VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

STROJOVÉ VIDĚNÍ PRO LOKALIZACI OBJEKTŮ

MACHINE VISION FOR LOCATING OBJECTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Dávid Hasík
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Jan Vetiška, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2018

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**Dávid Hasík**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	**Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok:	2017/18

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:

Strojové vidění pro lokalizaci objektů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešeršní práce na téma strojního vidění pro lokalizaci objektů. Cílem práce je popsat aktuální stav dané problematiky. Součástí práce bude ukázková úloha.

Cíle bakalářské práce:

Přehled možností aplikací strojového vidění pro lokalizaci objektů.
Základy realizace úloh strojového vidění pro lokalizaci objektů.
Zpracování ukázkové úlohy.

Seznam doporučené literatury:

HORNBERG, Alexander. Handbook of machine vision. 1. [Chichester: John Wiley, distributor], c2006. ISBN 978-3-527-40584-8.

PETROU, Maria a Panagiota BOSDOGIANNI. Image processing: the fundamentals. New York: Wiley, c1999. ISBN 04-719-9883-4.

HLAVÁČ, Václav a Miloš SEDLÁČEK. Zpracování signálů a obrazů. 2. přeprac. vyd. Praha: ČVUT, 2007. ISBN ISBN978-80-01-03110-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca sa zaoberá tvorbou systému strojového videnia pre lokalizáciu objektov a možnosťami aplikácie tohto typu úlohy strojového videnia. V práci je popísaný dizajn daného systému, a tiež všetky jeho komponenty, ich vlastnosti, a výhody a nevýhody ich použitia. Takisto je zostavená vlastná scéna pre snímanie ukážkového predmetu. Pre vyhodnocovanie obrazu je použitý bežný počítač s programom Vision Assistant a jeho nástroje. V tomto programe sú vytvorené a následne porovnané výkonnosti dvoch postupov vyhodnocovania obrazu.

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with design of machine vision system for object localization and its application possibilities. Design approach, its components and their individual advantages and disadvantages for this type of machine vision system are described. This thesis also includes simple model of machine vision system for object localization using regular PC. For image processing is used Vision Assistant and its tools. Two scripts are made in this software and their performance is compared.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Strojové videnie, lokalizácia objektov, Vision Assistant, priemyselná kamera, osvetlenie, objektív, spracovanie obrazu

KEYWORDS

Machine vision, object localization, Vision Assistant, industrial camera, illumination, lens, image processing

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

HASÍK, D. *Strojové vidění pro lokalizaci objektů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Vetiška, Ph.D..

POĎAKOVANIE

Poďakovanie by som chcel venovať Ing. Janovi Vetiškovi, Ph.D. za cenné rady a usmernenia pri vypracovávaní záverečnej práce.

Takisto by som sa rád poďakoval rodine a priateľke za podporu počas celého štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Jana Vetišku, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brne dňa 23.5.2018 ……

Hasík Dávid

OBSAH

1 ÚVOD 15

2 ZÁKLADY REALIZÁCIE ÚLOH STROJOVÉHO VIDENIA PRE LOKALIZÁCIU OBJEKTOV 17

2.1 Osvetlenie 17
2.1.1 Typy svetelného zdroja 17
2.1.2 Technika osvetlenia 18
2.1.3 Vlnová dĺžka v osvetlení 20
2.2 Kamera 21
2.2.1 Základné typy snímačov 21
2.2.2 Charakteristika snímača a kamery 23
2.2.3 Výpočet minimálneho rozlíšenia snímača 25
2.2.4 Farebný obraz 26
2.3 Objektívy 26
2.3.1 Parametre a výberové kritériá objektívov 27
2.3.2 Typy objektívov 29
2.4 Prenos signálu 30
2.5 Hardvér 31
2.6 Softvér 32
2.7 Softvérové nástroje pre lokalizáciu objektov 33

3 UKÁŽKOVÁ ÚLOHA 35

3.1 Zadanie 35
3.2 Popis použitého zariadenia 35
3.3 Tvorba fyzickej časti úlohy 36
3.4 Tvorba úlohy v programe Vision Assistant 38

4 MOŽNOSTI APLIKÁCIE 43

5 ZÁVER 45

6 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV 47

7 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK 51

7.1 Zoznam skratiek a použitých symbolov 51
7.2 Zoznam tabuliek 52
7.3 Zoznam obrázkov 52

1 ÚVOD

Strojové videnie je kamerový systém používaný prevažne k automatizácii procesov vo výrobe. Tento systém sa skladá z viacerých komponentov, ktoré krok po kroku prispievajú k dosiahnutiu finálneho výstupu. Výstupom je hodnota, ktorá býva použitá v ďalších krokoch procesu, v ktorom je systém strojového videnia implementovaný.

Strojové videnie sa v poslednej dobe stalo veľmi dostupným z hľadiska finančnej stránky. To umožňuje jeho použitie vo veľkom množstve rôznych odvetví priemyslu. Jeho rozvoj je viditeľný v množstve firiem, nie len vyvíjajúcich produkty, ale aj poskytujúcich kompletné služby tvorby celého systému. Takisto existujú viaceré organizácie po celom svete, zastrešujúce firmy v daných krajinách, alebo vo väčších oblastiach, ktorých cieľom je pomoc a podpora pri tvorbe úloh strojového videnia.

V mojej práci sa zaoberám tvorbou úlohy strojového videnia konkrétne pre lokalizáciu objektu. Tento problém popisujem jednak teoretickým prehľadom dostupných možností na trhu, a takisto pomocou ukážkovej úlohy.

V teoretickej časti sa zaoberám celým postupom tvorby úlohy strojového videnia. Táto úloha sa skladá z viacerých komponentov. Vhodné je začať osvetlením, keďže kamera sníma vo svojej fyzikálnej podstate intenzitu svetla. Voľbou rôznych druhov osvetlenia je možné získať rozdielne výsledky. Z tohto dôvodu je potrebné dbať na jeho vhodnej voľbe, keďže môže vzniknúť situácia, v ktorej osvetlenie vytvára zlú iluminácíu snímaného objektu, pričom nie je možné analyzovať obraz k dosiahnutiu výsledkov. Po voľbe osvetlenia je nutné zohľadniť najmenší prvok snímaného predmetu pre vypočítanie rozlíšenia kamery. K tomu je takisto potrebné zohľadniť pracovné prostredie, vypočítať pracovnú vzdialenosť kamery a veľkosť zorného poľa. Tieto parametre sú počítané s ohľadom na druh a vlastnosti objektíva. Objektív mimo to umožňuje dosiahnutie rôznych vlastností obrazu, vďaka jeho typovej rôznorodosti a možnej variabilite nastavení. Po zaznamenaní obrazu kamerou s objektívom sú dáta posielané cez zbernicu do zariadenia, väčšinou počítača, no je možné použiť aj tzv. smart kameru, ktorá obsahuje prakticky celý systém strojového videnia v jednom zariadení. Ak sa ale nejedná o smart kameru, je potrebné vybrať vhodné rozhranie, zbernicu, pričom každá má určité výhody a nevýhody. Obraz sa väčšinou spracováva a analyzuje v bežných počítačoch, no pre jeho spracovanie je potrebné vybrať správny softvér. Softvér sa delí podľa náročnosti jeho použitia, čo ale priamo súvisí s jeho flexibilitou. Nakoniec sú volené vhodné nástroje, funkcie v programe, resp. algoritmy, potrebné k získaniu finálnych výsledkov.

V praktickej úlohe sa zaoberám zjednodušenou ukážkou tvorby systému pre lokalizáciu vybraného predmetu, s využitím konkrétnych komponentov dostupných na ústave. Ako softvér pre spracovanie obrazu používam Vision Assistant od firmy National Instruments. Nakoniec v tejto úlohe porovnávam rýchlosť dvoch vytvorených programov vo Vision Assistante.

Na záver v mojej bakalárskej práce predstavujem možnosti aplikácie úlohy strojového videnia pre lokalizáciu objektu.

2 ZÁKLADY REALIZÁCIE ÚLOH STROJOVÉHO VIDENIA PRE LOKALIZÁCIU OBJEKTOV

K príprave presného a efektívneho snímacieho systému pre lokalizáciu objektov sa musí posúdiť tvar a črty snímaného objektu a prostredie, v ktorom je táto úloha vykonávaná. Pri tvorbe tohto systému je potrebné vybrať vhodné osvetlenie, kameru, objektív, kabeláž, zariadenie pre spracovanie snímaného obrazu, softvér použitý k tomuto spracovaniu a jeho nástroje. [1]

2.1 Osvetlenie

Osvetlenie je jeden z najdôležitejších aspektov pri tvorbe snímacieho prostredia. V prípade lokalizácie objektu je hlavnou úlohou maximalizovať kontrast snímaného predmetu alebo jeho čŕt, a teda zvýrazniť snímaný predmet alebo jeho časť a potlačiť zvyšné prostredie. Táto funkcia osvetlenia zvyšuje presnosť a zrýchľuje proces spracovávania obrazu. Voľbou správneho osvetlenia je takisto snaha redukovať alebo úplne eliminovať intenzívnu žiaru, tiene, prípadne variabilitu osvetlenia, vznikajúcu kvôli zmenám počasia a rôznym fázam dňa. [1] [2]

2.1.1 Typy svetelného zdroja

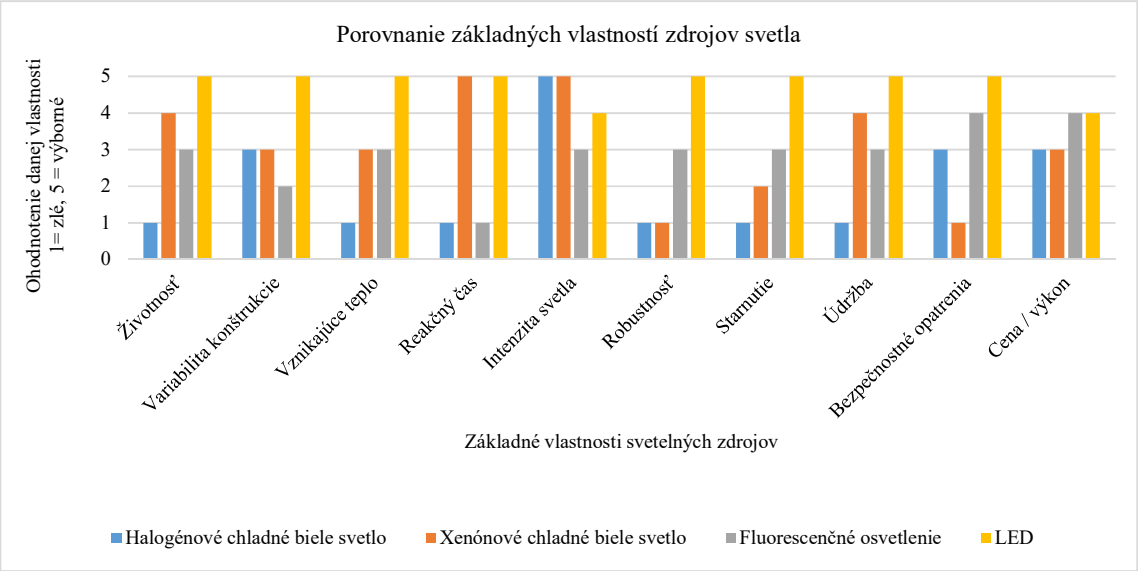
V aplikáciách strojového videnia pre lokalizáciu objektov môžu byť použité svetelné zdroje rôzneho druhu. Najčastejšie používané typy sú:

1. **Fluorescenčné trubice.** Zvyčajne používané pre osvetľovanie miestností, chodieb, pracovných priestorov, z čoho plynie, že tento druh osvetlenia je vhodný pre osvetľovanie veľkých objektov a plôch. Tieto trubice sú dostupné v prstencovej, ako aj v priamej podobe. V prstencovej podobe ale neposkytujú nepretržitý prstenec svetla, kvôli nutnosti upevnenia tohto osvetľovača. Takisto existujú na trhu aj tzv. kompaktné fluorescenčné osvetľovače, ktoré majú fluorescenčné trubice ohnuté do rôznych tvarov.
   Fluorescenčné osvetľovače poskytujú veľký rozsah farieb, veľmi dobré vlastnosti podania farieb, vyššie životnosti ako halogénové osvetlenie a vysoké účinnosti. Ďalšou výhodou tohto osvetlenia je nízka spotreba.
   Okrem spomenutých vlastností je nutné podotknúť dôležitosť vysokofrekvenčného nastavania osvetľovača. V prípade použitia osvetľovača s 50Hz frekvenciou je viditeľné kmitanie intenzity svetla v snímanom obraze. Ďalšou dôležitou vlastnosťou tohto osvetlenia je, že najlepšie funguje pri izbových teplotách, pričom vysoké alebo nízke teploty znižujú jeho účinnosť. Nevýhodou je možné nebezpečenstvo pri manipulácii a problémy s likvidáciou. Takisto niektorí ľudia môžu byť citliví a môžu zaznamenávať zdravotné ťažkosti pri práci v prostredí s fluorescenčným osvetľovačom. [3] [2] [4]
2. **Halogénové a xenónové osvetľovače.** Osvetľovače týchto druhov fungujú na jednosmernom prúde a vďaka tomu pri ich použití neexistuje problém s kmitajúcou intenzitou svetla v snímanom obraze.
   Halogénové osvetlenie je často používané v kombinácii so skleneným vláknom a ponúka rôzne tvary pripevnenia. Ďalej ponúka perfektné podanie farieb, teplé biele svetlo a možnosť infračerveného vyžarovania.

