toto zrcadlo do okolí a vzniká tak laserový paprsek. [15] [16]

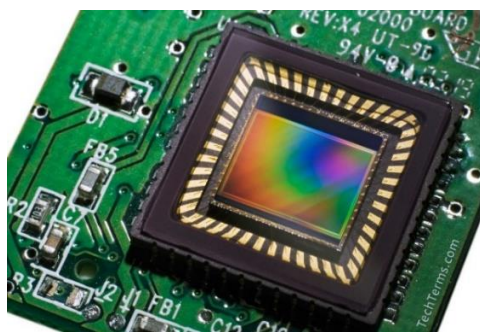


Obrázek 9 Zdroj laserového paprsku [13]

Aktivním prostředím může být například plyn, monokrystal nebo polovodiče s p-n přechodem v případě diodových laserů. [13] [14]

Přijímače

Jako přijímače odraženého světla mohou sloužit fotodiody, fototranzistory nebo PSD prvky. Nejčastějším typem přijímačů jsou však světločivné čipy. [17] Světločivné čipy typu CCD a CMOS jsou součásti, které se skládají až z desítek milionů polovodičových buněk, z nichž každá dokáže registrovat světlo a jeho intenzitu. Jejich největším rozdílem je výstupní signál. CCD čip je tvořen křemíkovým plátem a kovovou elektrodou, který přeměňuje energii dopadajícího záření na energii elektrického signálu, tudíž jeho výstup je analogový a odečet dat je pomalejší, jelikož probíhá po sloupcích. Naopak u čipů CMOS každá světločivná buňka má k sobě připojený obvod, který digitalizuje signál, čímž se výrazně zkracuje doba odečtu dat. [18]



Obrázek 10 CMOS čip [19]

Výhody a nevýhody

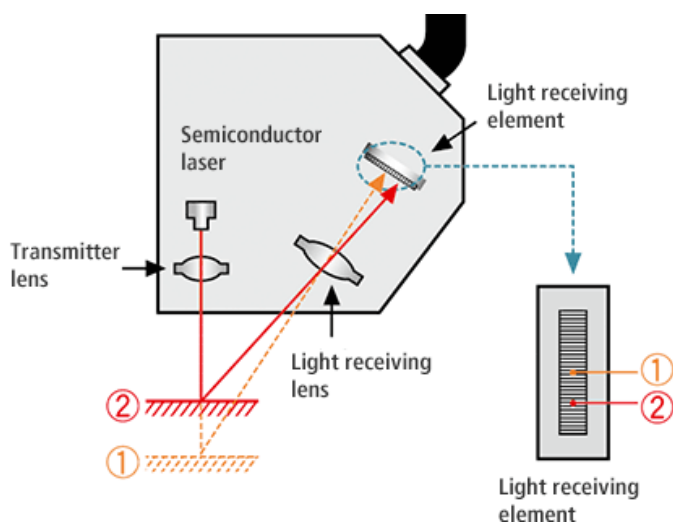
Mezi výhody laserového měření vzdálenosti patří jeho přesnost, rychlost a široké možnosti aplikací (popsáno níže). Laserové snímače také dokážou detekovat vzdálenosti i od zakřivených ploch předmětů jakýchkoliv barev i drsností. Místo, ke kterému měříme, je navíc jednoznačně definováno bodem či čarou vykreslenými laserovým paprskem. [5] [20]

Nevýhodou je jistě nemožnost použití laserových přístrojů v prašném či jiném nepříznivém prostředí, které by mohlo narušit chod nebo detekci paprsku. Dalším problémem měření je nespolehlivý odraz od průhledných materiálů, jako je například sklo. Jejich pořizovací cena je vyšší ve srovnání s ostatními přístroji. [5] [21]

Triangulační princip měření

Aktivní triangulační metoda měření vzdálenosti spočívá ve výpočtu úhlu dopadu světla vyzářeného zdrojem na detektor. Laserové triangulační snímače obsahují jako zdroj světla laserovou diodu, CCD nebo CMOS snímač, optickou čočku a signálový procesor (DSP). [22]

Povrch detekovaného objektu se nasvěcuje světelným paprskem a odražené světlo je detekováno na snímači. V důsledku změny vzdálenosti objektu od měřicího přístroje se mění i úhel pohledu odraženého paprsku dopadajícího na přijímač a tím pádem také jeho bod dopadu na přijímač světla. Pokud tedy známe pozici světelného bodu na přijímači a vzdálenost přijímače od zdroje světla, signálový procesor může vypočítat i vzdálenost detekovaného objektu od přístroje. [22] [23] [24]



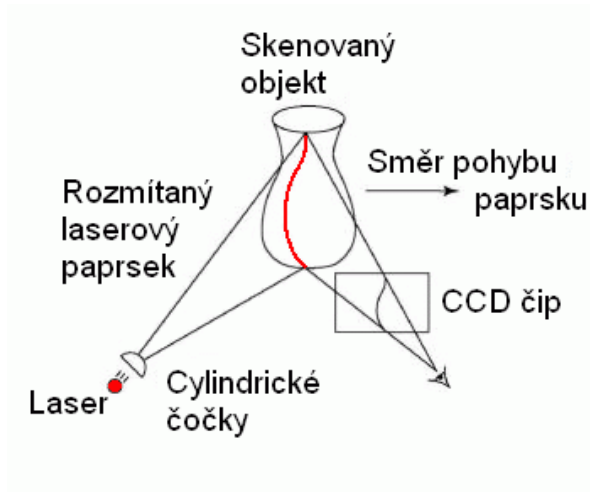
Obrázek 11 Schéma triangulačního principu měření [24]

Aplikace

Snímače pracující na triangulačním principu lze využít jako měřiče krátkých vzdáleností s velmi vysokou přesností měření i jako senzory přítomnosti objektu. Reflexní optické závory využívají triangulačního principu k potlačení popředí a pozadí. [20]

Některé senzory jsou schopny dokonce měřit tloušťku průsvitných či průhledných vrstev objektů. Ty zaznamenávají více odražených paprsků zároveň, které jsou odraženy od jednotlivých vrstev a poté vyhodnocují jejich vzdálenostní rozdíly. [22]

Zajímavou aplikací tohoto principu měření je tzv. 3D laserové skenování. Jedná se o metodu, která pomocí laseru dokáže digitálně zaznamenat tvar objektů. Zařízení se sestává ze stejných komponentů jako při bodovém měření, jediným rozdílem je geometrie paprsku zdroje, který místo bodu vykresluje čáru. Z tohoto důvodu je ještě třeba použít světločivný čip s většími rozměry pro zaznamenání a vyhodnocování celé délky vykreslené čáry. Skener poté zaznamenává body na základě triangulačního principu a ukládá jejich informace o vzdálenosti a poloze z povrchu snímaného objektu. S pomocí softwaru jsou tyto informace zpracovávány počítačem a vykreslovány do tzv. mapy bodů. Tímto způsobem lze rychle a jednoduše vytvořit trojrozměrné modely detekovaných objektů či okolí. [25] [26]



Obrázek 12 Schéma 3D skenování [26]

Na obrázku lze vidět princip 3D snímání. Zařízení využívá dvourozměrnou aktivní triangulaci. Světelný pruh se pohybuje buď natáčením odrazového zrcadla či otáčením skenovaného objektu o známý úhel. Získané snímky se zpracovávají, kdy poté lze z nich získat trojrozměrnou mapu bodů. [26]

Nastavení parametrů a provozní podmínky

Většině snímačů s triangulačním principem se snižuje s rostoucím měřicím rozsahem rozlišení a hodnota linearit měření. Tato skutečnost je dána hlavně faktem, že stejná změna vzdálenosti dále od snímače vytváří menší změnu úhlu odraženého paprsku než blízko čela snímače, tím pádem potřebujeme větší změnu polohy s rostoucí vzdáleností objektu pro vygenerování nejmenší možné rozlišitelné změny polohy dopadajícího paprsku světla, který dokáže světločivný čip zaznamenat. Z tohoto důvodu mnoho výrobců přístrojů udává více hodnot rozlišení pro různé rozsahy vzdáleností měření. [22]

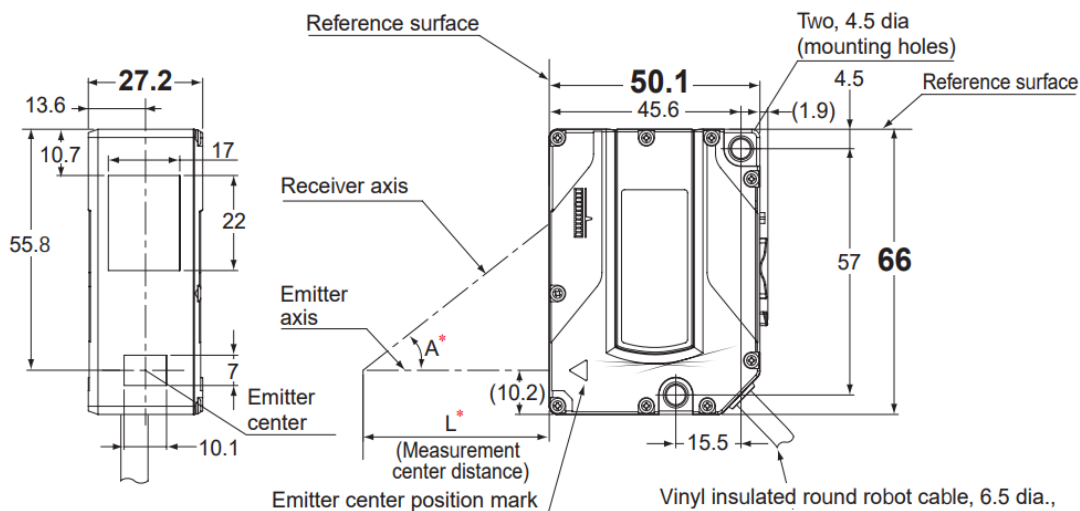
Díky bodovému měření a schopnosti detekovat odražené světlo i pod velkým úhlem odklonu cílové plochy lze měřit vzdálenost i od velmi tvarově rozmanitých a složitých objektů. Kvalitnější snímače jsou schopny dokonce detekovat i odražené paprsky od průhledných a průsvitných materiálů. Jediným nepřekonatelným problémem je nemožnost použití snímačů v opticky nepříznivých prostředích. V tomto případě je buď úplně znemožněno měření, nebo je velice negativně ovlivněna přesnost přístroje. [5] [20]

Použití

Laserové snímače vzdálenosti s triangulačním principem měření začínají být v průmyslu čím dál oblíbenější a v mnoha případech nahrazují kapacitní a indukční snímače, tak i klasické difúzní optosnímače. Převážně se využívají jako snímače pro lokalizaci robotů, snímání profilu povrchů či měření tloušťky objektů. Některé typy lze aplikovat i jako bezpečnostní senzory či závory s potlačením vlivu pozadí. Jak je již popsáno výše, lze je využít také jako 3D skenery. [22] [23] [27]

Laserový snímač ZX1-LD600A61L

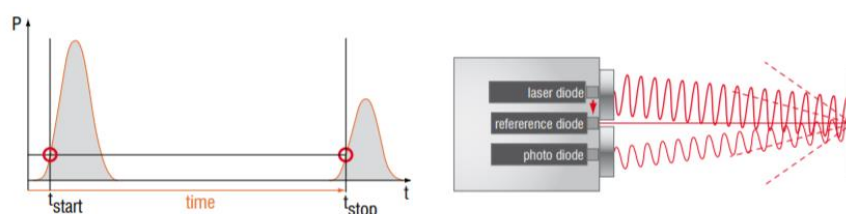
Snímač, vyrobený společností Omron, pracující na principu triangulace s měřicím rozsahem 200 – 1000 mm s přesností 80 μm na celém rozsahu. K měření využívá viditelného červeného laserového paprsku o vlnové délce 660 μm a průměrem měřicího bodu 0,56 mm. Při nastavení standardní rychlosti odezvy je její hodnota 100 ms. Dokáže pracovat v teplotách mezi -10 a 55 $^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti okolního prostředí 35 – 85 % bez kondenzace. Senzor je nutné napájet stejnosměrným napětím v hodnotách 12 – 24 V s maximálním příkonem 2500 mW. Jako výstup snímač vysílá proudový signál 4 – 20 mA, kde 20 mA odpovídá objekt umístěný nejbližší snímači v rámci měřicího rozsahu. Model, vyráběný s vestavěným konektorem, váží přibližně 140g. Cena snímače se pohybuje kolem 19 000 Kč. [28]



