

Kamerová detekce vad stabilizátorů

Optical Inspection of stabilizer defects

Bc. Dominik Harik

Diplomová práce
2024

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav automatizace a řídicí techniky

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Dominik Harik**
Osobní číslo: **A22329**
Studijní program: **N0714A150006 Automatické řízení a informatika v průmyslu 4.0**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Kamerová detekce vad stabilizátoru**
Téma práce anglicky: **Optical Inspection of stabilizer defects**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte rešerši s problematikou detekce vad pomocí strojového vidění.
2. Zpracujte katalog vad, které se na stabilizátoru mohou vyskytovat.
3. Navrhněte vhodný způsob detekce vad na stabilizátoru jako součást robotické linky.
4. Vyhodnoťte opakovatelnost měření vad.
5. Vytvořte manuál pro měření vad stabilizátoru pro školení odborných zaměstnanců.

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

1. SZELISKI, Richard. *Computer vision: algorithms and applications*. Texts in computer science (Springer). London: Springer, 2011. ISBN 978-184-8829-343.
2. ANAND, Sheila a PRIYA, L.. *A Guide for Machine Vision in Quality Control*. Taylor & Francis, 2019. ISBN 978081539273.
3. BEYERER, Jurgen; LEÓN, Fernando Peunte a FRESE, Christian. *Machine Vision, Automated Visual Inspection: Theory, Practice and Applications*. Springer, 2016. ISBN 9783662477939.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Novák, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce: **8. prosince 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2024**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

Dominik Harik, v.r.
.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se věnuje využití strojového vidění pro detekci vad na stabilizátorech. Cílem je zvýšit efektivitu a přesnost inspekcí těchto klíčových komponent. Práce popisuje návrh a implementaci kamerového systému, který kombinuje kameru, objektiv a speciální osvětlení s algoritmy pro analýzu a identifikaci běžných vad.

Klíčová slova: strojové vidění, detekce vad, stabilizátory, kontrola kvality, automatizace, kamerový systém

ABSTRACT

This thesis focuses on the use of machine vision for the detection of defects in stabilizers. The goal is to increase the efficiency and accuracy of inspections of these key components. The work describes the design and implementation of a camera system that combines a camera, lens, and special lighting with algorithms for analysis and identification of common defects.

Keywords: machine vision, defect detection, stabilizers, quality control, automation, camera system

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Jakubu Novákovi, Ph.D. za ochotu, cenné rady a připomínky, které vedly ke zdárnému konci vypracování této práce. Děkuji také vedoucímu ze strany firmy Ing. Josefu Kuželovi za jeho odborné vedení během práce na projektu.

Velké díky však patří i mé rodině, která mě podporovala při mém studiu a poskytla mi zázemí a možnost studovat.

OBSAH

OBSAH	6
ÚVOD	9
I.	10
TEORETICKÁ ČÁST	10
1 KONTROLA KVALITY	11
1.1 CO JE TO STABILIZÁTOR	12
2 STROJOVÉ A POČÍTAČOVÉ VIDĚNÍ	13
2.1 POČÍTAČOVÉ VIDĚNÍ	13
2.2 STROJOVÉ VIDĚNÍ.....	13
2.2.1 Úloha strojového vidění	13
3 KOMPONENTY STROJOVÉHO VIDĚNÍ	15
3.1 KAMERA	15
3.1.1 Snímač v kameře	15
3.1.2 Plošné kamery.....	16
3.1.3 Řádkové kamery.....	16
3.1.4 Smart kamery.....	17
3.2 OBJEKTIV	17
3.3 OSVĚTLENÍ	18
3.3.1 Plošná osvětlovací pole	19
3.3.2 Kruhové osvětlovače	20
3.3.3 Kopulové osvětlovače.....	21
3.3.4 Osvětlovací systém DOAL.....	21
3.3.5 Osvětlovače dark-field.....	22
3.3.6 Osvětlovače backlight	23
3.4 KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ	23
3.5 SOFTWARE	24
3.6 INTEGRACE KOMPONENTŮ	24
4 ZPRACOVÁNÍ OBRAZU	26
4.1 TYPY OBRAZU	26
4.1.1 Binární obraz.....	26
4.1.2 Šedotónový obraz.....	27