Xenónové osvetľovače majú nízku účinnosť a preto sa používajú iba v špeciálnych aplikáciách, hlavne ako stroboskopický zdroj svetla. [2] [4]

3. **LED osvetlenie.** Je to stále rozvíjajúca technológia na báze luminiscenčných diód. Táto technológia dosahuje neustále sa zvyšujúcu efektivitu, intenzitu osvetlenia a znižujúcu cenou. LED osvetľovače sa dnes začínajú používať vo väčšine úloh strojového videnia. Výhody tohto osvetlenia sú viaceré, a to použitie jednosmerného prúdu, životnosť niekoľkokrát prevyšujúca životnosť fluorescenčného a halogénového osvetlenia, menšia veľkosť, veľká škála farieb, dobrá kontrola jasu a tlmenia svetla a žiadne ďalšie nutné elektrické komponenty. LED technológia takisto umožňuje stroboskopické svetlo. [2] [4]

V nasledujúcom grafe je zobrazené porovnanie základných vlastností spomínaných typov svetelného zdroja. Ako je možné vidieť, osvetlenie s technológiou LED dominuje vo väčšine vlastností: [2]



Obr. 1) Graf porovnania základných vlastností zdrojov svetla

2.1.2 Technika osvetlenia

Postavenie osvetľovača sa z hľadiska jeho pozície k snímanému predmetu a kamere rozdeľuje na zadné (angl. backlight) a predné (angl. frontlight).

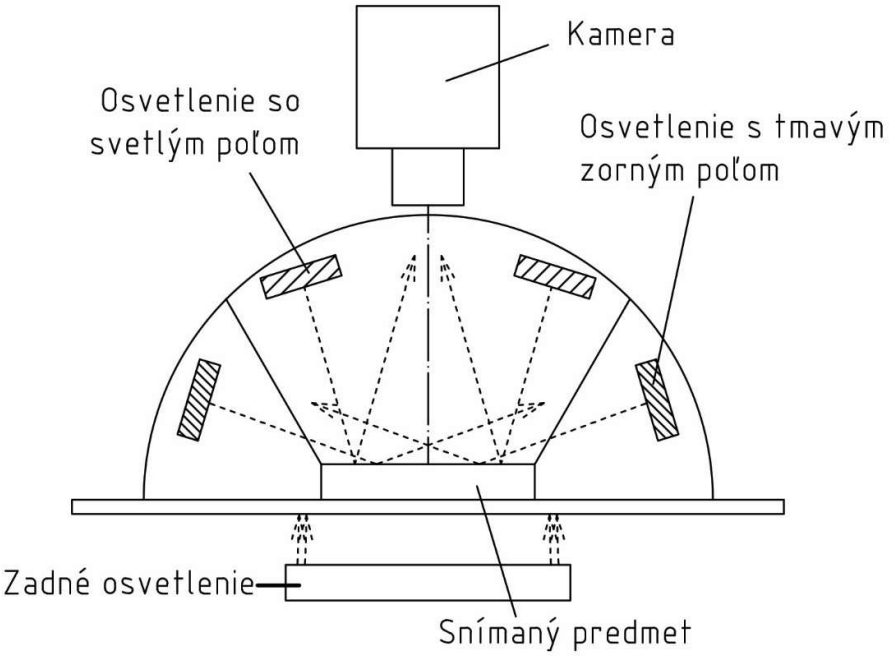
Zadné osvetlenie je zvyčajne realizované ako panel zadného osvetlenia pomocou LED alebo fluorescenčných svietidiel rôznych veľkostí a intenzít. Okrem toho je realizované ako difúzne, kde lúče svetla osvetľujú snímaný predmet z viacerých uhlov, alebo ako smerové svetlo, kde sú lúče zadného osvetlenia sústredené do smeru optickej osi kamery. [2]

Predné osvetlenie môže takisto využívať viacero techník: [2] [5] [6]

- **Difúzne predné osvetlenie** funguje na princípe dopadu lúčov na snímaný predmet z viacerých uhlov, vďaka čomu sa dosahuje homogénna iluminácia jednoduchých aj členitých povrchov. Tento typ osvetlenia je v praxi dosahovaný prstencovým a hlavne kupolovitým svetlom, vďaka ktorému je taktiež možná nepriama iluminácia reflexných povrchov.

- **V smerovom prednom osvetlení** dopadajú lúče svetla na snímaný predmet len pod úzkym rozsahom daných uhlov. Používajú sa hlavne prstencové a líniové osvetľovače.
- **Koaxiálne predné osvetlenie** osvetľuje predmet pomocou lúčov usmernených polopriepustným zrkadlom, ktorý usmerňuje smer lúčov na smer zhodný s optickou osou kamery. Tento typ osvetlenia umožňuje rovnomerné osvetlenie snímanej plochy a používa sa pre snímanie reflexných plôch.
- **Osvetlenie so svetlým zorným poľom** (angl. bright field) osvetľuje snímanú plochu smerovým svetlom tak, že sa lúče odrážajú od tejto plochy do kamery. Snímaná plocha sa javí ako svetlá v snímanom obraze. Nepravidelné časti snímanej plochy, ktoré odrážajú lúče svetla mimo kamery sa javia v snímanom obraze ako tmavé plochy. Pomocou týchto vlastností vieme ľahko lokalizovať daný predmet na základe lokalizovania prvkov a častí jeho povrchu.
- **Osvetlenie s tmavým zorným poľom** (angl. dark field) využíva smerové svetlo, ktoré sa odráža od snímanej plochy a ide mimo kameru. Táto časť plochy sa javí ako tmavá. Naopak, od nepravidelných častí plochy sa odrážajú lúče svetla do kamery a takéto prvky v snímanej ploche sa javia ako svetlé. Tento typ osvetlenia takisto uľahčuje lokalizáciu predmetu na základe lokalizovania jeho čŕt.

Princíp osvetlenia so svetlým a tmavým zorným poľom a zadného osvetlenia je možné názorne vidieť na obr. 2. Takisto vyššie spomínané rôzne druhy geometrie osvetlenia je možné vidieť na obr. 3.



Obr. 2) Priestorové rozloženie osvetlenia

Osvetľovače v úlohách strojového videnia fungujú prevažne v kontinuálnom móde, teda osvetľujú snímanú plochu nepretržite. Stroboskopický mód sa používa hlavne pre úlohy

s vysokou rýchlosťou pohybu snímaného predmetu alebo pre aplikácie, kde je potrebné veľké množstvo svetla. [3]

Obr. 3) Technika osvetlenia. A) zadný osvetľovač; B) prstencový; C) kupolovitý; D) koaxiálny; E) líniový; F) prstencový s tmavým poľom [7]

2.1.3 Vlnová dĺžka v osvetlení

Zdroje svetla je možné rozdeliť podľa vlnovej dĺžky. Najčastejšie je možné v úlohách strojového videnia pre lokalizáciu objektov sa stretnúť s bežným, ľudským okom viditeľným svetlom. No môžu sa vyskytnúť aplikácie, kde je nutné využiť osvetlenie s inou vlnovou dĺžkou. V nasledujúcej časti je popísané rozdelenie svetla podľa vlnovej dĺžky a dôležité vlastnosti pre strojové videnie.

Ľudským okom viditeľné svetlo je elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou v rozmedzí 400 ÷ 780 nm. V spektre viditeľného svetla je iluminácia bielym svetlom využívaná k presnej reprodukcii farieb pri snímaní farebnou kamerou. Pri snímaní pomocou monochromatickej kamery je využívaná vlastnosť odrazu vĺn svetla od snímaného predmetu. Predmet osvetľovaný bielym svetlom sa javí v jeho danej farbe vďaka tomu, že odráža len určité vlny svetla, a absorbuje a prenáša zvyšné. Napr. modrý predmet odráža iba svetelné vlny modrého svetla a absorbuje zvyšné. Pre získanie najjasnejšieho vyobrazenia daného predmetu je teda vhodná jeho iluminácia osvetlením rovnakej farby ako je farba tohto predmetu. Naopak, pre stmavenie vyobrazenia tohto predmetu je vhodné použitie osvetlenia farby opačnej na farebnom spektre. [2]

Ultrafialové svetlo je elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou menšou ako 400 nm. V strojovom videní sa používajú zdroje s vlnovou dĺžkou v rozmedzí 360 ÷ 395 nm, vlnová dĺžka menšia ako 315 nm je dokázateľne škodlivá. Ultrafialové svetlo je využívané pre snímanie fluorescenčných materiálov alebo materiálov iluminovaných pomocou UV osvetľovačov a snímaných UV citlivou kamerou. [3] [2] [6]

Infračervené svetlo v úlohách strojového videnia má kvôli používaným CCD a CMOS snímačom tradične vlnovú dĺžku v rozmedzí 780 ÷ 1000 nm. Použitím infračervenej iluminácie a snímaním monochromatického obrazu sa potláčajú farebné odlišnosti. Takisto kombináciou infračerveného osvetlenia a k tomu citlivej kamere, sa dosahuje redukcia vplyvu okolitého svetla na vlastnosti snímaného obrazu. Toto platí ale iba v interiéri, keďže slnečné žiarenie obsahuje veľké množstvo infračerveného žiarenia. [2] [8]

2.2 Kamera

V systémoch strojového videnia sú prevažne používané dva typy kamier . **Plošné kamery a riadkové.** Obidve tieto kamery môžu obsahovať CCD alebo CMOS snímač, ktoré budú podrobnejšie popísané v kapitole 2.2.1. Plošné kamery sú používané vo väčšine prípadov a ponúkajú viacero výhod oproti riadkovým kamerám. Okrem iného je aplikácia plošných kamier zvyčajne jednoduchšia, pretože pohyb objektu, alebo kamery nie je nevyhnutný. Pomocou riadkových kamier je dosahované vyššie rozlíšenie, možnosť získavania nepretržitej snímky, oproti jednotlivým snímkam pri plošných kamerách. [2]

Plošné kamery používajú snímač, ktorý sníma plochu, nie jeden riadok, ako to je v prípade riadkových kamier. Snímka produkovaná snímačom plošnej kamery je dvojdimenzionálna s pomerom strán najčastejšie 4:3. Takisto existujú kamery so štvorcovým, resp. obdĺžnikovým snímačom, ktorý má iný pomer strán ako 4:3, napríklad 16:9. [2] [8]

Okrem plošných a riadkových kamier, ktoré sú využívané prevažne v úlohách vyžadujúcich väčšiu flexibilitu nastavení, sú aplikované aj tzv. inteligentné kamery a kamerové senzory.