Obrázek 13 Laserový snímač ZX1-LD600A61L [28]

Princip doby letu světla

Měření pomocí principu doby letu světla je v podstatě stejné jako u ultrazvukových senzorů s výjimkou použitého vlnění. Zdroj světla, v našem případě laserová dioda, ale může být použito i oku neviditelné infračervené záření, produkuje krátký signálový impuls nízké amplitudy a vysoké frekvence, kterým osvětluje měřený objekt. Odražené světlo poté dopadá na fotodiodu, která generuje elektrický proud. Elektronika umístěná ve snímači poté porovnává výkony vyzářeného a přijímaného záření, čímž je potlačeno záření pozadí. Vzdálenost je odvozena od času uplynutým mezi vysláním signálu a jeho cestě k objektu a zpět a je převedena na analogový či digitální výstupní signál. [29]



Obrázek 14 Schéma principu doby letu světla [29]

Aplikace

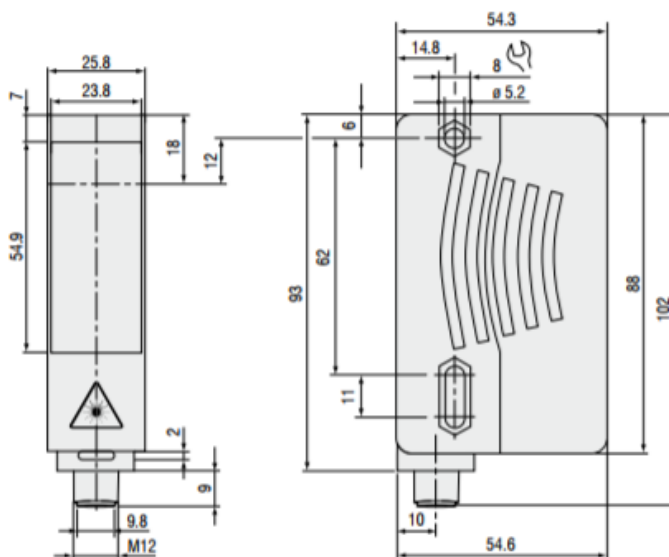
Laserové snímače, které vypočítávají vzdálenost z doby letu světla, se dají díky velkým měřicím rozsahům použít jak v technické praxi, tak také i v běžném životě. Pro zjišťování přítomnosti objektů se poté dají aplikovat i jako optické závory, kdy přijímač a vysílač jsou od sebe odděleny. Na trhu je možné sehnat také přístroje měřící na velké vzdálenosti, mezi veřejností známe jako tzv. dálkoměry, které mají dosah měření několik stovek až tisíc metrů. [27]

Použití

Uplatnění nachází například ve strojním průmyslu při detekování přítomnosti, posunu či počítání výrobků na montážních linkách. Snímače pracující na tomto principu zaznamenaly v posledních letech velký rozvoj v oblasti zábavního průmyslu. Jsou instalovány do herních konzolí, které díky nim dokážou sledovat pohyby člověka i rozpoznat širokou škálu gest. Laserové dálkoměry se uplatňují v široké sféře odvětví, nejvíce však v geodézii, stavebnictví a armádní technice. [27] [30] [31]

Laserový snímač optoNCDT ILR 1030

Laserový měřič vzdálenosti od firmy Micro-epsilon dokáže spolehlivě měřit v rozsahu 0,2 až 8 m při difuzním odrazu světla nebo až na vzdálenost 50 m při použití odrazky s rozlišením 1 mm a linearitou ± 20 mm. Jeho největší předností je rychlost odezvy 10 ms a nízká provozní teplota od -30 do 50 °C. K měření používá laserovou diodu s vlnovou délkou viditelného záření 660nm. Díky frekvenci pulsů 250 Hz lze jím snímat i objekty, které se pohybují velmi rychle. Jako výstup slouží spínaný i spojitý analogový signál 4 – 20 mA, pomocí kterého lze jak zjišťovat přítomnost objektu v měřicím dosahu tak také jeho vzdálenost. Snímač je nutné napájet maximální hodnotou 30 V stejnosměrného napětí s maximálním odběrem proudu 100 mA. Cenu přístroje výrobce ve svém katalogu neudává. [32]



Obrázek 15 Laserový snímač optoNCDT ILR 1030 [32]

4. Radary

Fyzikální základ

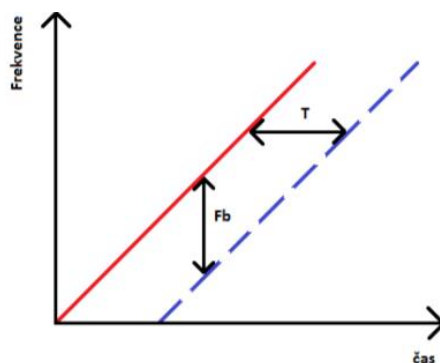
Radary (anglický akronym pro Radar Detection Ranging), jsou zařízení určené k detekci objektů a měření vzdáleností. K tomuto účelu využívají rádiových vln, které jsou součástí spektra elektromagnetického záření (viz Obrázek 6). Pracují na vlnových délkách od 1 mm do několika tisíc kilometrů.

Princip měření

Pro měření vzdáleností radary se používá princip FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave Radar, přeloženo z angličtiny jako Kontinuální radar s frekvenční modulací). Metoda měření spočívá v neustálém vysílání a přijímání rádiových vln do okolí, přičemž v průběhu vysílání vysílač musí zvyšovat či snižovat frekvenci signálu. Tato podmínka je nezbytně nutná pro vyhodnocení vzdálenosti od nepohybujícího se objektu vzhledem k měřiči. Pulsní radary jsou v tomto ohledu nepoužitelné, neboť využívají Dopplerova jevu. Ten popisuje změnu frekvence přijímaného signálu oproti vysílanému způsobenou nenulovou vzájemnou rychlostí zařízení a měřeného objektu. Při nulové vzájemné rychlosti se neprojeví Dopplerův jev a frekvence tak zůstane nezměněná. Radar tedy musí dokázat kontinuálně modulovat frekvenci v čase. [33] [34]

Pro samotný výpočet vzdálenosti se používá mnoho metod modulace frekvence vysílaného signálu, například lineární nebo trojúhelníková. Principem je vždy porovnání vyslané a přijaté frekvence vln. [33] [34]

Při lineární modulaci (viz Obrázek 14) je odečten přijatý signál (modrá čára) od přijatého (červená čára). Tím je získána tzv. beat frekvence F_b . Z ní je poté možné určit časový rozdíl T a při známé rychlosti šíření vlny i vzdálenost mezi radarem a objektem. Při relativním pohybu měřeného objektu však může dojít k chybě z důvodu projevení Dopplerova jevu. [33]



Obrázek 16 Lineární modulace FMCW [33]

Aplikace

FMCW radary se aplikují zejména při přesném měření vzdáleností na velké dálky. Lze s nimi měřit vzdálenost od jednoho dominantního objektu i více objektů při použití speciálních metod modulace frekvence. Dají se však použít i při zjišťování relativních rychlostí objektů oproti zařízení. [34]

Použití

FMCW radary nachází hlavní využití v dopravě. Používají se například v letecké technice jako rádiové výškoměry, které dokážou změřit výšku od povrchu země s přesností až 1 cm. V lodní dopravě se používají k detekci překážek a zjištění jejich polohy. [34]

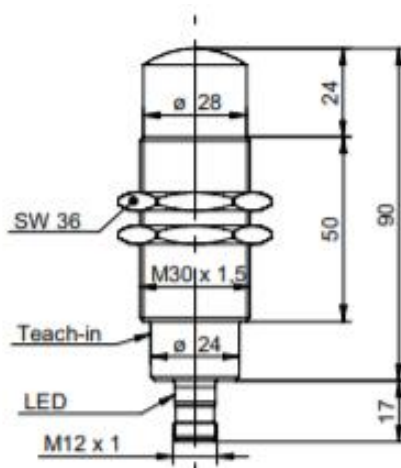
Výhody a nevýhody

Výhodou metody měření pomocí rádiových vln proti ostatním metodám je možnost proniknutí tohoto záření skrz mraky, sníh, mlhu a další prostředí se sníženou viditelností. Při velkých vzdálenostech je také měření ekonomicky nejvýhodnější. Vedle měření vzdáleností je možné také zjištění relativní rychlosti objektu. [35]

Radarové snímače vzdálenosti fungují nejlépe při měření objektů, které se nacházejí dále od zařízení. Další nevýhodou je jejich přesnost, která se negativně projevuje hlavně při snímání blízkých objektů. Měření může být také narušeno jinými rádiovými vlnami stejných či jiných frekvencí. Díky relativně dlouhým vlnovým délkám signálu nedokážou rozpoznat malé objekty. Při měření kratších vzdáleností nebo při pouze dočasném použití se jedná o velice drahou metodu. [35]

Snímač vzdálenosti RR30

Radarový snímač vzdálenosti RR30 vyrobený společností Baumer dokáže měřit v aktivním rozsahu 0,3 – 8,5 m. K měření vzdáleností využívá princip FMCW. Disponuje rozlišením 500 mm s opakovatelností měření menší než 1 mm. Výhodou proti ostatním sensorům je jeho rychlá odezva do 6,5 ms a linearita ± 10 mm. Jako výstup slouží analogový signál 4 – 20 mA, pomocí kterého lze jak zjišťovat přítomnost objektu v měřicím dosahu tak také jeho vzdálenost. Snímač je nutné napájet 15 až 30 V stejnosměrného napětí s maximálním odběrem proudu 210 mA. Cenu přístroje výrobce ve svém katalogu neudává. [36]



Obrázek 17 Radarový snímač vzdálenosti RR30 [36]

5. Porovnání

Oba typy dálkoměrů a snímačů, využívající různé fyzikální principy, přinášejí značné výhody proti klasickým metodám měření vzdáleností. Bezdotykové měření je v první řadě rychlejší a efektivnější. Je možné ho použít na velké vzdálenosti či v těžko dostupných místech při současné jednoduché obsluze.

Ultrazvukové přístroje

Ultrazvukové přístroje dokážou měřit vzdálenost od objektů jakýchkoliv vlastností povrchu a materiálu i za velmi nepříznivých podmínek. Další jejich výhodou je cena, která se pohybuje velmi nízko. S ultrazvukovým principem měření se však váží některá omezení, která vycházejí z fyzikálních základů. Menší přesnost, kolmé zaměření či značné navýšování velikosti odrazové plochy měřeného objektu s jeho rostoucí vzdáleností jsou jen některé příklady, které nutí k výběru jiného principu měření. I přes to se však tyto přístroje používají v jednodušších aplikacích či například pod vodní hladinou. [5]

Laserové přístroje

Při měření laserovými přístroji prakticky všechna tato popsaná omezení odpadají. Tato zařízení dokážou snímat i velmi vzdálené objekty jakýchkoliv tvarů a úhlů natočení dopadajících ploch s bezkonkurenční přesností. Mají také vyšší spolehlivost a opakovatelnost měření. Jedinými nevýhodami je jejich vyšší cena oproti ultrazvukovým měřičům a nespolehlivé měření ve špatných optických podmínkách či při snímání průhledných objektů. [1] [5]

Radary

Radary dokážou spolehlivě pracovat v prostředích jako je například mlha, mraky či sněh. Další jejich výhodou je dosah měření, který převyšuje nabízené dosahy všech ostatních metod. Problémy však nastávají při snaze podrobnějšího měření, kde díky dlouhým vlnovým délkám nedokážou rozpoznat malé objekty či poskytnout podrobný obrázek okolí. [37]

II. Praktická část

Hlavním cílem této práce je vytvořit koncepční návrh laserového měřiče vzdálenosti, který bude sestaven z běžně dostupných komponentů, jako jsou laserová dioda a webkamera. Jeho úkolem bude především zaznamenat překážky v dráze robota a detekovat jejich vzdálenost a polohu.