Inteligentné kamery (angl. smart kamery) sa vyvinuli zo štandardne používaných kamier. Tieto kamery tvoria celok obsahujúci všetky potrebné komponenty pre riešenie problému strojového videnia. To znamená, že obsahujú okrem kamery a objektíva, či dokonca vstavaného osvetlenia, ešte aj riadiacu a vyhodnocovaciu jednotku a takisto komunikačné rozhranie pre jednoduchú integráciu do priemyselných systémov. Zvyčajne sa používajú s jednoduchým softvérom s grafickým rozhraním. Výstupom týchto kamier je informácia o polohe, orientácii, rozmere, tvare, farbe a rýchlosti pohybu snímaného predmetu. Kombinácia týchto komponentov umožňuje aplikáciu inteligentných kamier do jednoduchých úloh, kde je prioritou kompaktnosť a jednoduchá inštalácia. Vzhľad inteligentnej kamery je možné vidieť na obr. 4)A. [9]

Obr. 4) A) Inteligentná kamera [10]; B) Kamerový senzor [11]

Kamerové senzory sú ďalším typom kamier v úlohách strojového videnia. Tieto kamery sú takmer totožné s inteligentnými kamerami, kde hlavným rozdielom medzi nimi je ich výstup. Pre ich vizuálnu podobu pozri obr. 4)B. Výstup kamerových senzorov je informácia o správnosti vykonania danej úlohy, ako napr. lokalizácia dier v snímanom predmete, kontrola prítomnosti a počtu predmetov, apod.. [11]

2.2.1 Základné typy snímačov

V dnešnej dobe sa v kamerách využívajú hlavne snímače na fotovoltaickom princípe využívajúce vnútorný fotoelektrický jav. Snímače tohto druhu vďačia svojmu nasadeniu hlavne rozvoju polovodičov. Z tohto princípu sa vyvinuli dva základné typy snímačov pre

priemyselné aplikácie. Najprv bol prevažne používaný snímač typu CCD, no v posledných rokoch sa začal čoraz viac presadzovať snímač CMOS. [12]

CCD snímače

Tieto snímače fungujú na princípe analógového posuvného registra s využitím fotoelektrického javu, pri ktorom fotón pri náraze do atómu uvoľní elektrón zo základného do excitovaného stavu, čoho výsledkom je elektrický náboj. Každý snímač sa skladá zo samostatných polovodičových miniatúrnych buniek (pixelov) zaznamenávajúcich svetlo samostatne. Tieto pixely sú usporiadané v stĺpcoch, ktoré vytvárajú vertikálny riadok. Takáto štruktúra sa využíva v lineárnych snímačoch. Plošné senzory sa skladajú z viacerých takýchto stĺpcov pixelov, kde medzi každým svetlocitlivým stĺpcom je ešte naviac vertikálny register. Tento register slúži k presunu náboja v snímači. Po expozícii snímača sa nahromadené náboje rýchlo presunú do vertikálneho registra, cez ktorý sa dostanú do horizontálneho registra, pomocou ktorého prejdú až k výstupu k obrazovému zosilňovaču a A/D (analógovo-digitálnemu) prevodníku. Tento typ prenosu náboja v plošnom snímači sa nazýva medziriadkový prenos (angl. interline transfer). Okrem tohto prenosu existujú ešte ďalšie typy prenosu náboja v plošnom CCD snímači, ako napr. snímkový prenos (angl. frame transfer) alebo plne snímkový prenos (angl. full frame). [6] [13]

Medziriadkový prenos je v strojovom videní najviac používaný spôsob prenosu. Jeho nevýhodou je, že približne polovica plochy snímača je prekrytá registrami, ktoré nie sú citlivé na svetlo. Táto vlastnosť môže byť čiastočne kompenzovaná mikrošošovkami. Technológia medziriadkového prenosu sa delí ešte na dve podkategórie podľa čítania snímky: [2] [6] [13]

1. **Prekladané skenovanie** rozdelí obraz na dve po sebe idúce snímky s polovičným počtom riadkov, pričom párna snímka obsahuje párne riadky obrazu a nepárna snímka nepárne riadky. Táto technológia sa vyvinula v minulosti kvôli príliš veľkému toku dát, ktorý nebolo možné dostatočne rýchlo prenášať. [2]
2. **Progresívne skenovanie** je moderná technológia, kde sú všetky riadky načítané sekvenčne a odoslané ako jeden celok. Výhody tejto technológie sú viaceré, a to napr. elektronická (asynchrónna) uzávierka alebo možnosť aplikácie v stacionárnej aj v pohyblivej úlohe. Na druhej strane, pri použití progresívneho skenovania je nižšia citlivosť snímača a pomer svetlocitlivej časti voči celkovej ploche (angl. fill factor). Tieto negatíva je ale možné kompenzovať sofistikovanými mikrošošovkami a celkovo je progresívne skenovanie uprednostňovaná technológia v strojovom videní. [2] [8]

Výhodou CCD snímača je veľmi dobrá citlivosť, vysoká vernosť farebného obrazu, vysoký dynamický rozsah a malý šum. Čo sa týka fyzickej stránky, tak je to malá veľkosť, nízka váha, vysoká geometrická presnosť pixelov a odolnosť voči otrasom a elektromagnetickému poľu. [6] [13]

Nevýhodou CCD snímača je nízka rýchlosť kvôli sekvenčnému čítaniu snímača, väčší odber energie alebo možný efekt presvetlenia (angl. blooming). Tento efekt vzniká pri nadmernom ožiarení pixela, kedy sa vytvorí nadmerne veľký náboj, ktorý pretečie do okolitých pixelov. [6] [14]

CMOS snímač

Druhý typ snímačov pracuje takisto na fotovoltaickom princípe. Jeho technológia nie je nová, no veľký rozmach vo vývine a použití tohto typu snímača nastal len nedávno. Napriek tomu dnes CMOS snímače majú dokonca v niektorých parametroch navrch nad CCD snímačmi. Zatiaľ čo CCD snímače posúvajú náboj z pixelov do jedného alebo viacerých zosilňovačov, CMOS snímače zvyčajne majú zosilňovač v každom pixeli. Táto vlastnosť je najväčším rozdielom medzi týmito dvoma hlavnými typmi snímačov. CMOS snímače so zosilňovačom v každom pixeli sú označované ako snímače s aktívnym pixelom, alebo APS (angl. active pixel sensor). [2] [8] [13]

Nevýhodou je ale absencia uniformity zosilňovačov spôsobená výrobnými toleranciami a okrem toho aj vyšší šum ako u CCD snímačov. Naopak, vďaka zosilňovačom v každom pixeli môže byť každý pixel priamo adresovaný a čítaný pomocou jeho X a Y súradníc, čo je hlavná výhoda CMOS snímačov. Takisto to zrýchľuje čítanie snímky, znižuje spotrebu energie a produkciu zostatkového tepla. Okrem toho sú tieto snímače menej finančne náročné na výrobu, vyžadujú iba jedno prevádzkové napätie a poskytujú možnosť integrácie elektronických prvkov na snímač. [2] [8] [12]

V CMOS snímačoch je potrebné zaistiť kontrolu začiatku a konca expozície, teda expozičného času. V praxi sú za týmto účelom používané dve metódy: [6] [15]

1. **Rolovacia uzávierka.** Expozícia snímača začne s vyprázdnením nábojov, čo sa pri rolovacej uzávierka nedeje súčasne na celej ploche snímača, ale exponuje sa rad po rade. Analogicky to prebieha pri ukončení expozície snímača. Tento mechanizmus je lacnejší, no spôsobuje pokrivenie, resp. skreslenie snímaných pohybujúcich sa objektov. Tento typ uzávierky sa používa v komerčných mobilných zariadeniach.
2. **Globálna uzávierka** funguje na princípe vystavenia celého snímača svetlu v jednom časovom okamihu, pričom sú obrazové dáta prenášané z celej plochy snímača takmer súčasne. V aplikáciách strojového videnia je používaný prevažne tento typ uzávierky.

2.2.2 Charakteristika snímača a kamery

Pri voľbe kamery, a teda aj snímača použitého v nej, je dôležité poznať ich základné vlastnosti a parametre. Pre správny výber snímača je nutné prihliadať na nasledujúce vlastnosti:

- **Veľkosť snímača** je jedným z hlavných parametrov tohto komponentu. Zaužívanou jednotkou pre jeho špecifikáciu je palec. Hodnota v palcoch nekorešponduje so skutočnou presnou fyzickou veľkosťou snímača. Toto značenie sa prebralo z minulosti. Rovnaké značenie používajú výrobcovia objektívov k špecifikácii vhodnosti použitia objektívov k daným snímačom. [2] [8]
- **Rozlíšenie snímača** označuje počet pixelov v horizontálnom a vertikálnom smere, alebo celkový počet pixelov v snímači ako hodnotu v megapixeloch (Mpx). Pomer strán je najčastejšie 4:3, ale existuje aj veľa iných, okrem iného aj štvorcových snímačov. Rozlíšenie býva vo väčšine aplikácií medzi 640 × 480 pixelov, čo predstavuje 0,3 Mpx, až do 2448 × 2050 pixelov, čo zodpovedá 5 Mpx. V špeciálnych úlohách sa môžu vyskytovať aj väčšie rozlíšenia. [15]

- **Veľkosť pixela** je priamoúmerná veľkosti svetlocitlivej plochy a tá súvisí s citlivosťou snímača. Zároveň väčšie pixely dokážu uložiť väčší náboj, čoho dôsledkom je väčší dynamický rozsah. Bežné veľkosti pixelov, používaných v systémoch strojového videnia, sa pohybujú okolo 4 ÷ 7 μm, okrem farebných CMOS snímačov, u ktorých sa môže veľkosť pixela pohybovať až do 2 μm. [15]
- **Priestorové rozlíšenie** označuje počet aktívnych pixelov v snímači. Pri navrhovaní systému strojového videnia je dôležité vypočítať optimálne rozlíšenie kamery k vyriešeniu inšpekčnej úlohy. K tomu je potrebné vedieť, aké najmenšie prvky musia byť detekované. [8]
- **Spektrálna citlivosť.** Väčšina aplikácii vyžaduje snímač citlivý na svetlo s vlnovou dĺžkou približne podobnou, akou je tá, na ktorú reaguje ľudské oko, čo predstavuje hodnotu 400 ÷ 750 nm. Snímače CCD aj CMOS sú dokonca schopné reagovať na vlnovú dĺžku až do 1000 nm, pričom niektoré z nich majú zvýšenú citlivosť v rozmedzí 700 ÷ 1000 nm. Takéto snímače sa používajú v úlohách s NIR osvetlením. [8]
- **Šum.** Snímaný obraz je nepretržite ovplyvňovaný šumom, ktorý ovplyvňuje celkovú kvalitu výsledného obrazu. Šum je tvorený kombináciou viacerých rôznych zdrojov šumu, pričom základný z nich je tepelný pohyb kryštálovej mriežky polovodiča, označovaný ako temný prúd (angl. dark current). Jeho riešením je buď zväčšenie veľkosti pixela, pričom sa dosiahne veľká kapacita pixela a tým relatívne zníženie pomeru šumu. Z tohto dôvodu majú veľké formáty snímačov, a snímače s nižším rozlíšením, lepšie šumové vlastnosti. Ďalším riešením je chladenie snímača, čo ale nie je aplikovateľné riešenie pre úlohy strojového videnia. Najvhodnejší prístup k zníženiu šumu je zvýšenie intenzity osvetlenia, čo sa typicky vykoná zvýšením svetelného toku osvetlenia. Šum je taktiež možné odstrániť pomocou softvéru. [6]

Čo sa týka kamier, je takisto dôležité pri ich výbere hľadieť na ich vlastnosti, funkcie a parametre. Základné z týchto vlastností sú:

- **Expozičný čas** je najdôležitejším parametrom pri snímaní obrazu. Pomocou expozičného času je kontrolované časové rozpätie, kedy je otvorená uzávierka, určené pre nahromadenie náboja v snímači. Pri dlhšom expozičnom čase sú dosahované jasnejšie snímky, pri kratšom tmavšie. Pre dosiahnutie kvalitnej snímky je nutné dbať na získanie dostatočného množstva svetla. Pri snímaní pohyblivých objektov je ale dôležité nastaviť krátky expozičný čas kvôli eliminácii rozmazania snímky. Taktiež je potrebné myslieť na fakt, že s rastúcim expozičným časom stúpa aj šum. [8] [15]
- **Zisk, alebo zosilnenie signálu** (angl. gain), sa využíva v aplikáciách, v ktorých nie je možné dosiahnuť dostatočné množstvo svetla pomocou iných nástrojov. Signál generovaný v snímači môže byť umelo zosilnený pomocou analógovo-digitálneho zosilňovača. Nanešťastie, spolu so signálom sa zosilní aj šum, čo veľmi obmedzuje použitie tejto funkcie. [15]
- **Automatická kontrola jasu** je využívaná v úlohách s premenlivou iluminácioU. Expozičný čas a zosilnenie signálu sú v strojovom videní prednastavené zvyčajne na konštantnú hodnotu, a aj keď je možná aj

automatická kontrola týchto dvoch parametrov, tak práve kvôli tomu nie je nutné ich použitie. [15]

- **Snímkovacia frekvencia** vyjadruje počet výstupných snímok za danú dobu. Zvyčajne sa jedná o počet snímok za sekundu, označovaných ako fps. [8]
- **Synchronizované snímanie obrazu** môže zohrávať dôležitú úlohu v určitých aplikáciách. Existujú dve varianty, a to hardvérová a softvérová spúšť. Hardvérová spúšť je používaná k zaisteniu precíznej synchronizácie, pričom pracuje s oneskorením o veľkosti iba niekoľkých mikrosekúnd. Softvérová spúšť pracuje s oneskorením o veľkosti až niekoľkých milisekúnd. [15]
- **Čiastkový sken** umožňujú niektoré snímače, pričom sa jedná o čítanie iba určitej časti pixelov. Plocha, ktorá je načítaná sa nazýva oblasť záujmu a je označovaná ROI (angl. region of interest). Táto vlastnosť sa využíva pre zrýchlenie snímkovacej frekvencie. [15]
- **Binning** označuje technológiu zlučovania susedných pixelov, ktoré sa následne chovajú ako jeden. Binning sa využíva pre zrýchlenie snímkovacej frekvencie, zvýšenie citlivosti, zatiaľ čo zorné pole zostáva nezmenené. Negatívnym dôsledkom je ale znižovanie rozlíšenia. [6]
- **Signal-to-noise ratio (SNR***)* je pomer medzi neskresleným signálom a šumom a je vyjadrený v dB. Čím vyššia je hodnota, tým vyššia je kvalita obrazu. [6] [8] [15]
- **Dynamický rozsah** vyjadruje rozsah intenzity svetla, ktorý dokáže snímač zaznamenať. Vyjadruje teoretickú hodnotu, do ktorej nie je zahrnutý šum a udáva sa takisto v dB. [8] [14] [15]

2.2.3 Výpočet minimálneho rozlíšenia snímača

Okrem všetkých spomínaných vlastností kamery, je potrebné vypočítať požadované rozlíšenie k dostatočnej detekcii prvkov. Dôležitým faktom je poznať najmenší požadovaný prvok, ktorý má byť zaznamenaný, a zároveň vedieť koľko pixelov je pre jeho zaznamenanie potrebných. Počet pixelov potrebných pre zaznamenanie najmenšieho prvku závisí na druhu algoritmu, resp. funkcii použitej v softvéri pri spracovaní obrazu. Pre kontrolu podobnosti vzoru, resp. geometrickej podobnosti zodpovedá hodnote 1 px a pre hľadanie hrán zodpovedá hodnote 1/3 px. [2]

Pre výpočet hodnôt minimálneho rozlíšenia kamery a priestorového rozlíšenia v plošných kamerách sú používané nasledujúce vzťahy. Výpočet musí byť vykonaný pre horizontálny aj vertikálny smer: [2]

$$FOV = maximálna\ veľkosť\ objektu + tolerancia\ v\ polohe + okraj + adaptácia\ k\ pomeru\ strán\ snímača\ [mm] \tag{1}$$

$$Rc = \frac{FOV}{Rs}\ [px] \tag{2}$$

$$Rc = FOV \cdot \frac{Nf}{Sf}\ [px] \tag{3}$$

$$Rs = \frac{FOV}{RC}\ [mm/px] \tag{4}$$

$$Rs = \frac{Sf}{Nf}\ [mm/px] \tag{5}$$

Kde $Rc\ [px]$ je minimálne rozlíšenie snímača kamery

$FOV\ [mm]$ je veľkosť zorného poľa

$Rs\ [mm/px]$ je priestorové rozlíšenie

$Nf\ [px]$ je počet pixelov k zobrazeniu najmenšieho prvku [px]

$Sf\ [mm]$ je veľkosť najmenšieho prvku

2.2.4 Farebný obraz

Snímanie farebného obrazu nie je v úlohách strojového videnia v porovnaní s monochromatickým snímaním také časté, no sú úlohy, ktoré to vyžadujú. Snímanie farebného obrazu je zároveň zložitejšie kvôli schopnosti pixela absorbovať iba jednu hodnotu jasu. K získaniu informácie o farbe je nutné rozdeliť svetlo podľa vlnovej dĺžky a nasmerovať ho k rôznym snímacím elementom. Pre dosiahnutie tejto požiadavky sú používané viaceré spôsoby [15] [6]:

- **Trojčipové kamery** rozdeľujú svetlo pomocou polopriepustných zrkadiel s nanesenými farebnými filtrami na základné farby, na červenú (R), zelenú (G) a modrú (B). Tento princíp rozdelí obraz pre tri CCD snímače zaznamenávajúce jednotlivé farebné zložky. Výhodou trojčipovej kamery je vysoká citlivosť a plné rozlíšenie. Vyjadrenie obrazu je prirodzenejšie ako v jednočipovom systéme. Nevýhodou je hlavne cena, a takisto väčšie rozmery a hmotnosť. [6]
- **Jednočipové snímanie s farebným filtrom** využíva šachovnicový vzor farebného filtra pred jednotlivými pixelmi, s použitím iba jedného snímača. Využívajú sa opäť základné farby, pričom ale vzniká problém s ich usporiadaním do matice. Najčastejšie sa aplikuje Bayerov filter, ktorý má dvojnásobne viac zelených buniek ako červených a modrých. Obraz sa normálne načíta a až následne prebieha interpolácia farieb z najbližších pixelov. Nevýhodou je nižšia citlivosť a nutná interpolácia. Výhodou je oproti trojčipovej kamere nižšia cena, menšie rozmery a hmotnosť. Tieto vlastnosti sú vo väčšine aplikáciách postačujúce. [6]
- Vyššie spomenuté spôsoby platia pre plošné kamery. Riadkové kamery umožňujú takisto snímanie farebného obrazu, pre ktoré využívajú viaceré spôsoby, ako napr. snímač s filtrom, trojica riadkových snímačov pod sebou s filtrami, dvojriadkový čip alebo trojčipová riadková kamera. [6]

2.3 Objektívy

Objektív musí byť presne zaostrený na snímaný predmet, resp. jeho plochu. Z tohto dôvodu je voľba objektívu veľmi dôležitý proces, pri ktorom je potrebné zohľadniť viacero parametrov, zachovať kompatibilitu s kamerou a takisto počítať s chybami objektívu. V nasledujúcich podkapitolách sú popísané základné parametre a typy objektívov.

2.3.1 Parametre a výberové kritériá objektívov

Funkcia objektíva úzko súvisí s kamerou a teda aj s jej snímačom. Z tohto dôvodu je dôležitá kompatibilita týchto komponentom, a preto je potrebné dbať na nasledujúce parametre:

- **Veľkosť snímača** rozhoduje o voľbe objektíva. V parametroch objektíva je vždy informácia o veľkosti snímača, pre ktorý je daný objektív vhodný. Podmienkou je, že objektív musí byť schopný iluminovať celú plochu snímača. Preto je nutné voliť objektív, ktorý minimálne zodpovedá svojmu snímaču. Takisto je možné zvoliť objektív určený pre väčší snímač, keďže podmienka o ilumínácii celého snímača bude splnená. [8]
- **Spôsob uchytenia objektíva** zabezpečuje stabilné pripevnenie objektíva ku kamere a takisto špecifikuje vzdialenosť od roviny snímača k dosadacej ploche bajonetu (angl. flange focal distance – FFD). Na trhu sú dostupné viaceré typy uchytenia objektíva (angl. mount). Najviac používané sú C / CS / F / T Mount: [8]
    - **C Mount** je naviac používaný typ uchytenia v systémoch strojového videnia. Vzdialenosť FFD predstavuje pri tomto type 17,526 mm. Výhodou je veľké zastúpenie u rôznych výrobcov a takisto príslušenstvo k tomuto typu uchytenia.
    - **CS Mount** je takmer rovnaký ako C Mount, líši sa iba vo vzdialenosti FFD, ktorá je menšia o 5 mm, teda 12,526 mm, v prípade typu CS. Použitie objektíva s uchytením C Mount do kamery s CS Mount je možné s predlžovacím nadstavcom o dĺžke 5 mm, no opačné použitie nie je možné. CS Mount sa používa skôr v aplikáciách s CCTV kamerami a v strojovom videní je teda menej používaný.
    - **F Mount** je názov pre bajonet značky Nikon. Vzdialenosť FFD u neho predstavuje 46,5 mm. Jeho veľkosť je hlavne využívaná v aplikáciách s riadkovou kamerou alebo s plošným snímačom o väčších rozmeroch.
    - **T Mount** je alternatíva k uchyteniu F Mount, používaná pre riadkové kamery a snímače s vysokým rozlíšením.
- **Ohnisková vzdialenosť f** je definovaná ako vzdialenosť na optickej osi medzi optickým stredom objektíva a ohniskom. K popísaniu základného princípu optického snímania a nepresnému ale dostačujúcemu výpočtu ohniskovej vzdialenosti sa používa model tzv. tenkej šošovky, viď obr. 5. Skutočný predmet o veľkosti Y je zobrazovaný objektívom ako obraz o veľkosti Y'. Vzdialenosť medzi predmetom a optickým stredom sa nazýva predmetová vzdialenosť a a vzdialenosť medzi objektom a optickým stredom sa nazýva objektová vzdialenosť a'. V rovnici (9) sa pri určovaní obrazovej ohniskovej vzdialenosti f' zadá približná pomocná hodnota, ktorá je následne presne vypočítaná pomocou vzťahu (10). Pre presné priblíženie použitia rovníc viď. kapitola 3.3. Pre určenie ohniskovej vzdialenosti pomocou tenkej šošovky platia nasledujúce vzťahy: [2] [13]

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{a'} + \frac{1}{a} \tag{6}$$

$$\beta = \frac{Y'}{Y} = \frac{a'}{a}\ [-] \tag{7}$$

$$\beta = -\frac{veľkosť\ snímača}{FOV}\ [-] \tag{8}$$

$$f' = a \cdot \frac{\beta}{1-\beta}\ [mm] \tag{9}$$

$$a = f' \cdot \frac{1-\beta}{\beta}\ [mm] \tag{10}$$

$$z' = a' - f' = -f' \cdot \beta\ [mm] \tag{11}$$

Kde f' $[mm]$ je obrazová ohnisková vzdialenosť

a $[mm]$ je predmetová vzdialenosť

a' $[mm]$ je obrazová vzdialenosť

β $[-]$ je zväčšenie

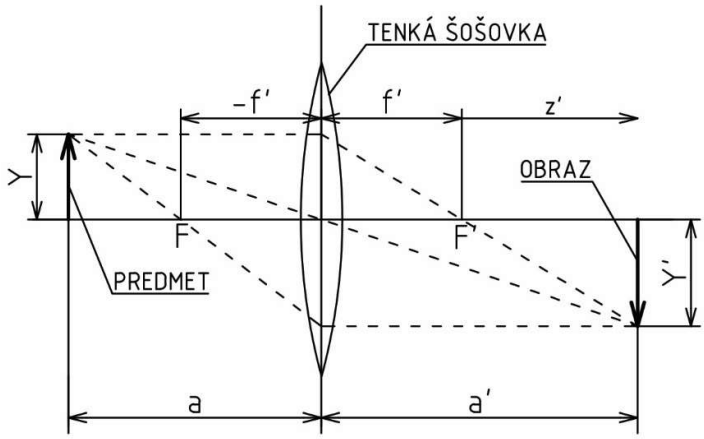
Y $[mm]$ je veľkosť skutočného predmetu

Y' $[mm]$ je veľkosť obrazu zobrazovaného objektívom

$veľkosť\ snímača$ $[mm]$ sa udáva v jednom smere

FOV $[mm]$ je veľkosť zorného poľa

z' $[mm]$ je vzdialenosť medzi obrazovým ohniskom objektíva a plochou snímača



Obr. 5) Schéma modelu s tenkou šošovkou

- **Clonové číslo** vyjadruje pomer efektívnej ohniskovej vzdialenosti k priemeru otvora vstupnej irisovej clony. Z toho vyplýva, že zmenou clony je dosahovaná zmena clonového čísla, a tým sa mení aj množstvo svetelného toku. S rastúcim clonovým číslom sa znižuje intenzita svetla, a naopak. Zároveň spolu s väčším clonovým číslom rastie hĺbka ostrosti. Objektívy majú väčšinou štandardizovaný rad clonových čísel. [15] [16]
- **Numerická apertúra** reprezentuje rozsah uhlov, pod ktorými dopadá svetlo do objektíva. Čím väčšia hodnota numerickej apertúry, tým viac svetla prichádza cez objektív. Tento parameter je využívaný v aplikáciách so snímaným

predmetom blízko objektíva. V prípade, že je snímaný predmet ďalej od objektíva, využíva sa clonové číslo. [13] [16] [17]