6. Specifikace účelu, vlastností a základních parametrů modelu

Účel a vlastnosti

Hlavním účelem přístroje bude detekovat překážky a jejich vzdálenost v dráze robota v reálném čase ve vymezené šířce nebo výšce před robotem. Vytvořený model by měl být co nejmenších rozměrů a hmotnosti s jednoduchou montáží všech součástí a jednoduchým zapojením a uvedením do provozu. Výstupem měření bude matice bodů se zaznamenanými vzdálenostmi a polohou s případným vykreslením těchto bodů do mapy. Zpracování obrazu bude probíhat ve vzdáleném výpočetním zařízení s přenosem dat z prototypu pomocí kabelů. Vzhledem ke skutečnosti, že se bude jednat o laserové zařízení, nebude moci být použito v prostředí se zvýšeným výskytem osob kvůli riziku poškození zraku.

Základní technické parametry

V předběžném návrhu modelu bude vytvořena snaha o dodržení těchto následujících parametrů:

- aktivní rozsah: 1000 mm
- slepá zóna: 100 mm
- rozlišení: ≤ 5 mm (v celém pásmu aktivního rozsahu)
- přesnost: ± 10 %
- reakční doba: ≤ 2 s

7. Princip měření

Pro daný problém byla vybrána laserová triangulační metoda měření vzdáleností z několika důvodů a jejich předností před ostatními principy.

Prvním důvodem výběru této metody je její cenová dostupnost s použitím lehce dostupných komponent na trhu. Dva hlavní prvky pro sestavení přístroje měřícího na tomto principu jsou zařízení pro záznam obrazu (například webkamera) a zdroj laserového paprsku.

Druhým důvodem je detekování překážek v širším pásmu nežli bodovém před měřicím přístrojem. Jedná se tedy o plošné měření, kde by bylo u ostatních metod zapotřebí použití mnoha zařízení v závislosti na velikosti této plochy. Z ekonomických a konstrukčních důvodů je tedy využití jiné než triangulační metody nelogické.

8. Komponenty

Pro realizaci laserové triangulační metody měření jsou nutné dvě základní součásti, a to laserový zdroj světla a světločivný čip. Dále bude model doplněn o servomotor, který bude plnit funkci natáčení laserového modulu a programovatelnou desku určenou k ovládání servomotoru a jako zdroj napětí pro světelný zdroj.

Laserová dioda

Jako zdroje laserového paprsku je nejvhodnější použít laserových diod, které jsou velmi jednoduše a levně k dostání v mnoha internetových obchodech či kamenných prodejnách zaměřujících se na prodej elektroniky. V předpokladech stanovených pro zařízení, které jsou uvedeny výše, je uvedena možnost detekovat více bodů najednou. K tomuto úkolu bude zapotřebí laserový modul, který na měřených objektech vykreslí čáru.

Model RYS1230 vyráběný společností Valuepro přesně splňuje uvedené požadavky. Laserový paprsek o vlnové délce 650 nm (odpovídá červené barvě) a světelném výkonu 5 mW má dostatečný dosah záření pro naše měření. Pracuje v provozních teplotách mezi 10 a 35 °C bez nutnosti chlazení. Při používání je nutné modul napájet stejnosměrným napětím o hodnotě 5 V s příkonem 1,5 W. Přídavná optika umožňuje vykreslovat linku a dá se libovolně zaostřit. Průměr modulu je 12 mm a jeho délka 35 mm. [38]



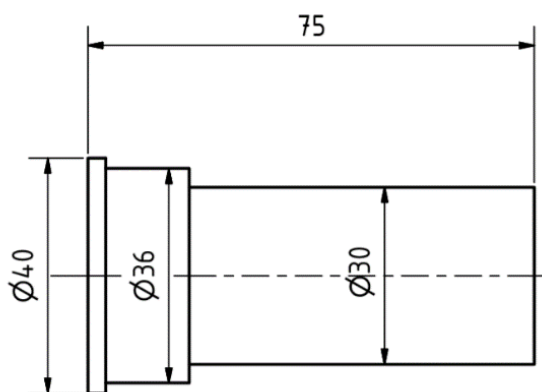
Obrázek 18 Laserový modul RYS1230 [38]

Kamera

Všechna zařízení zaznamenávající obraz již obsahují zmíněný světločivný čip. Z tohoto pohledu je tedy výběr zařízení velice široký, avšak pro pozdější zpracovávání obrazu

v reálném čase a komunikaci mezi výpočetním zařízením a kamerou bude nejvhodnější a nejjednodušší použití webkamery.

Vybranou webkamerou je od firmy Prestigio typ 2.0 Megapixels. Maximální rozlišení kamery je 640 x 480 bodů s maximální frekvencí snímání 30 snímků za sekundu. Je vybavena kabelem USB 2.0 pro snadný přenos snímků například do počítače, který zároveň zajišťuje napájení 5 V. Webkamera používá pro záznam obrazu CMOS čip o velikosti 25,4 x 3 mm. Velkou výhodou tohoto typu je jeho konstrukce, která umožňuje jednoduché uchycení ve vymodelovaném držáku. Kvůli zlepšení zpracování obrazu bude ještě umístěn před objektiv kamery červený filtr. [39]



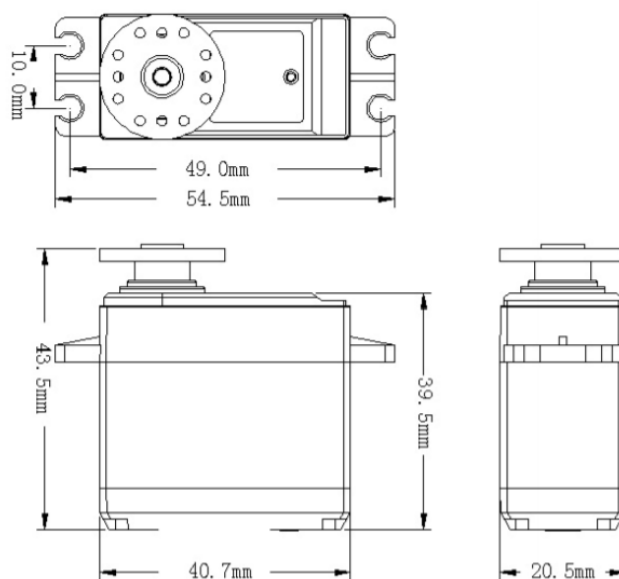
Obrázek 19 Prestigio 2.0 Megapixels [Autor]

Servomotor

Pro natačení laserového modulu bude nutno ještě použít servomotor s minimálním úhlem natočení alespoň 90 °. K tomuto úkonu by měl postačit analogový servomotor 6001HB, používaný převážně v modelářství. Servomotor disponuje limitním úhlem natočení o hodnotě 180 °. Napájí se stejnosměrným napětím 4,8 – 6 V s odběrem elektrického proudu 250 – 300 mA při otáčení rotoru a 3 – 4 mA při nečinnosti. Hodnota odebíraného proudu se může zvýšit až na 1500 mA při zastavené uzamčené poloze. Servomotor je ovládán PWM principem (Pulse Width Modification), v překladu pulzně šířkovou modulací. Nastavované hodnoty lze vyčíst z katalogu výrobce níže. Například pro otáčení rotoru v 90 ° rozmezí nastavujeme minimální a maximální šířku pulzu 1000 μs, respektive 2000 μs. K zapojení servomotoru slouží 3 vodiče, napájecí (červený), uzemňovací (černý) a signálový (hnědý). [40]

控制系統 Control system	改变脉冲宽度 Pulse Width Modification
放大器種類 Amplifier type	模拟控制器 Analog Controller
操作角度 Operating travel	90° (在 1000→2000 μ sec)
中立位置 Neutral position	1500 μ sec
脈波訊號虛位 Dead band width	4 μ sec
旋轉方向 Rotating direction	顺时针 (在 1500→2000 μ sec) Counterclockwise (when 1500→2000 μ sec)
脈波寬度範圍 Pulse width range	800→2200 μ sec

Obrázek 20 Tabulka výrobce pro ovládání servomotoru [40]



Obrázek 21 Servomotor 6001HB [40]

Programovatelná deska

K ovládání a napájení servomotoru s laserovým modulem bude potřeba základní deska. Vzhledem ke skutečnosti, že pro dostatečně rychlé zpracování obrazu z kamery a jeho vyhodnocení bude použit počítač, hlavními kritérii při výběru desky hraje její cena, pracovní napětí a možnost použití alespoň jednoho pinu pro PWM. Základní deska Arduino Mega 2560 má dostačující pracovní napětí i počet pinů. Pro komunikaci s počítačem je vybavena kabelem USB, který zároveň může sloužit jako napájecí kabel. [41]



Obrázek 22 Arduino Mega 2560 [41]

Základní parametry	
počet digitálních pinů	54
počet pinů pro PWM	15
počet analogových vstupů	16
takt mikroprocesoru	16 MHz
SRAM	8 kb
pracovní napětí	5 V
vstupní napětí	7-12 V (5 V USB)
cena	1230 Kč

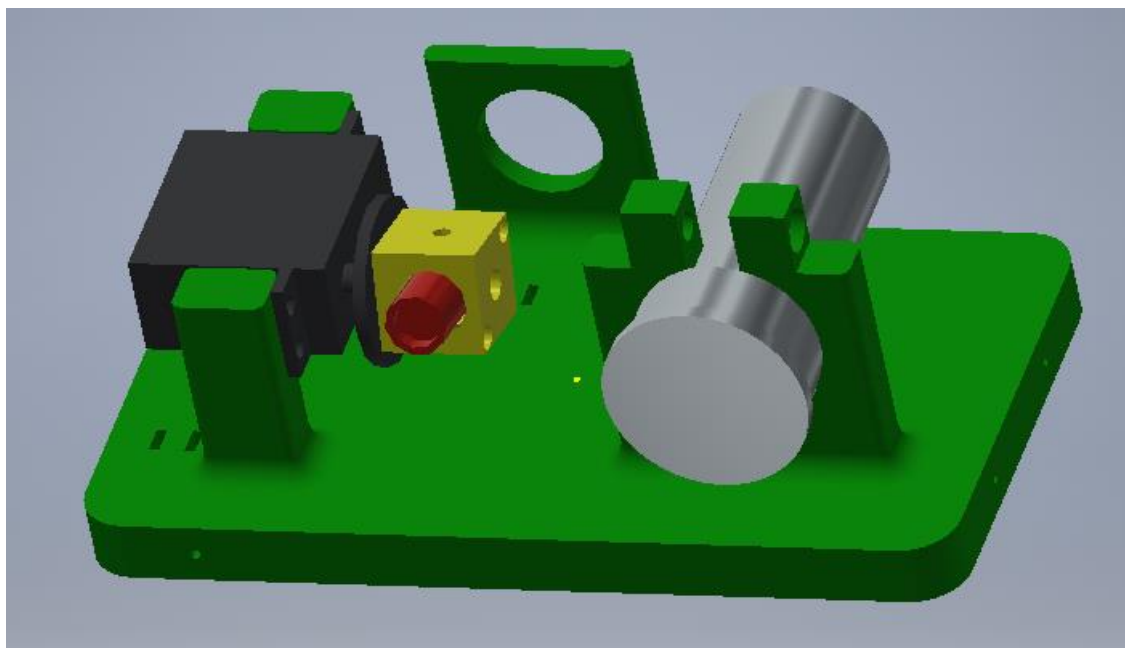
Tabulka 1 Parametry Arduino Mega 2560 [41]

9. Model

S ohledem na dostupnost a jednoduchost celého zařízení bylo jedním z důležitých kritérií při vytváření modelu konstrukce a dalších součástí umožnění tisknout tyto součásti pomocí 3D tiskárny. Tato technologie umožňuje snížit počet součástí na minimum současně se snížením odpadu vznikajícího například při obrábění. Jako výchozí materiál se tedy předpokládá plast. Typy plastů používaných při této technologii výroby jsou zpravidla pevné, ale zároveň křehké. I na tuto skutečnost je nutno brát zřetel a všechny tvary a strojní součásti modelovat ještě před samotnou výrobou dílů. Tím pádem co nejvíce omezit jakékoliv zásahy do struktury modelu při montáži. Celý model byl vytvořen v CAD softwaru Autodesk Inventor Professional 2018. Sestava se skládá ze tří vytisknutých součástí a dalších komponent potřebných k realizaci chodu zařízení.