- **Minimálna vzdialenosť zaostrenia** je ďalším parametrom udávaným v špecifikácii objektívov. Je to minimálna vzdialenosť potrebná pre zaostrenie objektu. Môže sa udávať aj ako rozsah zaostrenia. S touto vlastnosťou súvisí pracovná vzdialenosť. Jedná sa o vzdialenosť medzi objektívom a snímaným predmetom. V prípade nutnosti zníženia minimálnej vzdialenosti zaostrenia môže byť použitý medzikrúžok, ktorý plní túto funkciu. Negatívnym dôsledkom je ale menší svetelný tok a zmenšená hĺbka ostrosti. [8] [18]
- **Modulárna prenosová funkcia** (angl. modulation transfer function – MTF) je kvantitatívny popis kvality obrazu, ktorý súvisí s rozlíšením a kontrastom obrazu. Výstupom je graf vyjadrujúci zhoršovanie kvality obrazu v závislosti na vzdialenosti od stredu k okrajom objektíva. [6] [8]

2.3.2 Typy objektívov

Na trhu sú dnes dostupné viaceré typy objektívov, ktoré pokrývajú všetky požiadavky rôznych aplikácií. Všetky nasledujúce typy sú vhodné pre lokalizáciu objektov, no v daných špecifických podmienkach. Nižšie spomenuté objektívy možno vidieť na obr. 6: [8] [19]

- **Objektívy s pevným ohniskom** sú určené pre statické úlohy, vďaka čomu ponúkajú najlepšie optimalizovanú kvalitu obrazu a vhodnosť použitia v náročnom prostredí. Nastavenia tohto typu objektívov sú zväčša obmedzené len na zaostrenie obrazu a zmenu clony.
- **Makro objektívy** sú navrhnuté pre malé veľkosti zorného poľa, kvalitné zaostrenie pri malých pracovných vzdialenostiach, majú dobrú MTF charakteristiku a vytvárajú zanedbateľné skreslenie. Takisto je možná ochrana proti vibráciám. Volené sú podľa hodnoty zväčšenia. Nevýhodou je malá flexibilita nastavení objektíva, hoci dnes už existujú aj makro objektívy s nastaviteľným zväčšením a zaostrením.
- **Telecentrické objektívy** sú určené pre aplikácie, kde perspektíva v projekcii obrazu a nesprávne škálovanie môže spôsobovať problémy pri meraní vzdialeností. Najviac sú používané pre meranie objektov s výrazným rozmerom rovnobežným s kamerou. Výhodou je vysoko presný obraz a možnosť koaxiálneho osvetlenia. Nevýhodou je potreba veľkého priemeru šošovky a z toho plynúca cena.
- **Veľkoformátové objektívy** sú obvykle vyrábané s F bajonetom od značky Nikon alebo uchytenia typu T Mount. Veľkoformátové objektívy sú prevažne používané v aplikáciách s riadkovou kamerou.
- **Objektívy pre viaccipové kamery** sú určené pre snímanie farebného obrazu. Pri normálnych objektívoch vzniká chromatická aberácia, ktorá by bola zdrojom problémov vo farebnom snímaní, preto sú vyrábané objektívy eliminujúce túto chybu.
- **Zoom objektívy** sú objektívy, ktoré dokážu meniť svoju ohniskovú vzdialenosť a tým umožňujú meniť zväčšenie obrazu. Sú vhodné pre použitie v premenlivých aplikáciách, no kvôli svojej nastavovateľnej konštrukcii nedokážu zaistiť presnú opakovateľnosť meraní v náročnom prostredí.

Obr. 6) Objektív A) s pevným ohniskom [20]; B) makro [21]; C) telecentrický [22]; D) pre veľké formáty [23]; E) zoom [24]

2.4 Prenos signálu

Komunikačné rozhranie slúži na zjednotenie spôsobu pripojenia kamery do počítača a komunikácie s ostatnými komponentami. Výsledkom je zjednodušenie a zefektívnenie aplikácie vizuálnej techniky. V súčasnosti sa využívajú prevažne digitálne komunikačné štandardy, umožňujúce kontrolu kamery a prenos signálu pomocou jedného kábla. [25]

V súčasnosti sú na výber viaceré komunikačné rozhrania. Rozhrania IEEE 1394 (tiež známe ako FireWire) a USB 2.0 sú na trhu relatívne dlho, no stále sa nájdu aj nové kamery s týmito rozhraniami. Moderné rozhrania sa vyvinuli z predtým zaužívaných rozhraní, a sú určené priamo pre priemyselnú vizuálnu techniku. Medzi tieto rozhrania patrí Camera Link, Camera Link HS, CoaXPress (CXP), USB3 Vision. Doposiaľ všetky spomenuté rozhrania patria pod hardvérové komunikačné štandardy. Pod moderné softvérové komunikačné štandardy sa radí GenICam a IIDC2. GenICam zabezpečuje všeobecné programové rozhranie pre všetky druhy kamier, bez ohľadu na to, aké hardvérové rozhranie používajú. Cieľom je dosiahnutie rovnakého API v celom priemysle. Druhým programovým rozhraním je IIDC2 štandard, ktorý je nástupcom IIDC určeným pre FireWire. Toto rozhranie je ale použiteľné iba s IEEE 1394, USB3 Vision a CoaXPress. Porovnanie vlastností súčasných hardvérových rozhraní pre strojové videnie je možné vidieť v tab 1. Hodnoty v zátvorkách zodpovedajú rôznej konfigurácii. [25]

Tab 1) Porovnanie najnovších rozhraní v strojovom videní [25]

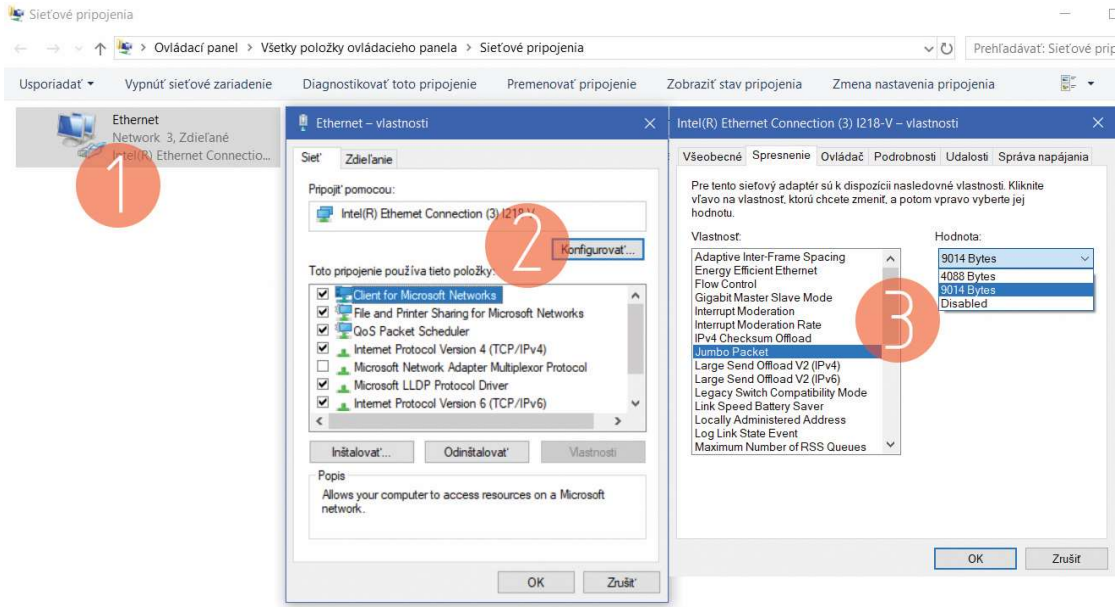
Rozhranie	Nutný frame grabber	Reakcia na chyby	Napájanie pomocou kábla	Maximálna teoretická rýchlosť	Maximálna dĺžka kábla
Camera Link	Áno	Nie	Voliteľné	255 MB/s (850 MB/s)	7 – 15 m
Camera Link HS	Áno	Opakované zaslanie dát	Nie	300 MB/s (1200; 2100 MB/s)	15 m (500 m)
CoaXPress	Áno	Detekcia chýb	Povinné	20,8 MB/s (3600 MB/s)	100 m (35 m)
GigE Vision	Nie	Opakované zaslanie dát	Voliteľné	1000 MB/s (2000 MB/s)	100 m (5000 m)
USB3 Vision	Nie	Opakované zaslanie dát	Povinné	400 MB/s	3 – 5 m (8; 100 m)

Frame grabber je zásuvná komunikačná karta slúžiaca pre prenos obrazových dát medzi kamerou a počítačom, použitým pre spracovanie obrazu. Táto karta poskytuje viaceré rozhrania, ktoré neobsahuje počítač. [8]

2.5 Hardvér

V posledných rokoch veľký pokrok vo vývoji technológií, ktoré dnes umožňujú použitie kompaktných počítačov a zabudovaných systémov. Dnešné počítače majú veľký výpočtový výkon a sú vhodné aj do drsnejšieho prostredia, čo je potrebné v systéme strojového videnia. Najčastejšie sú používané s operačným systémom Microsoft Windows, pre ktoré je na trhu aj obrovské množstvo softvérových možností pre strojové videnie. Tento variant je najčastejším prípadom pre bežné úlohy. [8]

Pre použitie bežného počítača v strojovom videní je nutné aktivovanie balíkov dát, tzv. „jumbo packet“. V operačnom systéme Windows 10 je túto funkciu možné ľahko aktivovať v nastaveniach sieťových pripojení. V týchto nastaveniach je zvolené požadované sieťové zariadenie. Otvoria sa vlastnosti daného zariadenia, kde sa v dialógovom okne zobrazia používané položky. Pri zvolenej položke „Client for Microsoft Networks“ sa vyberie možnosť „Konfigurovať“. Otvorí sa posledné okno, kde je v karte „Spresnenie“ nutné zvoliť vlastnosť „Jumbo Packet“ a vybrať hodnotu „9014 Bytes“. Celý proces aktivovania balíkov dát je znázornení v obr. 7.



Obr. 7) Aktivovanie balíkov dát (tzv. jumbo packet) v OS Windows 10

2.6 Softvér

Softvér umožňuje získanie obrazových dát, ich transport a konečnú manipuláciu so získaným obrazom k dosiahnutiu požadovaných meraní a výsledkov. Softvér musí byť kompatibilný so všetkými časťami systému. Na trhu sú obrovské možnosti pre každú platformu a pre každú úroveň náročnosti ovládania. Podľa skúseností si môže užívateľ vybrať z dvoch hlavných typov používateľského rozhrania: [6]

- **Grafické používateľské rozhranie (GUI)** je vhodné pre užívateľa, ktorý nemá veľké skúsenosti s programovaním. Toto prostredie je veľmi intuitívne a zabezpečuje jednoduchú tvorbu systému. Nevýhodou je menšia flexibilita nastavení.
- **Súprava na vývoj softvéru (SDK)** je programovacie prostredie poskytujúce softvérové knižnice, pomocou ktorých je dosiahnutá maximálna voľnosť pri tvorbe systému.

Okrem vyššie spomínaného rozdelenia je nutné zohľadniť aj cenu základného balíka programu, resp. cenu a aj dostupnosť prípadných ďalších aktualizácií. Existuje takisto možnosť vyhnúť sa veľkým cenám za softvér, a to použiť softvér s otvoreným zdrojovým kódom (open-source). Táto možnosť je ale značne náročná a je určená skôr pre počítačové videnie. [8] [26]

Za zmienku takisto stojí ohlásenie firmy Beckhoff Automation o integrácii riešenia pre spracovanie obrazu s názvom TwinCAT Vision do ich dobre známeho PLC systému. Veľkou výhodou je možnosť presnej synchronizácie kamery vďaka eliminácii oneskorenia. Pre detekciu objektov obsahuje nástroje ako pattern matching, lokalizovanie polohy a farebné rozpoznávanie. TwinCAT Vision je kompatibilný s riadkovými aj plošnými kamerami so zbernicou GigE Vision. Informácia o uvedení na trh nie je zatiaľ známa. [27] [28]

2.7 Softvérové nástroje pre lokalizáciu objektov

Softvérové nástroje sú používané ako nástroj k dosiahnutiu požadovaných meraní a rôznych výsledkov. Nasledujúce nástroje sú používané v úlohách strojového videnia pre získanie informácie o ich polohe, orientácii a natočení:

1. **Kalibrácia snímky** je na prvom mieste v rade všetkých nástrojov. Používa sa v prípadoch, kedy nie je os kamery kolmá k snímanému objektu. V takomto prípade vzniká problém v perspektíve, čo môže viesť k nepresným vyhodnoteniam. Tento nástroj neslúži pre lokalizáciu, no je dôležitý pre presné vyhodnocovania. Pomocou kalibračných nástrojov získava program informáciu o prevode na hodnoty v reálnych jednotkách a takisto informáciu o korekcii obrazu. [29]
2. **Súradnicové systémy** sú dôležité pre každé meranie v strojovom videní. Všetky merania sú totiž vykonávané s ohľadom na koordinačný systém. Princíp voľby súradnicového systému spočíva v nájdení referenčnej črty, ktorú bude softvér schopný rozoznať v každej snímke. Proces je možné urýchliť vymedzením oblasti záujmu (ROI), čoho výsledkom je menšia plocha hľadania prvku. [30]
3. **Nájdenie rovnej, resp. kruhovej hrany** je veľmi dôležitý nástroj, ktorý je v kombinácii s inými nástrojmi aplikovaný pre získanie súradníc polohy, resp. natočenie. [30]
4. **Nástroj pre meranie vzdialeností**. Tento nástroj sa môže nazývať rôznymi menami, no jeho funkcia je stále rovnaká. V programe Vision Assistant, ktorý je používaný v praktickej úlohe, sa nazýva „posuvné meradlo“. Jeho funkcia je merať rozmery, vzdialenosti, uhly a iné podobné úkony, ktoré môžu byť použité v kombinácii s inými nástrojmi takisto pre lokalizáciu objektov. [29]
5. **Kontrola podobnosti vzoru** (angl. pattern matching) je dôležitý nástroj pre lokalizáciu a klasifikáciu objektov. Tento nástroj slúži k lokalizácii objektu na väčšej ploche a následne získanie jeho pozície. Okrem toho môže byť použitý aj na porovnávanie lokalizovaného predmetu s vytvorenou predlohou. K dosiahnutiu týchto funkcií používa hlavne hodnoty jasu pixelov.
   Pre voľbu vhodnej predlohy je vhodné voliť rotačne symetrický predmet, ktorý je menej citlivý na zmeny v natočení. Takisto je vhodné ak má predloha výrazné detaily, ktoré umožňujú väčšiu variabilitu obrazu v zmene veľkosti. Takisto platí, že čím väčšia predloha, tým väčší čas potrebný na učenie programu, ale tým rýchlejšie následné vyhodnocovanie. [29] [30]
6. **Kontrola podobnosti farebného vzoru** (angl. color pattern matching). Vo väčšine aplikácií je používané snímanie monochromatickou kamerou. V niektorých aplikáciách je ale naopak vhodné k lokalizácii objektov využívať farebný obraz. Napr. v prípade snímania predmetu, za ktorým sa nachádza pozadie s podobným kontrastom alebo k odlíšeniu predmetov s rovnakým tvarom ale rozdielnou farbou. [29]
7. **Kontrola geometrickej podobnosti** (angl. geometric matching) využíva krajné hrany k charakterizovaniu vonkajšieho tvaru snímaného objektu. Následné využíva tento tvar k hľadaniu podobných tvarov, resp. objektov.
   V trénovaní softvéru môže užívateľ vyznačiť hrany, ktoré majú byť hľadané a hrany alebo iné prvky, ktoré nie sú relevantné pre dané porovnávanie. Tento nástroj je odolný voči natočeniu a škálovaniu objektov bez signifikantného zníženia rýchlosti vyhodnotenia. [30]

3 UKÁŽKOVÁ ÚLOHA

Po teoretickom prehľade úlohy strojového videnia pre lokalizáciu objektov je vytvorená praktická úloha, v ktorej sa zaoberám ukážkou tvorby systému pre lokalizáciu vybraného predmetu s využitím konkrétnych komponentov, dostupných na ústave.

3.1 Zadanie

Zadaním ukážkovej úlohy bolo lokalizovať vybraný predmet, určiť súradnice jeho polohy a natočenie. Vybraný snímaný predmet je možné vidieť na obr. 8)A. Jeho rozmery sú (40 x 40 x 55) mm. Pre tvorbu systému strojového videnia boli použité komponenty dostupné na ústave. Ako softvér pre spracovanie obrazu bol zvolený Vision Assistant od firmy National Instruments. Výstupom z tejto úlohy bolo porovnanie dvoch vytvorených programov vo Vision Assistante.

Obr. 8) A) Snímaný predmet; B) Scéna ukážkovej úlohy

3.2 Popis použitého zariadenia

Použité zariadenia boli vybrané z dostupných možností na ústave. Celú scénu a postavenie jednotlivých komponentov je možné vidieť na obr. 8)B. Ako osvetlenie bola dostupná dvojica halogénových osvetľovačov alebo osvetlenie zabudované v miestnosti.

Ako snímacie zariadenie bola použitá kamera značky Allied Vision typu Manta G-033B. Jedná sa o monochromatickú kameru s rozhraním GigE Vision, napájanú pomocou kábla (PoE).

Kamera obsahuje CCD SONY snímač typu ICX414AL o veľkosti 1/2″ s progresívnym skenovaním. Veľkosť celého snímača je (7,48 × 6,15) mm. Veľkosť pixelu

predstavuje (9,9 × 9,9) µm, teda pixel má štvorcový formát. Rozlíšenie snímača je (656 × 492) px. Formát snímača je teda 4:3.

Kamera pracovala v kombinácii s objektívom značky Pentax typu C1614-M. Tento objektív a aj kamera používajú uchytenie typu C Mount. Objektív je určený pre snímač o veľkosti 2/3″, čo je väčšie ako veľkosť použitého snímača, teda podmienka o osvetlení celého snímača bola splnená. Ohnisková vzdialenosť tohto objektívu predstavuje 16 mm. Clonové číslo je možné nastaviť v škále 1,4 ÷ 16. Dôležitým parametrom je takisto minimálna vzdialenosť zaostrenia, a tá činila hodnotu 250 mm.

Ako výpočtová technika bol použitý notebook Lenovo ThinkPad E550 s procesorom Intel Core i7 – 5500U, operačnou pamäťou o veľkosti 8 GB, operačným systémom Windows 10 Pro a už spomínaným softvérom Vision Assistant vo verzii 2013.

3.3 Tvorba fyzickej časti úlohy

Pri výbere komponentov je vždy potrebné začať s osvetlením. V tejto úlohe boli dostupné dve možnosti. Prvou bola dvojica halogénových osvetľovačov, alebo zabudované osvetlenie v miestnosti. Ukázalo sa, že halogénové osvetlenie vytváralo nerovnomerné odlesky na hladkých plochách snímaného predmetu, čo spôsobilo väčšie problémy pri lokalizácii objektu. Zároveň svietidlá v miestnosti vytvárali lepšiu rozptýlenú iluminácii. Z tohto dôvodu sa aplikovala druhá možnosť.

V ďalšom kroku sa pokračovalo vo výpočtoch minimálneho rozlíšenia kamery, vo voľbe pracovnej vzdialenosti kamery a voľbe objektíva. Pre tieto výpočty boli použité vzťahy (1) až (11). Najprv bolo potrebné zvoliť veľkosť zorného poľa. Pre tento účel bol vytlačený čierny rámček na papieri s vonkajšími rozmermi (157 × 157) mm s hrúbkou steny 7 mm. Tento rámček bol neskôr využívaný pre hľadanie oblasti záujmu pri snímaní obrazu kamerou, pričom slúžil aj pre simulovanie miernej zmeny pohybu podkladovej plochy pod snímaným predmetom. Pomocou jeho rozmerov a vzťahu (1) sa vypočítal vertikálny rozmer zorného poľa, kde sa k rozmeru rámčeku pripočítalo 15 mm ku každej strane, pre jeho prípadný pohyb:

$$FOV_{Vert.} = 157\ mm + 2 \cdot 15\ mm = 187\ mm$$

Z toho sa ľahko vypočítal rozmer pre horizontálny smer pomocou pomeru formátu snímača:

$$FOV_{Horiz.} = 187\ mm \cdot \frac{4}{3} = 249{,}33\ mm$$

Následne sa prešlo k výpočtu minimálneho rozlíšenia kamery Rc. Veľkosť najmenšieho prvku rozpoznateľného kamerou bol 1 mm, čo je hrúbka príruby v skosenom mieste snímaného predmetu. Pre spracovanie obrazu sa používal nástroj hľadania hrán a nástroje pre kontrolu podobnosti vzoru a geometrickej podobnosti, pre ktoré je nutné rátať s 1 pixelom potrebným pre softvér k zobrazeniu najmenšieho prvku. Z tých poznatkov bolo vypočítané minimálne rozlíšenie kamery pomocou vzťahu (3):

$$Rc_{Vert.min} = FOV_{Vert.} \cdot \frac{Nf}{Sf} = 187\ mm \cdot \frac{1\ px}{1\ mm} = 187\ px$$

a analyticky

$$Rc_{Horiz.min} = FOV_{Horiz.} \cdot \frac{Nf}{Sf} = 249{,}33\ mm \cdot \frac{1\ px}{1\ mm} = 249{,}33\ px$$

Tieto dve hodnoty $Rc_{Vert.}$ a $Rc_{Horiz.}$ určovali minimálne rozlíšenie kamery. Kamera značky Allied Vision typu Manta G-033B tieto parametre spĺňala a bola vybratá do tejto úlohy. Jej rozlíšenie zodpovedalo (656 × 492) px.

Pre výpočet priestorového rozlíšenia stačil jeden smer a bol použitý vzorec (4):

$$Rs = \frac{FOV_{Horiz.}}{Rc_{Horiz.kamera}} = \frac{249{,}33\ mm}{656\ px} = 0{,}38\ mm/px$$

Z čoho plynie, že 1 mm je zaznamenaný viac ako 2,63 pixelmi, pričom požiadavka bola zaznamenať 1 mm 1 pixelom. Po zvolení kamery bolo nutné vybrať objektív. Najprv bolo nutné vypočítať zväčšenie pomocou vzťahu (8):

$$\beta = -\frac{veľkosť\ snímača}{FOV} = -\frac{9{,}9\ \cdot 10^{-3}\ mm \cdot 656}{249{,}33\ mm} = -0{,}026$$

Kde $veľkosť\ snímača = veľkosť\ pixelu * počet\ pixelov\ v\ danom\ smere.$ Za počet pixelov sa dosádza bezjednotková hodnota. Výsledná hodnota zväčšenia je záporná kvôli znamienkovej konvencii, v ktorej platí, že hodnota obrazových parametrov v obrazovej časti je kladná a v predmetovej časti záporná. Analogicky to platí pre predmetové parametre.

Po vypočítaní hodnoty zväčšenia bolo možné prejsť k výpočtu obrazovej ohniskovej vzdialenosti pomocou vzťahu (9). Hodnota predmetovej vzdialenosti (pracovnej vzdialenosti) je zvyčajne daná určitým obmedzením vo vstupných parametroch danej úlohy. V tejto ukážkovej úlohe bola ľubovoľne zvolená, a to $a = 575\ mm$. Táto hodnota slúži ako odhad k vypočítaniu presnej hodnoty predmetovej vzdialenosti. Na konci výpočtu je ale nutné nezabudnúť skontrolovať minimálnu vzdialenosť zaostrenia zvoleného objektíva.

$$f' = a \cdot \frac{\beta}{1-\beta} = 575\ mm \cdot \frac{(-0{,}026)}{1-(-0{,}026)} = -14{,}57\ mm$$

Najbližšia hodnota vyrábaných ohniskových vzdialeností je 16 mm, a preto bol zvolený objektív Pentax typu C1614-M. Následne bolo možné pomocou vzťahu (10) vypočítať presnú hodnotu predmetovej vzdialenosti, pričom za f' bol dosadený predchádzajúci výsledok:

$$a = f' \cdot \frac{1-\beta}{\beta} = -14{,}57\ mm \cdot \frac{1-(-0{,}026)}{(-0{,}026)} = 574{,}95\ mm$$

Nakoniec sa overila pomocou (11) vzdialenosť medzi obrazovým ohniskom objektíva a plochou snímača:

$$z' = -f' \cdot \beta = -14{,}57\ mm * (-0{,}026) = 0{,}038\ mm$$

Táto vzdialenosť sa už prípadne doostrila pomocou objektíva.

Po upevnení kamery vo vypočítanej nastavenej pracovnej vzdialenosti bola kamera pripojená pomocou GigE Vision rozhrania k notebooku, v ktorom bolo ešte potrebné aktivovať „jumbo packet“. Následne sa prešlo k softvérovej časti úlohy.