Konstrukce

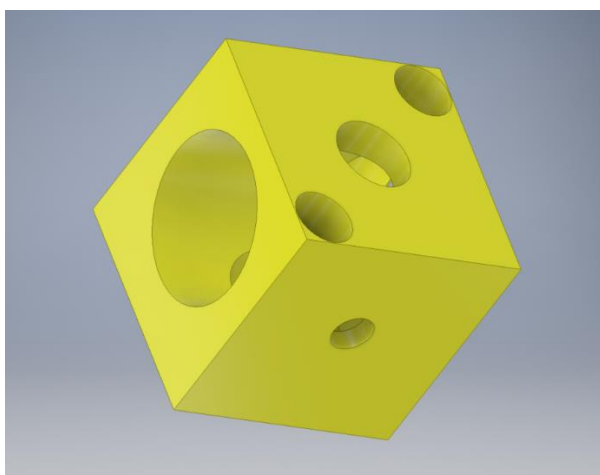
Součást slouží jako nosná konstrukce celého zařízení. Při montáži je nutné nejdříve spojit servomotor s konstrukcí pomocí vrutů a teprve poté instalovat kameru. K použití při dalších aplikacích lze při výrobě domodelovat jakýkoliv upevňovací systém na další zařízení na spodní rovinnou plochu konstrukce. Na Obrázku 23 je tato součást vyznačena zelenou barvou. Další součásti na obrázku jsou servomotor (černě), kamera (šedě), držák laserového modulu (žlutě) a laserový modul (červeně)



Obrázek 23 Model sestavy s nosnou konstrukcí (zeleně)[Autor]

Držák laserového modulu

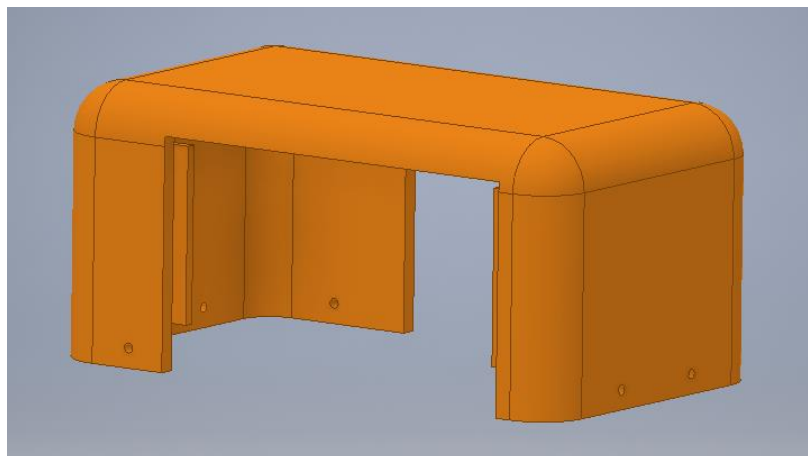
V průběhu montáže je nejdříve nutné připojit držák k rotoru servomotoru a poté vsunout laserový modul do díry. Modul je axiálně zajištěn šroubem. Díra se závitem pro tento šroub je vyřešena vloženou šestihrannou maticí.



Obrázek 24 Model držáku [Autor]

Kryt

K ochraně a proti vniknutí cizích předmětů do přístroje slouží kryt, který je přimontován ke spodní části konstrukce pomocí vrtů. Do jeho přední části se na připravené plochy vlepí sklo takových vlastností, aby nebránilo šíření laserového paprsku. Při sestavování prototypu byl použit materiál PMMA, běžně známý jako plexisklo, které tyto vlastnosti splňuje.



Obrázek 25 Model krytu přístroje [Autor]

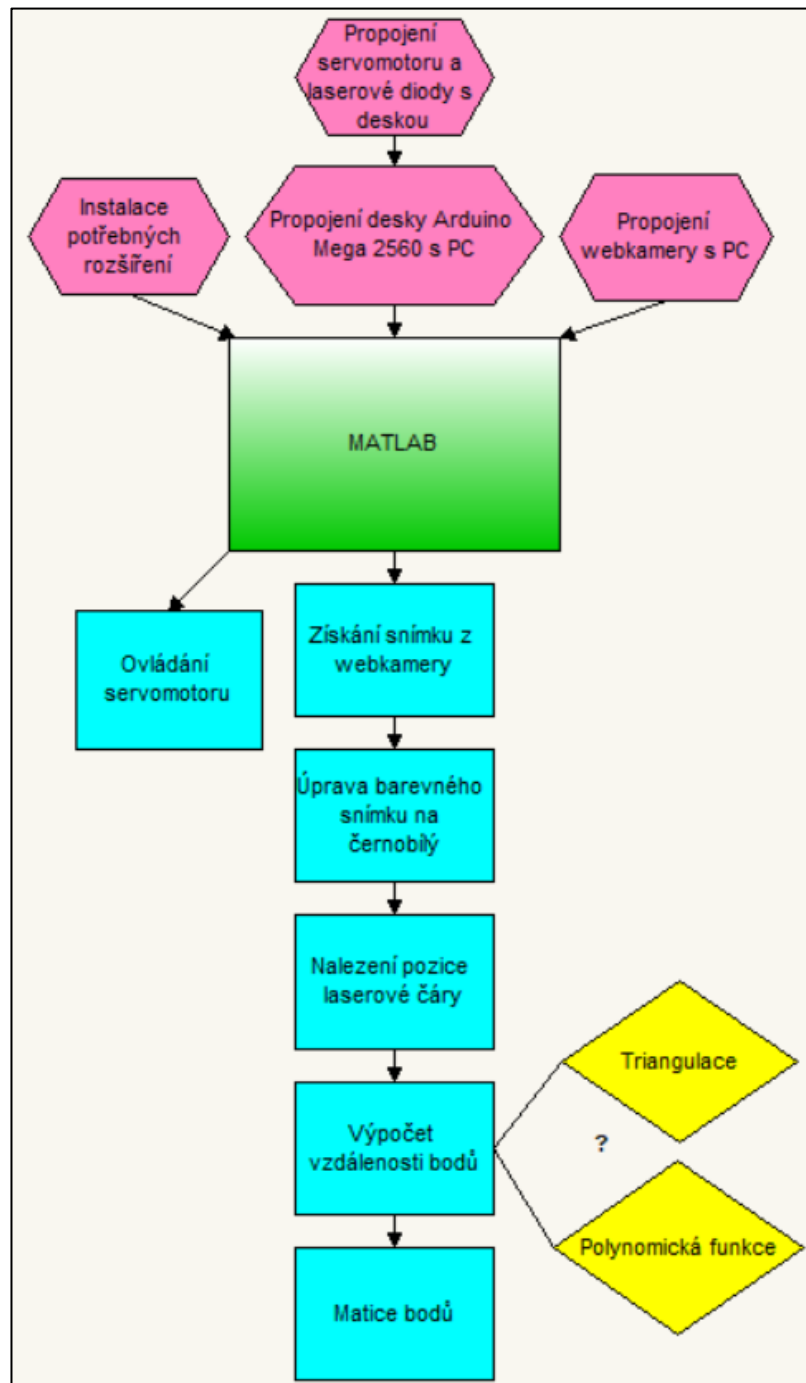
10. Sestava zařízení

V kusovníku níže jsou popsány všechny potřebné součásti pro sestavení prvního konceptu přístroje.

Kusovník prototypu č.1			
Pozice	Název	Výrobce/norma	Množství
1	Konstrukce	-	1
2	Držák laserového modulu	-	1
3	Kryt	-	1
4	Sklo 120x70x5 mm	-	1
5	Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x35	ČSN EN ISO 4762	1
6	Matice M5	ISO 4032	1
7	Šroub se šestihrannou hlavou M2,5x10	ČSN EN 24017	2
8	Matice M2,5	ISO 4032	2
9	Šroub se šestihrannou hlavou M3x8	ČSN EN 24017	1
10	Matice M3	ISO 4032	1
11	Vrut se zápustnou hlavou 3x10	-	9
12	2.0 Megapixel Webcam	Prestigio	1
13	Sestava 6001 HB	Pololu	1
14	RYS 1230	Valuepro	1
15	Průchodka plastová M20x1,5 – 14mm	Bimed	1
16	Mega 2560	Arduino	1

Tabulka 2 Kusovník prototypu č.1[Autor]

11. Program



Obrázek 26 Vývojový diagram řízení [Autor]

Software

Pro naprogramování základní desky Arduino Mega 2560 bude využito výpočetního prostředí MATLAB od společnosti MathWorks, konkrétně verze R2017a. Ta vyvinula i svůj vlastní programovací jazyk, který je v MATLAB používán. Hlavním důvodem tohoto výběru je relativně jednoduché zpracovávání obrazu z webkamery a také práce s maticemi.

Pro práci s obrazem bude zapotřebí stáhnutí rozšíření MATLAB Support Package for USB Webcams, který umožňuje získávání snímků z webkamer připojených k počítači v reálném čase a jejich matematické zpracování.

Dále je ještě nutno stáhnout rozšíření vyvinuté společností Arduino pro ovládání a programování základních desek tohoto výrobce v prostředí MATLAB, jelikož programovací jazyk všech Arduino desek je podobný jazyku C/C++ a tím pádem se tyto dva jazyky liší. Obě dvě rozšíření jsou bezplatně dostupná v prostředí MATLAB pod záložkou *Add-Ons* nebo na webových stránkách MathWorks.

Zpracování obrazu

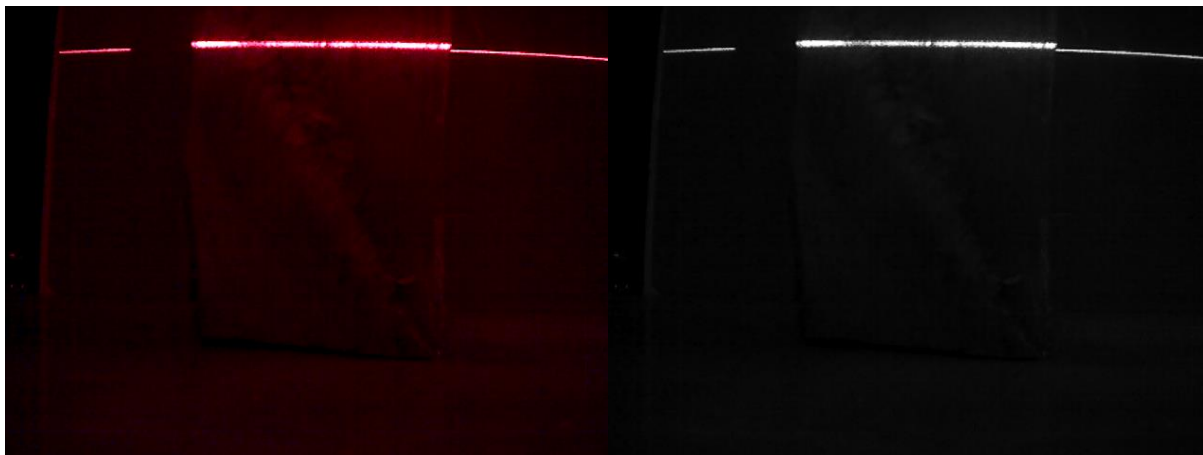
Zpracování a vyhodnocení obrazu z webkamery bude uskutečněno v několika krocích. Výstupem tohoto úkolu bude matice bodů, která bude obsahovat polohu bodu překážky a jeho vypočtenou vzdálenost před měřičem.

Prvním krokem je připojení správné kamery a získání snímků. K přidělení kamery pro definovanou proměnou (v našem případě **cam**) slouží funkce **webcam(x)**, kde **x** odpovídá názvu kamery, který lze dohledat pod příkazem **webcamlist**. Pro pořízení snímků slouží funkce **snapshot(cam)**. Ta vytvoří matici o rozměrech $i \times j$, kde i a j odpovídají rozlišení kamery v řádcích, respektive sloupcích. Vytvořená matice má však ještě třetí dimenzi, ve které jsou uloženy informace o barvách podle barevného modelu červená-zelená-modrá (RGB). Červený filtr, který je umístěn před objektivem kamery, zvýrazňuje světlo ze světelných zdrojů, které vyzařují vlnové délky právě červené barvy. Díky tomu je na našem snímku zvýrazněna čára laseru pro její pozdější detekci.

```
a = arduino();  
s = servo(a, 'D4', 'MinPulseDuration', 1000*10^-6, 'MaxPulseDuration', 2000*10^-6);  
%% servomotor zapojen v digitálním pinu č. 4  
cam = webcam('USB Camera');
```

Pro další aplikaci je nutné převedení barevného obrázku na černobílý. Důvodem pro tento postup řešení je lehčí a tím pádem rychlejší práce s maticí obrazu. K tomuto účelu slouží funkce **rgb2gray**. Černobílé snímky jsou taktéž složeny pomocí RGB, avšak hodnoty všech barev jsou si rovny. Z matematického hlediska MATLAB však po aplikaci tohoto příkazu vrátí matici, ve které se hodnota každé buňky rovná právě všem třem hodnotám uložených v modelu RGB a tím pádem rovnou odstraní přebytečný barevný model a upraví dosavadní matici na dvoudimenzionální.

```
rgbim = snapshot(cam); %% snímek v RGB  
IMG = rgb2gray(rgbim); %% převedení RGB snímku na černobílý
```



Obrázek 27 Porovnání barevného a černobílého snímku [Autor]

Třetím krokem je nalezení pozice vykreslené čáry. Zde využijeme předpokladu uvedeného výše, a to že díky červenému filtru bude intenzita bílé barvy, čili hodnota buněk, nejvyšší právě v bodech dopadu čáry na čip. Pomocí funkce **find()** a použití vhodného argumentu nalezneme všechny buňky v matici černobílého obrázku, které budou mít větší hodnotu, čili světelnou intenzitu, než námi zadanou. Důvodem pro tento krok je fakt, že vykreslená čára nabývá různých hodnot intenzity na snímku při různých světelných podmínkách okolí a vlastnostech snímaných objektů. Kvůli tomu bude nutné před každým použitím v jiném prostředí měnit tento argument funkce, například užitím nerovnic, pro správný chod zařízení. Výstupem této funkce jsou dva sloupcové vektory stejných velikostí, kde každý z nich reprezentuje číslo řádku, respektive sloupce najité buňky.

```
laser = 100; %% citlivost lokalizace laserové čáry (0;255)
[rows, columns] = find(IMG > laser); %% lokalizace čáry - vytvoření dvou vektorů
```

Pro další vyhodnocování je potřeba vždy pouze jeden ze sloupcových vektorů, a to buď vektor obsahující čísla řádků nebo vektor obsahující čísla sloupců najitých bodů laserové linky. Výběr určitého vektoru záleží na výběru metody výpočtu vzdálenosti a pozici laserové čáry proti webkameře. Tento problém je popsán níže v kapitole „Funkce výpočtu vzdálenosti“. Níže je zobrazena část výpočtu vzdálenosti pomocí triangulační metody.

```
%% Zvolení oblasti
if(484.8 > L) && (L > 374.1) %% blízká oblast (10;20) cm
A(1:x) = (columns - 320)*(0.0072)+0.203;
D = H./(tan(A));
elseif(620 > L) && (L > 484.9) %% střední oblast (20;100) cm
A(1:x) = (columns - 320)*(0.0014)+1.016;
D = H./(tan(A));
elseif(360 < L) && (L < 374.1) %% vzdálená oblast (100;130) cm
A(1:x) = (columns - 320)*(0.0149)-0.2081;
D = H./(tan(A));
else %% mimo aktivní rozsah
disp('ERROR');
end
```

Tento nový vektor vzdáleností bude dále použit pro výpočet výšky a šířky od osy kamery. Po přepočítání vektorů vzdáleností následuje poslední krok, a to vytvoření matice bodů, které zobrazují okolí přístroje v souřadném systému s počátkem přibližně v ose kamery a čele zařízení. Ke generování takovéto matice je použita funkce **horzcat()**, která vytvoří matici ze sloupcových vektorů. Tím, že při vyhodnocování všech vektorů zůstaly hodnoty jednotlivých buněk na stejných pozicích, výsledná matice přímo zobrazuje souřadnice všech bodů osvětlených laserovou čarou a zaznamenaných v procesu zpracování snímku z kamery.

```

%% Výpočet výšky a šířky bodu ze vzdálenosti
%% Kamera má přibližně stejně široké i vysoké zorné pole, kde jeho velikost
%% odpovídá i vzdálenosti clonky od kamery
Vzdalenost = D';
vyska (1:x) = 480;
radky = (Vzdalenost./vyska').*(240-rows);

sirka (1:x) = 640;
sloupce = (Vzdalenost./sirka').*(columns-320);

OUTPUT = horzcat(radky, sloupce, Vzdalenost);
TF = OUTPUT(:,3) < 10 | OUTPUT(:,3) > 130; %% kontrola aktivního rozsahu
OUTPUT(TF,:)=[];

```

Ovládání servomotoru

Po připojení programovatelné desky Arduino k prostředí je MATLAB je nutné nadefinovat i servomotor. K tomu slouží příkaz **servo()**, která je obsažena ve staženém rozšíření. Pro chod servomotoru je nutné zadat jako argumenty příkazu číslo digitálního pinu, na který je připojen a také hodnoty rozpětí PWM dle informací uvedených v katalogu výrobce (viz Obrázek 15). K otáčení rotoru do požadované polohy poté slouží funkce **wriTEposition()**, pro případné čtení úhlu natočení funkce **readposition()**.

```

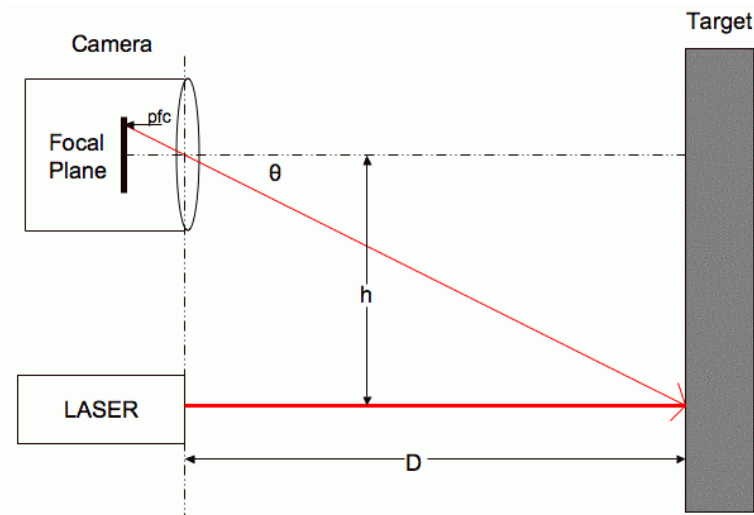
horni = 0.45; %% horní pozice servomotoru
dolni = 0.9; %% dolní pozice servomotoru
writePosition(s, dolni); %% pohyb servomotoru do dolní polohy

```

12. Funkce výpočtu vzdálenosti

Triangulační metoda

Pro tuto metodu výpočtu bude třeba mít laserový modul natočen v jeho držáku tak, aby vykreslovaná čára byla horizontálně orientovaná. Geometricky vzato, aby rovina, ve které čára a osa modulu leží, byla rovnoběžná s osou kamery a zároveň kolmá na řádek bodů kamery. V případě uspořádání součástek v prvním prototypu tudíž nebude muset být přítomen servomotor a měření bude možné provádět pouze v jedné rovině.



Obrázek 28 Triangulační metoda (pohled shora) [42]

Jak lze z obrázku výše vidět, vzdálenost D objektu závisí na výšce h a úhlu θ vztahem:

$$D = \frac{h}{\text{tg}(\theta)} \text{ [cm]}$$

kde h lze snadno měřit. Pro úhel θ platí, že čím dále se nachází měřený objekt, tím je tento úhel menší a vykreslená čára se na snímku obrazí blíže středu sloupců. Výpočet tohoto úhlu popisuje rovnice:

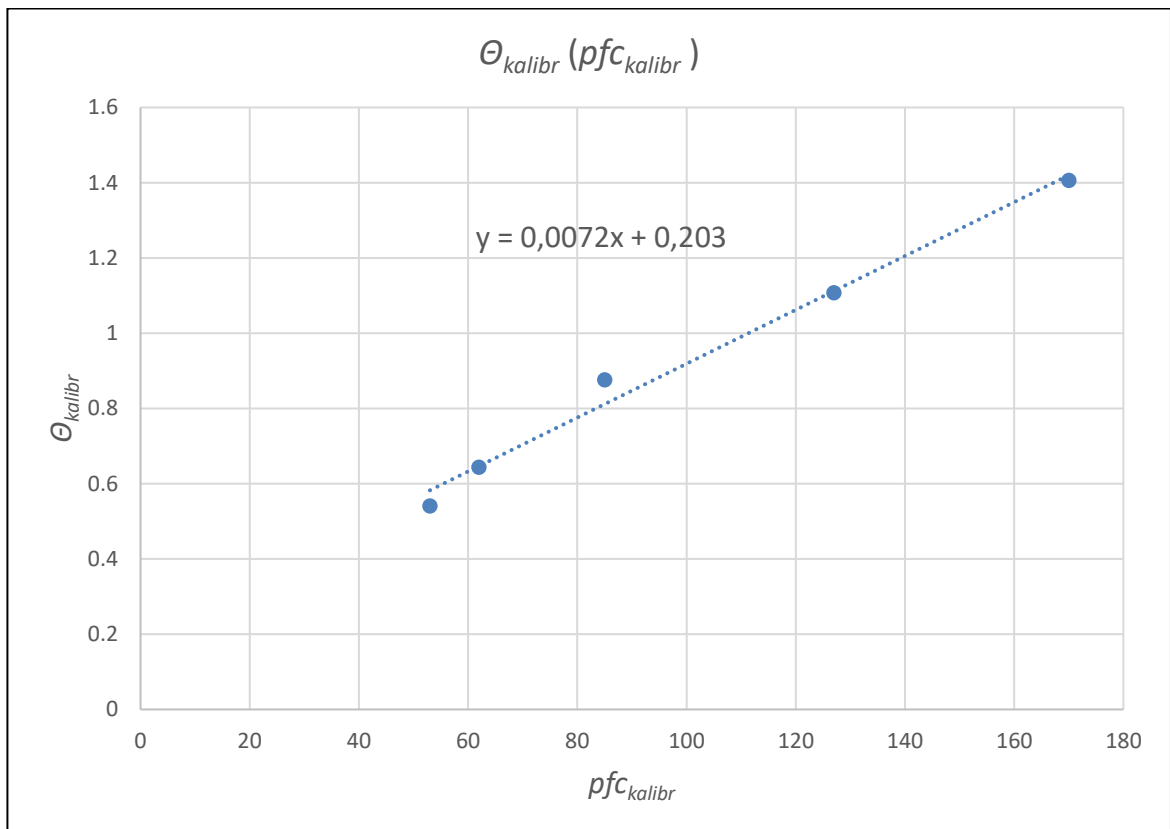
$$\theta = pfc \cdot rfc + r_0$$

kde pfc značí počet pixelů od středu sloupců, rfc hodnotu velikosti úhlu v radiánech na jeden pixel a r_0 jako korekční člen. [43]

Člen pfc je získán z operace zpracování obrazu, kdy je využit vektor obsahující čísla sloupců vykreslené čáry a od něj je odečteno číslo středového sloupce kamery (při rozlišení 640 x 480 je to číslo 320). Zbylé dva argumenty je nutné najít kalibrací přístroje. Ta probíhá tak, že před přístroj je postupně umístěována clonka ve známých vzdálenostech D_{kalibr} , z nichž je vypočítán úhel θ_{kalibr} vztahem

$$\theta_{kalibr} = \text{arctg}\left(\frac{h}{D_{kalibr}}\right)$$

a pokaždé je změřen počet pixelů od středu sloupců pfc_{kalibr} . Následně je závislost θ_{kalibr} (pfc_{kalibr}) vynesena do grafu a pomocí lineární regrese jsou zjištěny parametry rfc a r_0 .