3.4 Tvorba úlohy v programe Vision Assistant

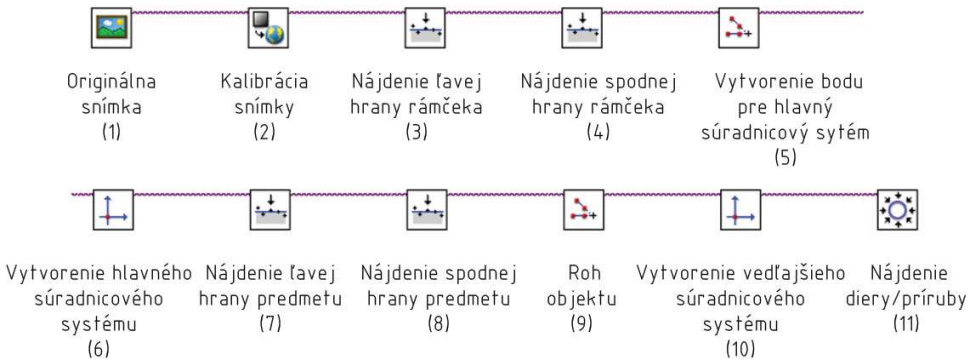
Ako prvý krok v tvorbe softvérovej časti bolo potrebné získať snímky. V programe bolo nutné zvoliť možnosť získania obrazu (angl. acquire image), kde je menu s viacerými možnosťami získania obrazu. Pre túto úlohu bola zvolená možnosť získavania obrazu pomocou GigE zbernice, ktorou bola pripojená kamera k programu. Po voľbe kamery bolo zvolené nepretržité snímanie obrazu, ktoré umožnilo vidieť obraz v reálnom čase. Následne bolo nutné upraviť expozičný čas a zosilnenie signálu kamery v jej nastaveniach. Keď už bol obraz správne nastavený, boli zaznamenané snímky kalibračných mriežok, ktoré je taktiež možné nájsť v nainštalovanej dokumentácii, a predmete vo viacerých polohách a natočeniach.

Po nadobudnutí snímok sa prešlo k ich spracovaniu. Najprv je vždy nutné skalibrovať obraz. Pomocou zaznamenaných kalibračných mriežok sa vytvoril kalibračný súbor pre konverziu na reálne jednotky a takisto pre kalibráciu skreslenia kamery.

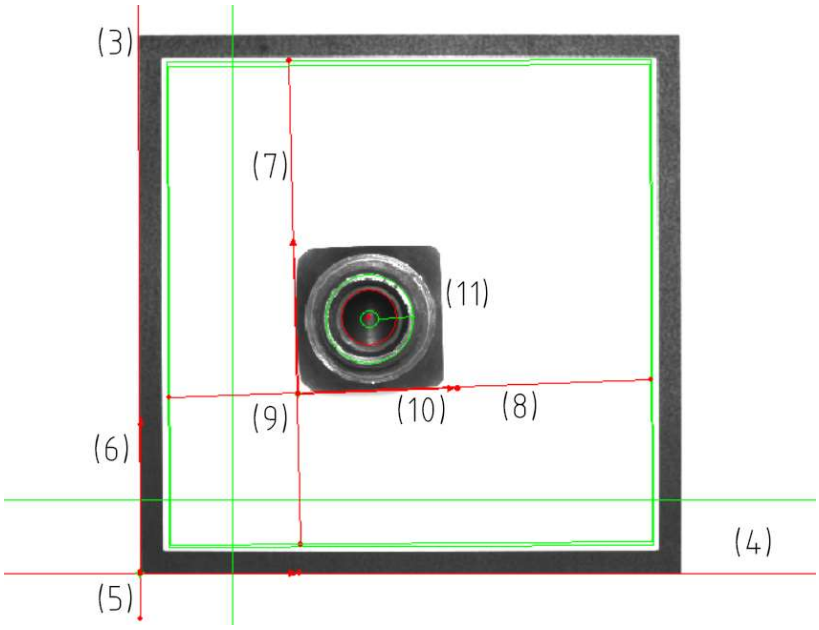
V ďalšom kroku sa zvolil počiatok súradnicového systému v rohu čierneho rámčeka pomocou funkcií „hľadania rovných hrán“ a „posuvného meradla“ (angl. caliper). Funkcia hľadania rovných hrán bola obmedzená pomocou oblasti záujmu na tú časť snímky, kde sa vyskytujú hrany rámčeka. To urýchlilo jej proces. Funkcia posuvného meradla vytvorila bod v priesečníku nájdených rovných čiar, pomocou ktorého mohol byť vytvorený počiatok hlavného súradnicového systému. Tento počiatok ďalej slúžil pre oblasť záujmu v rámčeku a využíval sa v prípadoch, kedy bol aj rámček posunutý. Rámček v tomto prípade môže symbolizovať pohybujúci sa predmet, na ktorom je hľadaný iný menší objekt.

Po vytvorení počiatku hlavného súradnicového systému bolo možné pristúpiť k lokalizácii predmetu a k určeniu jeho natočenia. Boli vybrané dve možné riešenia. Obidve tieto riešenia nadväzujú ďalej na prechádzajúce kroky:

1. Prvým z možných spôsobov bolo použitie funkcie posuvného meradla. Po predchádzajúcom kroku sa zopakoval takmer celý postup znova. Našli sa dve na seba kolmé rovné hrany snímaného predmetu, do ich priesečníku sa vložil bod pomocou posuvného meradla, z čoho vzišiel údaj o polohe predmetu a bod pre počiatok vedľajšieho súradnicového systému. Pre určenie orientácie sa znova použila funkcia posuvného meradla, no tento krát bola použitá pre meranie uhla medzi spodnou hranou lokalizovaného objektu a spodnou hranou rámčeka (resp. by to mohli byť bočné hrany). V tomto postupe predstavovali súradnice predmetu jeho nájdený roh, čo by pri následnej manipulácii s predmetom nebolo vhodné. Riešením bolo použitie funkcie nájdenia kruhových hrán, ktorý vytvoril bod v strede nájdenej kružnice. Súradnice tohto bodu predstavovali súradnice stredu snímaného objektu, keďže snímaný predmet bol symetrický. Celý postup je znázornený na obr 9. Vizuálne vyobrazenie snímky v programe Vision Assistant pre tento postup je možné vidieť na obr 10.

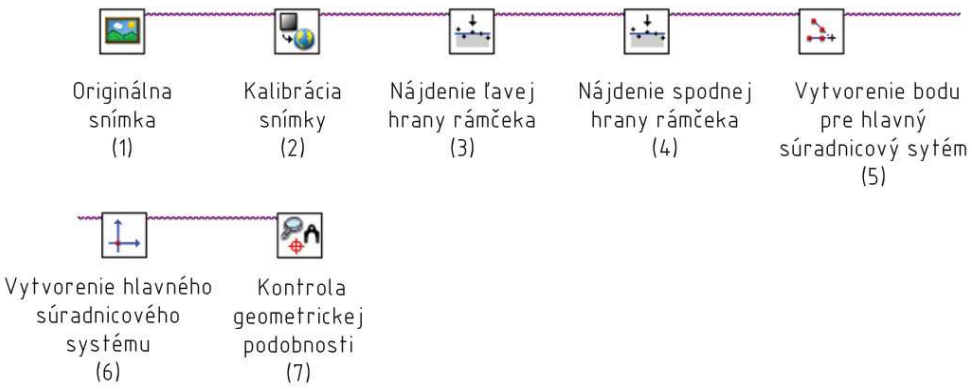


Obr. 9) Postup krokov vo Visual Assistante pre prístup pomocou funkcií „posuvného meradla“ a „nájdenie kruhovej hrany“

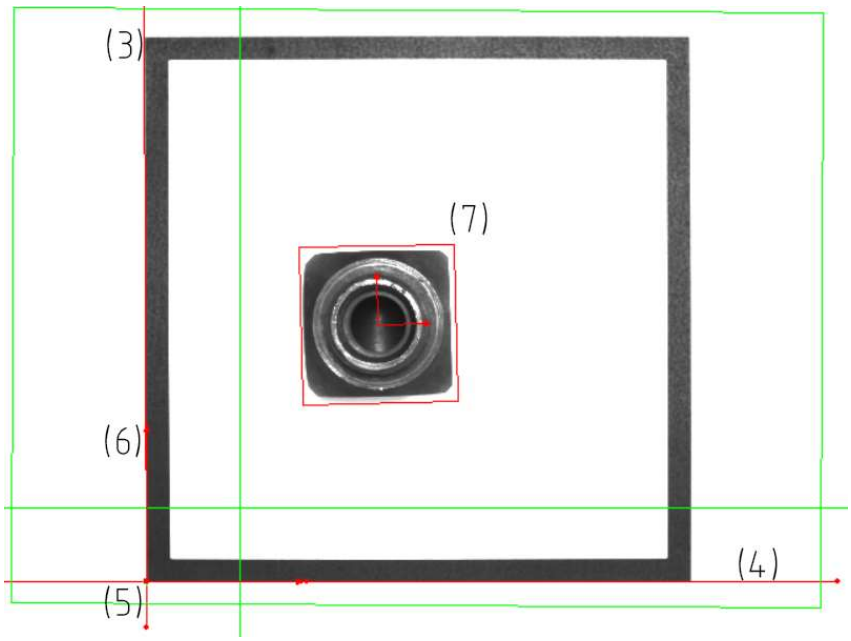


Obr. 10) Vyobrazenie snímky v programe Vision Assistant po aplikovaní nástrojov „posuvného meradla“ a „nájdenie kruhovej hrany“

2. Druhý možný postup využíval kontrolu geometrickej podobnosti (geometric matching). Tak ako v prvom spôsobe, nebol potrebný žiadny filter ani v tomto postupe. Jedine bolo potrebné vytvoriť predlohu pomocou snímky s najlepšími predpokladmi. Následne došlo už len k vyhodnocovaniu výsledkov, teda k určeniu polohy a orientácie. Postup jednotlivých krokov je možné vidieť na obr. 11 a vizuálne vyobrazenie snímky v programe Vision Assistant pre tento postup je možné vidieť na obr. 12.



Obr. 11) Postup krokov vo Visual Assistante pre prístup pomocou funkcie kontroly geometrickej podobnosti



Obr. 12) Vyobrazenie snímky v programe Vision Assistant po aplikovaní nástroja „kontrola geometrickej podobnosti“

Porovnanie časov inšpekcie týchto dvoch zvolených prístupov je možné vidieť v tab. 2. Ako je vidieť, aj keď má prvý prístup použitých viac krokov pre získanie informácie o polohe a natočení, je časovo výhodnejší.

Tab 2) Porovnanie vybraných postupov spracovania a vyhodnotenia snímok

	Posuvné meradlo + nájdenie kruhových hrán	**Kontrola geometrickej podobnosti**
Priemerná inšpekčná doba *(ms)*	17,13	49,28
Najdlhšia inšpekčná doba *(ms)*	18,41	51,93
Frekvencia *(počet skontrolovaných objektov/s)*	58,37	20,29

Výstupom z programu Vision Assistant môže byť tabuľka hodnôt meraní každej snímky, ktorá môže byť vygenerovaná do obyčajného textového formátu *.txt* alebo odoslaná do programu Excel. Druhou možnosťou je vygenerovať *C* kód, resp. *.net* kód, alebo pretvoriť skript z programu Vision Assistant do programu LabVIEW. Typ výstupu záleží konkrétne na danej úlohe, teda na ďalších krokoch, ktoré využijú namerané hodnoty pozície a natočenia predmetu pre ďalšie účely.

4 MOŽNOSTI APLIKÁCIE

Strojové videnie sa všeobecne používa pre automatizáciu výrobného procesu. Zvýši sa efektivita práce vďaka odchyteniu chýb na začiatku výrobného procesu, čoho dôsledkom je úspora materiálu, a pod. Úlohy so strojovým videním takisto eliminujú zámeny tovaru pri procese balenia, čo môže byť niekedy doslova smrteľne dôležité, ako napr. vo farmaceutickom priemysle.

Informácia o polohe a orientácii predmetu, alebo prvku určitého predmetu, v zvolenom súradnicovom systéme je využívaná v rôznych priemyselných aplikáciách. Typickou úlohou je nájdenie predmetu a následné podanie informácie o jeho súradniciach robotu. Úlohy tohto druhu sú využívané jednak v procesoch výroby v strojárskom priemysle, ale takisto aj v iných, kde v automatizovanom procese je nutná manipulácia s predmetmi.

Ďalším typom úlohy s využitím lokalizácie je kontrola polohy, resp. pozície predmetu, prípadne jeho natočenia. Táto úloha je využívaná pre presnú kontrolu, kedy je pozícia kontrolovaného predmetu jedným z hlavných parametrov.

Strojové videnie je takisto využívané pre sledovanie pohybu predmetu. Lokalizovanie snímaného, pohybujúceho sa predmetu je využité pre rôzne druhy úkonov nasledujúcich po jeho lokalizovaní.