Graf 1 Kalibrace [Autor]

Z rovnice závislosti vyplývá, že výsledný tvar vztahu pro výpočet úhlu bude mít tvar,

$$\theta = 0,0072 \cdot pfc + 0,203$$

který se poté dosadí do rovnice výpočtu vzdálenosti a vznikne konečný tvar

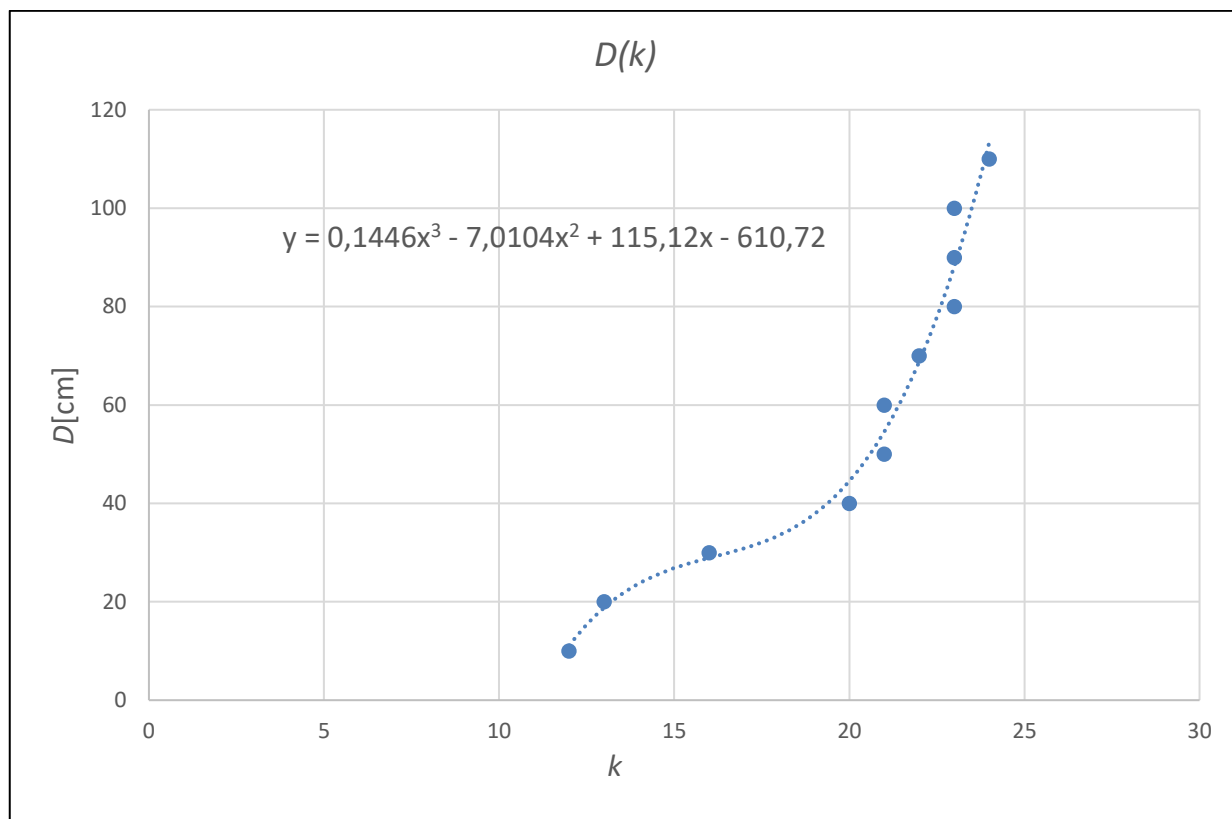
$$D = \frac{h}{\text{tg}(0,0072 \cdot pfc + 0,203)}$$

Metoda polynomické funkce

Tato metoda bude použita při vodorovném vykreslení čáry, tzn. rovina, ve které čára a osa modulu leží, bude vždy kolmá na sloupci bodů kamery a s její osou může svírat jakýkoliv úhel. Díky této skutečnosti je však nemožné použít triangulační metodu, neboť z výšky h se kvůli úhlu natočení stává závislá proměnná právě na vzdálenosti objektu. Funkce výpočtu vzdálenosti proto bude stanovena empiricky nahrazením polynomem 3. řádu. Výhodou proti triangulačnímu principu měření by mohla být možnost měřit v jakémkoliv místě před přístrojem.

Stanovení funkce probíhá při největším možném úhlu sevření mezi osou kamery a rovinou laserové čáry pro dosažení co největšího rozlišení. Přístroj vrací číslo řádku ve

sloupci snímku k , kde detekuje intenzitu světelné čáry pro několik známých vzdáleností clonky D . Výsledky jsou zaznamenány do grafu a je jimi proložena křivka polynomu 3. řádu. Rovnice křivky poté odpovídá rovnici polynommické funkce.



Graf 2 Polynommická funkce [Autor]

Pro vzdálenost D platí tedy přibližný vztah

$$D = 0,1446 \cdot k^3 - 7,0104 \cdot k^2 + 115,12 \cdot k - 610,72 \text{ [cm]}$$

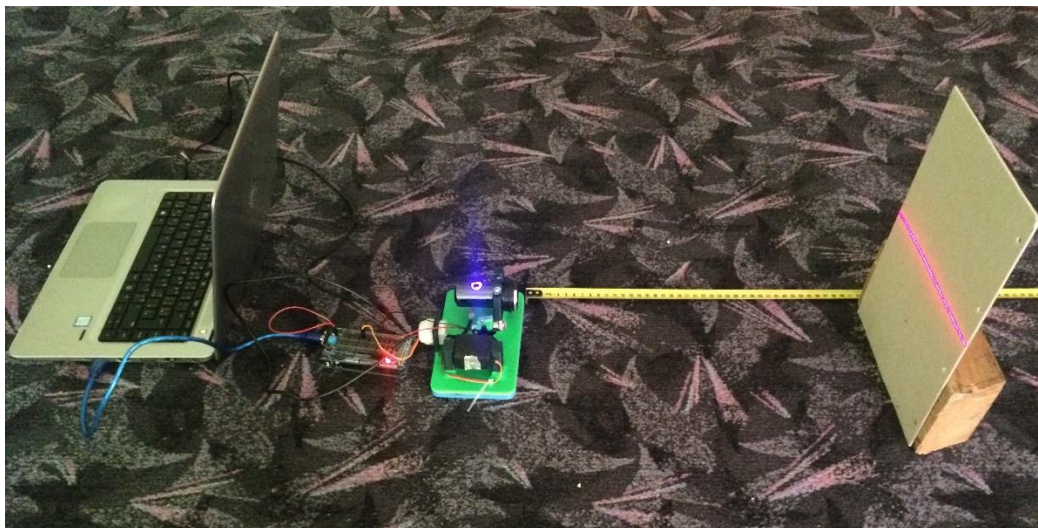
Zpracování výsledků, včetně lineární regrese a proložení bodů polynommickou funkcí bylo provedeno v programu Microsoft Excel 2016.

13. Experiment

Měření

Pro ověření funkce prototypu a případnému vyhledání chyb při měření bude proveden experiment. Dalším cílem bude vybrat vhodnější metodu výpočtu vzdálenosti mezi triangulačním výpočtem nebo polynommickou funkcí.

K pokusu bude použito svinovací pásmo a clonka. Výsledky budou zpracovány do tabulky.



Obrázek 29 Foto experimentu [Autor]

V levém sloupci jsou vypsány skutečné vzdálenosti clonky od čela prototypu. V dalších dvou sloupcích jsou poté zaznamenány výsledky měření podle jednotlivých metod výpočtu.

Skutečná vzdálenost [cm]	Triangulační metoda [cm]	Polynomická funkce [cm]
10	-30	11
15	-4	11
20	10	27
25	22	29
30	31	29
35	38	44
40	43	44
45	49	44
50	55	54
60	64	54
70	72	69
80	81	88
90	88	88
100	95	113

Tabulka 3 Srovnání metod výpočtu pokusem [Autor]

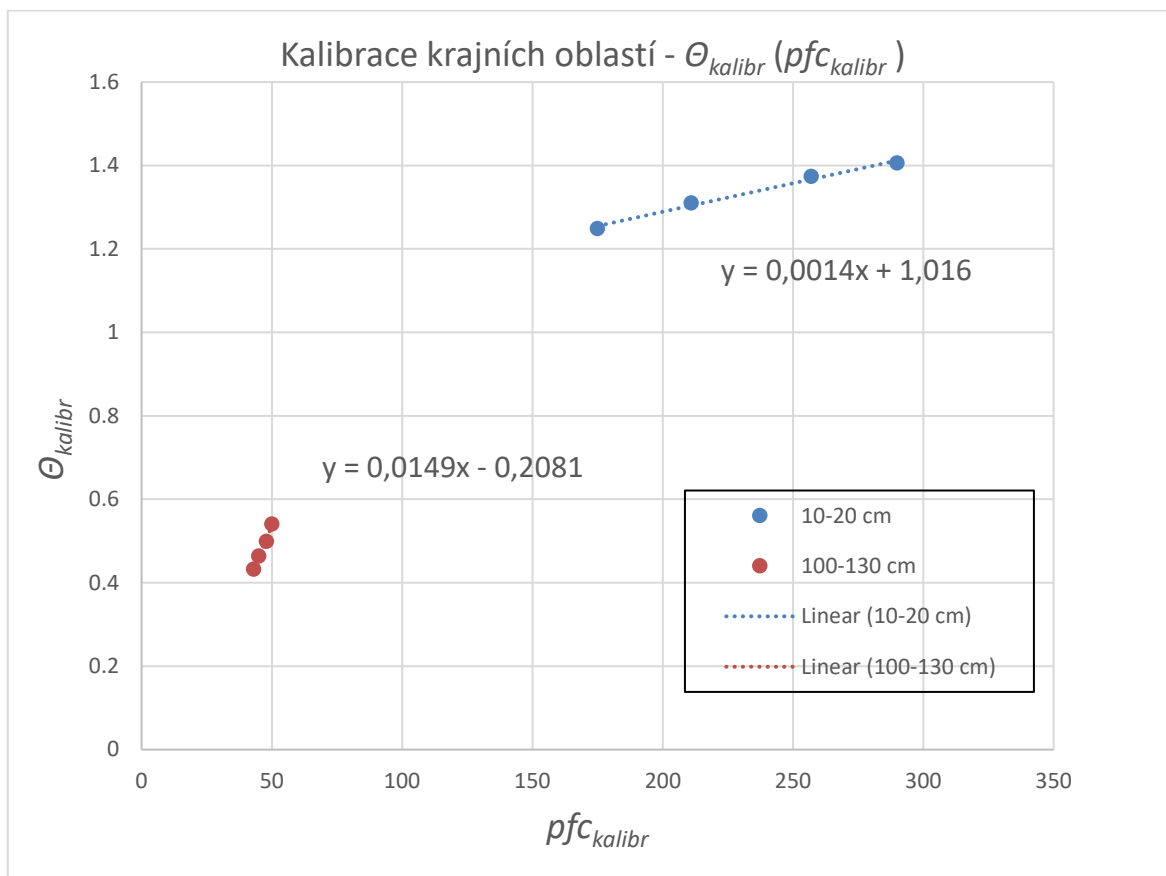
Výběr metody výpočtu

Jak lze z výsledků pokusu usoudit, měření při použití výpočtu polynomickou funkcí nedosahuje požadovaných parametrů, zejména rozlišení a přesnosti, i přes to, že úhel natočení laserového modulu byl nastaven na nejvyšší možný a tudíž bylo rozlišení přístroje na nejlepší možné hranici. Přístroj také není schopen měřit vzdálenosti objektů nacházející se kolem středu řádků snímku. Tato chyba byla předpokládána ještě před samotným měřením. Její příčinou je umístění laserového modulu do stejné osové výšky jako osa kamery. Důsledkem tohoto uspořádání je, že při zmenšování úhlu natočení, který svírá osa kamery s osou modulu při pohledu ze strany, se zároveň rapidně zhoršuje rozlišení přístroje. Tato vlastnost by mohla být vylepšena umístěním laserového modulu se servomotorem do jiné polohy, avšak takový rozdíl není zaručen. I přes to by bylo však potřeba pro každý úhel natočení jiné polynomické funkce, což by kalibraci značně zpomalovalo. Při použití této metody by byla slepá zóna snímače < 10 cm, avšak průměrná odchylka všech měření je 12,5%. Největším problémem je však rozlišení přístroje při použití této metody, které je přibližně 90 mm.

Metodou triangulace lze dosáhnout uspokojivých výsledků v celém měřicím rozsahu, kromě slepé zóny snímače, která je dle měření přibližně 15-20 cm. Průměrná odchylka od skutečných hodnot (≥ 20 cm) činí 9,8%. Největší výhodou této metody je však její rozlišení, které činí přibližně 5 mm do 400 mm vzdálenosti objektu. To je také důvodem, proč je vybrána pro další vývoj práce.

Zpřesnění měření

Pro vybranou metodu triangulace budou provedeny další dvě kalibrace zařízení z důvodu malých přesností měření v oblastech blízko slepé zóny (blízko čela přístroje) a v oblasti se vzdáleností větší než 100 cm. Kalibracemi se upraví rovnice pro získání úhlu θ v obou oblastech pro lepší přesnost. Výsledky jsou zaznamenány v grafu níže společně s doplňujícími rovnicemi výpočtu úhlu θ . Program pro výpočet vzdáleností se upraví tak, aby používal k výpočtu správnou funkci úhlu θ získanou kalibrací pro danou oblast měření.



Graf 3 Dodatečná kalibrace krajních oblastí [Autor]

Po provedení procesu sloužícímu k zpřesnění měření byly konečné základní parametry prvního konceptu zaznamenány v tabulce níže. Lze konstatovat, že dodatečnou kalibrací se zmenšila slepá zóna na 10 cm a bylo dosaženo lepší přesnosti v celém aktivním rozsahu přístroje. Rozlišení je uvedeno pouze do vzdálenosti 100 cm od čela přístroje. Dále za touto hranicí se prudce zhoršuje.

Základní parametry	
Aktivní rozsah	100-1300 mm
Rozlišení (10-60 cm)	< 5 mm
Rozlišení (60-100 cm)	< 18 mm
Odchylka	< 5 %
Čas odezvy	< 2 s

Tabulka 4 Základní parametry konceptu č.1 [Autor]

14. Nedostatky a jejich řešení

Prvním zásadním problémem, který souvisí s vybranou metodou výpočtu, je neschopnost přístroje detekovat překážky v celém prostoru. Tento nedostatek může být odstraněn několika způsoby. Prvním možným řešením je umístění celého modelu na další součásti, které budou řízeně natáčet snímačem, který bude schopen měřit ve více polohách.

Při absenci takového systému pak lze upravit model prototypu pro použití dvou servomotorů, které by vždy kameru s laserovým modulem natočily o stejný úhel a tím pádem umožnily měření ve více rovinách. Při natočení obou součástí o stejný úhel α , který svírá osa komponent v nové poloze s jejich neutrální polohou se vzorec pro výpočet vzdálenosti změní na

$$D = \frac{h \cdot \cos(\alpha)}{\operatorname{tg}(\theta)}$$

, kde h značí osovou vzdálenost obou součástí v neutrální poloze natočení. Nevylučuje se však i nutnost provedení nové kalibrace pro jiné úhly natočení a tím pádem změny v rovnici pro úhel θ .

Pro vylepšení rozlišení přístroje lze využít úpravy konstrukce či výběru kvalitnější webkamery. Vyššího rozlišení může být dosaženo zvětšením vzdálenosti mezi osami kamery a laserového modulu, neboli zvětšením h . Je však nutno brát zřetel na zvětšení slepé zóny. S ohledem na již existující konstrukci také lze zvolit kvalitnější kameru, například A4tech PK-910H Full HD WebCam. Ta disponuje maximálním rozlišením 1920 x 1080 bodů při frekvenci 30 snímků za sekundu. Je také tvarově i rozměrově podobná stávající kameře. Přenos dat je řešen pomocí USB 2.0. [44] Zde je nutné dbát opatrnosti na jiné parametry, které toto rozhodnutí může negativně ovlivnit. Jedná se zejména o dobu odezvy, která se může značně prodloužit při zpracovávání snímků, které budou obsahovat více pixelů. Při připojování kamery k prostředí MATLAB však lze upravovat rozlišení obrazů, které se budou ukládat z video přenosu dále k vyhodnocení.

Kolisavost přesností změřených výsledků v experimentu lze zdůvodnit hlavně tím, že se kalibrace provedla pouze pro jeden řádek a pro celý rozsah měření. Z tohoto důvodu bylo provedeno několik kalibrací pro různé úseky měřícího rozsahu. Dále může být způsobena nepřesným ustanovením laserového modulu v držáku dle geometrických pravidel a také faktem, že vykreslenou laserovou čáru nelze perfektně zaostřit v celém měřícím rozsahu a tím pádem přístroj vrací více hodnot pro jeden řádek. Tento problém je možné vyřešit použitím jiné funkce pro hledání pozice laserové čáry v každém z řádků, například funkce **max()**. Výstupem z této funkce je pouze jediná hodnota, která odpovídá první maximální intenzitě světla v daném řádku. Ta však nemusí odpovídat středu nezaostřené laserové čáry. Toto řešení by bylo nutné nejdříve pečlivě zvážit.

Při použití uvedených součástí přístroj dokáže měřit pouze v šerém prostředí. Intenzita záření laserového paprsku také není dostačující při situaci, kdy se na snímku objeví zdroj

světla z okolí, který vyzařuje viditelné světlo obsahující i červenou složku v oblasti elektromagnetického spektra. Pro tento problém však nebylo nalezeno žádné ekonomicky ani technicky dostupné řešení. Zamezení dopadu světla přímo ze světelných zdrojů na světločivný čip kamery je leckdy takřka nemožné. Použití laserové diody s vyšší hodnotou světelného výkonu by mohlo zlepšit výsledky měření, avšak otázkou zůstává například bezpečnost v okolí přístroje při zásahu světelného paprsku do lidského oka.

15. Konečný model

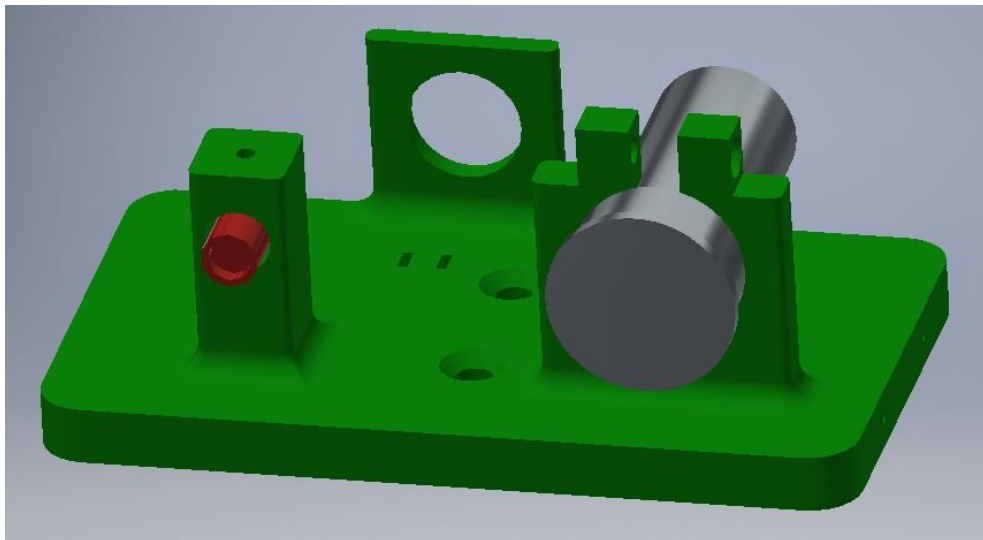
Na základě poznatků získaných v průběhu prací a kontrolním experimentem byl vytvořen nový model uspořádání laserového měřiče vzdálenosti. Oproti stávajícímu návrhu postrádá servomotor, který sloužil k natáčení laserového modulu a dále již není u vybrané triangulační metody měření potřeba. Pro napájení laserového modulu lze zvolit zdroj stejnosměrného napětí o výstupní hodnotě 5 V nebo programovatelnou desku Arduino Mega 2560, která však již není nutností. Poslední výraznou změnou je zvětšení vzdálenosti os h pro lepší rozlišení a dosah přístroje. Níže je uveden kusovník pro konečný koncept sestavení společně s obrázkem modelu konstrukce, kamery a laserového modulu.

Takto sestavený samotný prototyp však nedokáže měřit vzdálenost v celém prostoru před sebou, ale pouze jednu rovinu charakterizovanou laserovou linkou. K tomuto úkolu je zapotřebí provést několik změn v konstrukci a použitých komponent, které jsou popsány v předchozí kapitole. Jako příklad řešení lze uvést umístění celého přístroje na rotující komponent zařízení, u kterého by bylo možné natáčet celý přístroj o známý úhel.

Volný prostor v útrokách přístroje lze využít právě k umístění zdroje elektrické energie. Kryt nového modelu je součástí přílohy, společně s upraveným programem bez ovládání servomotoru. Příloha také obsahuje starý zkušební prototyp se všemi náležitostmi s ním spojenými.

Kusovník prototypu č.2			
Pozice	Název	Výrobce/norma	Množství
1	Konstrukce	-	1
2	Držák laserového modulu	-	1
3	Kryt	-	1
4	Sklo 140x70x5 mm	-	1
5	Šroub s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M5x35	ČSN EN ISO 4762	1
6	Matice M5	ISO 4032	1
7	Šroub se šestihrannou hlavou M3x8	ČSN EN 24017	1
8	Matice M3	ISO 4032	1
9	Vrut se zápustnou hlavou 3x10	-	6
10	2.0 Megapixel Webcam	Prestigio	1
11	RYS 1230	Valuepro	1
12	Průchodka plastová M20x1,5 – 14mm	Bimed	1
13	Šroub se zápustnou hlavou M6	ČSN EN ISO 2009	2

Tabulka 5 Kusovník prototypu č. 2 [Autor]



Obrázek 30 Sestava modelu č. 2 [Autor]

Závěr

V první části práce jsem vypracoval rešerši používaných bezdotykových měřičů vzdálenosti. Vybral jsem tři hlavní typy těchto přístrojů, které se odlišují použitím různých fyzikálních principů. Prvním typem těchto přístrojů jsou ultrazvukové měřiče vzdálenosti. Zde jsem popsal, na jakém fyzikálním principu měření pracují, jejich výhody a nevýhody, aplikace a možné použití v praxi a nakonec jsem představil dva mnou vybrané konkrétní ultrazvukové snímače. Ve druhé části rešerše jsem vysvětlil fyzikální základ optických snímačů a dále jsem charakterizoval zdroje laserových paprsků a také jeho přijímačů. Poté jsem vybral dvě základní metody principů měření optických laserových snímačů vzdálenosti, a to triangulační metodu a metodu doby letu světla. Ke každé z těchto technik jsem přidal jejich použití a příklad jednoho konkrétního přístroje. Jako třetí metodu bezdotykového měření jsem popsal princip měření pomocí rádiových vln. Na závěr teoretické části jsem porovnal všechny popsané metody měření mezi sebou.

Druhá část mé práce je věnována návrhu uspořádání a modelu laserového měřiče vzdálenosti. Nejprve jsem specifikoval účel a základní parametry, které by měl přístroj splňovat. Dále jsem popsal všechny důležité komponenty, které jsou nezbytné k funkci zařízení a které budou konkrétně použity při modelování součástí a celkové montáži prototypu. V dalším kroku jsem se zabýval postupem psaní programu pro automatizaci a činnost přístroje a výběru vhodné metody výpočtu vzdálenosti. Konečná část je věnována experimentu s funkčním zařízením, který slouží ke zjištění chyb a nedostatků při reálném měření. Na závěr popisuji možná řešení těchto nedostatků a prezentuji jeden ze způsobů konečného návrhu uspořádání součástí laserového měřiče vzdálenosti.