Okrem vyššie spomínaných aplikácií môže byť lokalizácia predmetu v strojovom videní využitá takisto pre počítanie predmetov alebo pre klasifikáciu, resp. overenie prítomnosti daného predmetu.

[31]

5 ZÁVER

V teoretickej časti mojej bakalárskej práce vytváram podrobný prehľad celého systému strojového videnia pre lokalizáciu objektov. Tento prehľad je vytvorený z najnovších dostupných zdrojov. Funkcia každého komponentu je zhrnutá, sú predložené základné typy a popísané výhody a nevýhody ich použitia.

Taktiež popisujem základný postup výpočtu pri voľbe kamery, resp. konkrétne jej snímača. Výsledkom tohto výpočtu sú hodnoty minimálneho rozlíšenia kamery a hodnoty priestorového rozlíšenia. Okrem toho popisujem aj výpočet parametrov objektíva. Pri tomto výpočte je využitý zjednodušený model, konkrétne model s tenkou šošovkou, ktorého výstupom sú hodnoty ohniskovej vzdialenosti, zväčšenia a predmetovej vzdialenosti. Tento model úplne nezodpovedá skutočnej konštrukcii objektíva, no je dostatočný pre približné určenie základných parametrov k vhodnej voľbe objektíva.

V druhej časti tejto bakalárskej práce vytváram ukážkovú úlohu pre daný typ strojového videnia. Tvorba ukážkovej úlohy bola značne ovplyvnená malým množstvom možností výberu komponentov. Najväčším a zároveň aj veľmi ľahkým zlepšením by bola zmena osvetlenia. Bolo by vhodné vyskúšať viaceré typy osvetlení spolu s rôznymi postupmi v softvérovej časti v programe Vision Assistant. Som toho názoru, že osvetlenie s tmavým zorným poľom, resp. kupolovité osvetlenie, by prinieslo dobrú zmenu a tým aj nové možnosti pre spracovanie obrazu.

Pre spracovanie obrazu bol vyskúšaný aj nástroj kontroly podobnosti vzoru. Kvôli veľkej rôznorodosti osvetlenia lesklých plôch a zároveň zmenám v perspektíve nebolo možné vyhodnotiť väčšinu zaznamenaných snímok. Problém bol hlavne v zobrazovaní príruby so závitom, ktorá v pohľade zhora tvorila hlavný vzor predmetu. Tento problém by sa okrem zmeny osvetlenia mohol riešiť zmenou objektíva, resp. zväčšením pracovnej vzdialenosti.

Nakoniec sa zaoberám možnosťami aplikácie strojového videnia pre lokalizovanie objektov. V tejto časti vyberám najčastejšie aplikované riešenia, ako napr. navádzanie robota, manipulácia s predmetmi alebo kontrola polohy s ohľadom na presnosť.

6 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

[1] LabVIEW Machine Vision and Image Processing Online Course. In: *Scribd* [online]. Austin: National Instruments, 2014 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: https://www.scribd.com/document/211115953/Machine-Vision-and-Image-Processing-LabVIEW-Self-Study-Guide

[2] HORNBERG, Alexander, ed. Handbook of Machine and Computer Vision*:* The Guide for Developers and Users [online]. 2nd ed. Weinheim: Wiley-VCH, 2017 [cit. 2018-05-24]. DOI: 10.1002/9783527413409. ISBN 9783527413409. Dostupné z: Wiley Online Library Online Books

[3] BATCHELOR, Bruce, ed. Machine vision handbook. 1. London*:* Springer, 2012. Springer reference. ISBN 978-1-84996-168-4.

[4] KITSINELIS, Spiros. Light sources: Basics of lighting technologies and applications. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. ISBN 9781482243673.

[5] Smartview osvětlení strojového vidění. In: Atesystem [online]. Otrokovice*:* Smart view, 2018 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: http://kamery.atesystem.cz/site/assets/files/1509/smartview_industrial_illumination.pdf

[6] HOTAŘ, Vlastimil. Úvod do problematiky strojového vidění: Základní principy a hardware. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 9788074941566.

[7] LED Illuminators. In: Opto Engineering [online]. Mantova: *Opto* Engineering, c2015-2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.opto-engineering.com/products/LT-illuminators-family

[8] The Imaging & Vision Handbook. In: Stemmer imaging [online*]*. Puchheim: Stemmer imaging, 2016 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: http://en.stemmer-imaging.com/imaging-vision-handbook-2016-2017/54916361

[9] NI Smart Cameras. Austin, 2018. Dostupné také z: *http*://www.ni.com/pdf/product-flyers/smart-cameras.pdf

[10] Smart Camera. In: National Instruments [online]. Austin: *National* Instruments, 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.ni.com/en-us/shop/select/smart-camera

[11] IN-SIGHT 2000: VISION SENSORS. Natick, 2018. Dostupné také *z*: www.cognex.com/downloads/in-sight-2000-vision-sensors-product-guide-19368

[12] SONKA, Milan, Vaclav HLAVAC a Roger BOYLE. Image processing*,* analysis, and machine vision. Fourth edition. Stamford: Cengage Learning, 2015. ISBN 9781133593607.

[13] BEYERER, Jürgen, Fernando LEÓN a Christian FRESE. Machine Vision*:* Automated Visual Inspection: Theory, Practice and Applications [online]. 1. Berlin: Springer, 2016 [cit. 2018-05-17]. ISBN 9783662477946. Dostupné z: 10.1007/978-3-662-47794-6

[14] KURODA, Takao. Essential principles of image sensors. 1. *Boca* Raton: CRC Press, 2015. ISBN 9781482220056.

[15] DEMANT, Christian, Carsten GARNICA a Bernd STREICHER-ABEL. Industrial image processing: Visual quality control in manufacturing [online]. Second *revised edition*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013 [cit. 2018-05-24]. ISBN 9783642339059. Dostupné z: 10.1007/978-3-642-33905-9

[16] AHMAD, Anees, ed. Handbook of Optomechanical Engineering. 2nd *ed*. Boca Raton: CRC Press, 2017. ISBN 9781498761482.

[17] CRISTÓBAL, Gabriel, ed., Peter SCHELKENS, ed. a *Hugo* THIENPONT, ed. Optical and digital image processing: Fundamentals and applications. 1. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. ISBN 9783527409563.

[18] FUJINON: Machine vision lenses. Wayne, 2017. Dostupné také *z*: https://www.fujifilmusa.com/shared/bin/FUJINON_FAMV_2017.pdf

[19] Machine vision system: General catalog. Saitama, 2016. Dostupné *také* z: http://moritex.com/products/upload/docs/Moritex_MV_Vol003_E.pdf

[20] FA & Machine Vision. In: Ricoh Imaging [online]. Tokyo: Ricoh Imaging, 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: http://www.ricoh-imaging.co.jp/english/products/catalog/pdf/2012_PENTAX_MV_eng.pdf

[21] Industrial Machine Vision Lenses. In: Schneider Optics [online]. Schneider Optics, b.r. [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.schneideroptics.com/ecommerce/CatalogSubCategoryDisplay.aspx?CID=1347

[22] TCHM series. In: Opto engineering [online]. Mantova: *Opto* engineering, c2015-2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.opto-engineering.com/products/TCHM-series

[23] Fixed focal. In: Opto Engineering [online]. Mantova: *Opto* Engineering, c2015-2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://www.opto-engineering.com/products/fixed-focal

[24] Zoom lenses. In: Computar [online]. Computar, 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: https://computar.com/product_category/56/Zoom

[25] Global machine vision interface standards. 2016. Dostupné také z: http://www.emva.org/wp-content/uploads/FSF_Vision_Standards_Brochure_A4_screen.pdf

[26] WILSON, Andy. Software packages offer developers numerous options for *machine* vision design. Vision Systems Design [online]. Tulsa: PennWell Corporation, 2017, 22(4), 23 [cit. 2018-05-21]. ISSN 10893709. Dostupné z: databázy EBSCO

[27] TwinCAT Vision: Integrating machine vision into automation. Verl, 2017. Dostupné také z: https://download.beckhoff.com/download/document/catalog/Beckhoff_TwinCAT_Vision_e.pdf

[28] TwinCAT Vision seamlessly integrates machine vision into automation technology. In: Beckhoff [online]. Verl: Beckhoff Automation, 2017 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: https://www.beckhoff.com/english.asp?press/pr1117.htm

[29] KWON, Kye-Si a Steven READY. Practical Guide to Machine *Vision* Software: An Introduction with LabVIEW. 1. Weinheim: Wiley-VCH, 2015. ISBN 9783527337569.

[30] LabVIEW machine vision and image processing course manual. Austin, *2008*.

[31] Machine vision applications. Stemmer imaging [online]. Puchheim: Stemmer imaging, b.r. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: www.stemmer-imaging.de/en/applications

7 ZOZNAM SKRATIEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

7.1 Zoznam skratiek a použitých symbolov

Skratka	Význam
A/D	analógovo-digitálny
API	application programming interface
CCD	charge-coupled device
CMOS	complementary metal oxide semiconductor
GUI	graphical user interface
LED	light-emitting diode
MTF	modulation transfer function
NIR	near infrared
PLC	programmable logic controller
PoE	power over ethernet
px	pixel
ROI	region of interest
SDK	software development kit
SNR	signal-to-noise ratio
USB	universal serial bus

Symbol	Rozmer	Veličina
a	[mm]	predmetová vzdialenosť
a'	[mm]	obrazová vzdialenosť
β	[–]	zväčšenie
f	[mm]	predmetová ohnisková vzdialenosť
f'	[mm]	obrazová ohnisková vzdialenosť
FOV	[mm]	veľkosť zorného poľa
Nf	[px]	počet pixelov k zobrazeniu najmenšieho prvku
Rc	[px]	minimálne rozlíšenie snímača kamery
Rs	[mm/px]	priestorové rozlíšenie
Sf	[mm]	veľkosť najmenšieho prvku
Y	[mm]	veľkosť skutočného predmetu
Y'	[mm]	veľkosť obrazu zobrazovaného objektívom
z'	[mm]	vzdialenosť medzi obrazovým ohniskom objektíva a plochou snímača

7.2 Zoznam tabuliek

TAB 1) POROVNANIE NAJNOVŠÍCH ROZHRANÍ V STROJOVOM VIDENÍ [25] 31

TAB 2) POROVNANIE VYBRANÝCH POSTUPOV SPRACOVANIA A VYHODNOTENIA SNÍMOK 41

7.3 Zoznam obrázkov

OBR. 1) GRAF POROVNANIA ZÁKLADNÝCH VLASTNOSTÍ ZDROJOV SVETLA 18

OBR. 2) PRIESTOROVÉ ROZLOŽENIE OSVETLENIA 19

OBR. 3) TECHNIKA OSVETLENIA. A) ZADNÝ OSVETĽOVAČ; B) PRSTENCOVÝ; C) KUPOLOVITÝ; D) KOAXIÁLNY; E) LÍNIOVÝ; F) PRSTENCOVÝ S TMAVÝM POĽOM [7] 20

OBR. 4) A) INTELIGENTNÁ KAMERA [10]; B) KAMEROVÝ SENZOR [11] . 21

OBR. 5) SCHÉMA MODELU S TENKOU ŠOŠOVKOU 28

OBR. 6) OBJEKTÍV A) S PEVNÝM OHNISKOM [20]; B) MAKRO [21]; C) TELECENTRICKÝ [22]; D) PRE VEĽKÉ FORMÁTY [23]; E) ZOOM [24] 30

OBR. 7) AKTIVOVANIE BALÍKOV DÁT (TZV. JUMBO PACKET) V OS WINDOWS 10 32

OBR. 8) A) SNÍMANÝ PREDMET; B) SCÉNA UKÁŽKOVEJ ÚLOHY 35

OBR. 9) POSTUP KROKOV VO VISUAL ASSISTANTE PRE PRÍSTUP POMOCOU FUNKCIÍ „POSUVNÉHO MERADLA“ A „NÁJDENIE KRUHOVEJ HRANY“ 39

OBR. 10) VYOBRAZENIE SNÍMKY V PROGRAME VISION ASSISTANT PO APLIKOVANÍ NÁSTROJOV „POSUVNÉHO MERADLA“ A „NÁJDENIE KRUHOVEJ HRANY“ 39

OBR. 11) POSTUP KROKOV VO VISUAL ASSISTANTE PRE PRÍSTUP POMOCOU FUNKCIE KONTROLY GEOMETRICKEJ PODOBNOSTI ... 40

OBR. 12) VYOBRAZENIE SNÍMKY V PROGRAME VISION ASSISTANT PO APLIKOVANÍ NÁSTROJA „KONTROLA GEOMETRICKEJ PODOBNOSTI“ 40