Koncept je vhodný pro monitorování překážek v dráze robota i pro množství dalších aplikací, kde je potřeba měřit vzdálenosti od objektů v širším pásmu v reálném čase. Modelový návrh se dá podle potřeby upravovat při použití jiných součástí či při připojení ke specifickému držáku. Další výzkumné práce pro rozvoj tohoto projektu by se mohly týkat nalezení přesného středu laserové linky ve špatně zaostřených oblastech měření nebo zpřesnění a lepšího vizuálního zpracování mapy bodů. V případě využití konceptu pro další akademický či průmyslový vývoj bude také nutno diskutovat přizpůsobení tvarů a výrobní postupy součástí modelu a provést detailnější kalibraci pro přesnější měření.

Bibliografie

- [1] BARTONÍK, Jan. *Možnosti bezdotykového měření vzdálenosti*. Zlín, 2013. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati.
- [2] VOJÁČEK, Antonín. Ultrazvukové senzory přiblížení - funkce, provedení, použití. *HW.cz: vše o elektrotechnice a automatizaci* [online]. Praha 4, 1997 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ultrazvukove-senzory-priblizeni-funkce-provedeni-pouziti.html>
- [3] KEITH, Curtis. Použití ultrazvukových měničů pro měření vzdálenosti. *DPS: Elektronika od A do Z* [online]. 2015, **2015**(6) [cit. 2018-03-29]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/mereni/id:20858/pouziti-ultrazvukovych-menicu-pro-mereni-vzdalenosti>
- [4] KOCHANÍČEK, Ludvík. Ultrazvukové snímače. *COPTTEL - elektrotechnika* [online]. Kroměříž: Centrum odborné přípravy technické, b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/?action=2&doc=9226>
- [5] HUŠEK, Miloš. Porovnání laserových a ultrazvukových dálkoměrů. *QTest: Měřicí a přístrojová technika* [online]. 2009 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/laserove-dalkomery/porovnani-laser-ultrazvuk.htm>
- [6] Ultrazvukové senzory. *Senzory pro průmysl* [online]. b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.senzory-pro-prumysl.cz/index.php/ultrazvukove-senzory>
- [7] GROSS, Kristin. 12 Ultrasonic sensor applications. *MaxBotix* [online]. Brainerd, b.r. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://www.maxbotix.com/articles/ultrasonic-sensor-applications.htm>
- [8] UM30-214113: Ultrazvukové snímače. *SICK: online katalog* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/snimace-mereni-vzdalenosti/ultrazvukove-snimace/um30/um30-214113/p/p222363>
- [9] SRF485WPR Ultrasonic range finder. *Robot Electronics* [online]. Norfolk, 1987 [cit. 2018-03-29]. Dostupné z: <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf485wprtech.htm>
- [10] SRF485WPR. *MANU SYSTEMS* [online]. b.r. [cit. 2018-04-26]. Dostupné z: <https://en.manu-systems.com/DEV-SRF485WPR.shtml>

- [11] Elektromagnetické záření. *Fyzika pro život: Implementace interaktivních prvků výuky fyzika na ZŠ* [online]. b.r. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://fyzika.fyzikaprozivot.cz/9-rocnik/5-elektromagneticke-zareni>
- [12] Elektromagnetické spektrum. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_spektrum
- [13] BRABEC, Petr a Filip BARTŮŇEK. Laser. *Fyzika 007* [online]. 2012 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/fyzika-mikrosveta/laser>
- [14] Laser. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>
- [15] KACHTÍK, Lukáš. Princip laseru. *Laser: a vše o něm* [online]. 2010 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/princip.html>
- [16] PASCHOTTA, Rudiger. Output Couplers. *RP photonics: Encyclopedia* [online]. Bad Durrheim, b.r. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.rp-photonics.com/output_couplers.html
- [17] FORMÁNEK, Josef. *Měření optických snímačů vzdálenosti* [online]. Plzeň, 2006 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: ~formanek/mmvyuka/Data/opticke_snimace/optika_vzdalenost.htm. ZČU v Plzni - Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů.
- [18] Digitál pod lupou: Snímací čip. *AZ foto s.r.o.* [online]. Brno, b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: http://www.azfoto.cz/informace/digital_pod_lupou/snimaci_cip
- [19] CHRISTENSSON, Per. CMOS image sensor. In: *TechTerms* [online]. 2005 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://techterms.com/definition/cmos>
- [20] Overview of Photoelectric Sensors. *OMRON: Industrial automation* [online]. 2007 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://www.ia.omron.com/support/guide/43/introduction.html>
- [21] VOJÁČEK, Antonín. Volba vhodného snímače/detektoru přítomnosti objektů. *HW.cz: vše o elektrotechnice a automatizaci* [online]. Praha 4, 1997 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/volba-vhodneho-snimace-detektoru-pritomnosti-objektu.html>

- [22] VOJÁČEK, Antonín. Princip laserových snímačů vzdálenosti s triangulačním principem měření. *HW.cz: vše o elektrotechnice a automatizaci* [online]. Praha 4, 1997 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/princip-funkce-laserovych-snimacu-vzdalenosti-s-triangulacnim-principem-mereni.html>
- [23] An Introduction to Laser Triangulation Sensors. *AZoSensors* [online]. Manchester (GB), 2000 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=523>
- [24] 1D laser displacement sensors. In: *KEYENCE CORPORATION* [online]. Itasca, b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: https://www.keyence.com/ss/products/measure/measurement_library/type/laser_1d/
- [25] What is 3D scanning. *Laser design* [online]. Minneapolis, b.r. [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://www.laserdesign.com/what-is-3d-scanning>
- [26] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Bezkontaktní digitalizace předmětů pomocí 3D scanneru Minolta Vivid VI-700: 2. Metody bezkontaktní digitalizace povrchů reálných předmětů. *Elektrorevue* [online]. 2003 [cit. 2018-05-02]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/kap_2.htm
- [27] VOJÁČEK, Antonín. Optické senzory přiblížení - obecný popis. *HW.cz: vše o elektrotechnice a automatizaci* [online]. Praha 4, 1997 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2005121901>
- [28] Smart sensor ZX1: Laser sensor with built-in amplifier ZX1. *OMRON: industrial automation* [online]. 2011 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: http://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/zx1_e416-e1_3_1_csm1001847.pdf?id=3107
- [29] Princip doby letu světla. *Micro-epsilon: Slovník* [online]. Bechyně, b.r. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://www.micro-epsilon.cz/service/glossar/Laufzeit-Messprinzip.html>
- [30] KACHTÍK, Lukáš. Laserový metr. *Laser: a vše o něm* [online]. 2010 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: http://lasery.wz.cz/laserove_zamerovani_a_mereni_vzdalenosti.html
- [31] CARDINAL, David. Kinect for the Xbox One: Sensor revolution or marketing hype?. In: *Extreme Tech* [online]. 2013 [cit. 2018-05-24].

- [32] OptoNCDT-ILR: Laser distance sensors. *Micro-epsilon: Online katalog* [online]. b.r. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://www.micro-epsilon.cz/download/products/cat--optoNCDT-ILR--en.pdf>
- [33] PÁČ, Jakub. *Měření vzdálenosti s použitím radaru*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Lukáš Maršík.
- [34] WOLFF, Christian. Frequency-Modulated Continuous-Wave Radar (FMCW Radar). *Radar Basics* [online]. b.r. [cit. 2018-05-29]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency%20Modulated%20Continuous%20Wave%20Radar.en.html>
- [35] Advantages and Disadvantages of RADAR systems. *LIDAR and RADAR information: Know LIDAR and RADAR* [online]. b.r. [cit. 2018-05-29]. Dostupné z: <http://lidarradar.com/info/advantages-and-disadvantages-of-radar-systems>
- [36] RR30-DAH5-IGPB-9VF: Radar sensors. *Baumer: passion for sensors* [online]. 2018 [cit. 2018-05-29]. Dostupné z: https://www.baumer.com/gb/en/product-overview/distance-measurement/radar-sensors/distance-measurement-to-flat-or-round-objects/rr30-dah5-igpb-9vf/p/medias/___secure___/RR30_DAH5_IGPB_9VF_web_EN.pdf?mediaPK=8900548526110
- [37] LIDAR vs RADAR Comparison. *Archer: we develop success* [online]. New York, b.r. [cit. 2018-05-30]. Dostupné z: <http://www.archer-soft.com/en/blog/lidar-vs-radar-comparison-which-system-better-automotive>
- [38] RYS1230. *Jameco Electronics* [online]. Belmont, 2002 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: https://www.jameco.com/z/RYS1230-650-nm-5-mW-Red-Laser-Crosshair-Beam-Module_2246717.html
- [39] Prestigio 2.0 Megapixel Webcam USB 2.0. *Amazon* [online]. b.r. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.amazon.co.uk/Prestigio-2-0-Megapixel-Webcam-black-silver/dp/B003FLLFI2>
- [40] HD-6001HB: Analog Servo. *Pololu: Robotics and electronics* [online]. Las Vegas, b.r. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: https://www.pololu.com/file/download/HD-6001HB.pdf?file_id=0J730

- [41] Arduino Mega 2560. *Eclipsera s.r.o.* [online]. Havlíčkův Brod, 2016 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/docs/produkty/0/23/1423598706.pdf>
- [42] Measuring distance using a webcam and a laser. In: *Shaneormonde* [online]. b.r. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://shaneormonde.wordpress.com/2014/01/25/webcam-laser-rangefinder/>
- [43] MENA-CHALCO, Jesús a Christian PORTUGAL-ZAMBRANO. Robust Range Finder Through a Laser Pointer and a Webcam. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* [online]. Brasil: Elsevier, 2011, s. 14 [cit. 2018-05-08].
- [44] A4tech PK-910H Full HD WebCam. *Alza.cz: internetový obchod* [online]. 1994 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/a4tech-pk-910h-d370601.htm>

Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma ultrazvukových snímačů [2]	3
Obrázek 2 Doznění měniče [2]	4
Obrázek 3 Použití ultrazvukových snímačů v průmyslu [6].....	5
Obrázek 4 Ultrazvukový snímač UM30-214113 [8]	6
Obrázek 5 Charakteristika snímacího rozsahu [8]	6
Obrázek 6 Deska SRF485WPR [9]	7
Obrázek 7 Ultrazvukový snímač SRF485WPR [9]	7
Obrázek 8 Spektrum elektromagnetického záření [12]	8
Obrázek 9 Zdroj laserového paprsku [13]	9
Obrázek 10 CMOS čip [19]	9
Obrázek 11 Schéma triangulačního principu měření [24]	10
Obrázek 12 Schéma 3D skenování [26]	11
Obrázek 13 Laserový snímač ZX1-LD600A61L [28].....	13
Obrázek 14 Schéma principu doby letu světla [29]	13
Obrázek 15 Laserový snímač optoNCDT ILR 1030 [32].....	14
Obrázek 16 Lineární modulace FMCW [33]	15
Obrázek 17 Radarový snímač vzdálenosti RR30 [36]	17
Obrázek 18 Laserový modul RYS1230 [37]	20
Obrázek 19 Prestigio 2.0 Megapixels [Autor]	21
Obrázek 20 Tabulka výrobce pro ovládání servomotoru [39]	22
Obrázek 21 Servomotor 6001HB [39].....	22
Obrázek 22 Arduino Mega 2560 [40].....	23
Obrázek 23 Model sestavy s nosnou konstrukcí (zeleně)[Autor].....	24
Obrázek 24 Model držáku [Autor].....	24
Obrázek 25 Model krytu přístroje [Autor].....	25
Obrázek 26 Vývojový diagram řízení [Autor].....	26
Obrázek 27 Porovnání barevného a černobílého snímku [Autor]	28
Obrázek 28 Triangulační metoda (pohled shora) [41].....	30
Obrázek 29 Foto experimentu [Autor].....	33
Obrázek 30 Sestava modelu č. 2 [Autor]	38

Seznam grafů

Graf 1 Kalibrace [Autor].....	31
Graf 2 Polynomická funkce [Autor]	32
Graf 3 Dodatečná kalibrace krajních oblastí [Autor].....	35

Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry Arduino Mega 2560 [41].....	23
Tabulka 2 Kusovník prototypu č.1[Autor]	25
Tabulka 3 Srovnání metod výpočtu pokusem [Autor].....	33
Tabulka 4 Základní parametry konceptu č.1[Autor]	35
Tabulka 5 Kusovník prototypu č. 2[Autor]	38