4.1.3	RGB obraz.....	28
4.2	HISTOGRAM	28
4.3	FILTRACE OBRAZU	29
4.3.1	Box filtr.....	29
4.3.2	Bilaterální filtr	29
4.3.3	Gaussovský filtr	30
4.4	SEGMENTACE OBRAZU	31
4.4.1	Prahování.....	31
4.4.2	Detekce hran	32
4.5	DETEKCE OBJEKTU.....	33
II.	.....	34
PRAKTICKÁ ČÁST	.....	34
5	KATALOG DEFEKTŮ NA STABILIZÁTORECH	35
6	NÁVRCH SYSTÉMU DETEKCE VAD NA STABILIZÁTORU	37
6.1	KAMERA CA-H048MX	37
6.1.1	Objektiv ke kameře model CA-LHR8.....	38
6.2	OSVĚTLENÍ	39
6.2.1	Zadní bílé podsvícení CA-DSW15.....	39
6.2.2	Přední kruhové osvětlení CA-DRW10X	39
6.3	KONTROLÉR CV-X400F.....	40
6.4	VÝLEDNÝ KAMEROVÝ SYSTÉM.....	41
6.5	PROGRAM PRO VYHODNOCOVÁNÍ DEFEKTŮ.....	42
6.5.1	Korekce pozice nástroje.....	42
6.5.2	Detekce vady v díře stabilizátoru	43
6.5.3	Detekce vady zploštělého konce stabilizátoru	43
6.5.4	Měření pozice díry.....	44
6.5.5	Měření rozměru díry na stabilizátoru.....	45
6.5.6	Detekce vad na ploše stabilizátoru	46
7	INTEGRACE DO ROBOTICKÉ BUŇKY	47
8	MANUÁL PRO ŠKOLENÍ	51
ZÁVĚR.....	.....	53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	.....	54
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	.....	57
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	.....	58

SEZNAM PŘÍLOH	60
---------------------	----

ÚVOD

V dnešní době se kladou stále vyšší nároky na kvalitu průmyslových výrobků, což vyžaduje inovativní přístupy ke kontrole a zajištění jejich kvality. Tato diplomová práce, kterou jsem vypracoval na zadání firmy Mubea, se zaměřuje na využití strojového vidění pro detekci vad na stabilizátorech, klíčových komponentách v systému odpružení vozidel. Cílem je zlepšení efektivity a přesnosti inspekcí, což přispívá k lepší kvalitě výsledných produktů a zvyšuje spokojenost zákazníků.

Úvodní část práce se věnuje kontrole kvality ve výrobním procesu a významu strojového vidění jako nástroje pro automatizaci a zefektivnění této kontroly. Digitální kamery a software pro zpracování obrazu umožňují nahradit nebo podpořit tradiční manuální metody, které bývají spojeny s vysokými náklady a možností chybovosti. Výhody strojového vidění, jako jsou rychlost, přesnost a konzistence, zásadně přispívají k optimalizaci výrobních procesů.

Dále se práce soustředí na specifika detekce vad na stabilizátorech, které jsou zásadní pro stabilitu a bezpečnost vozidel. Nedostatky v těchto komponentách jako jsou deformace mohou mít vážný dopad na pohodlí a bezpečnost vozidla. V práci jsou popsány běžné typy vad a důležitost jejich odhalení.

Praktická část práce obsahuje návrh a implementaci kamerového systému pro detekci vad na stabilizátorech ve spolupráci s firmou Mubea. Tento proces zahrnuje výběr kamery, objektivu a osvětlení pro získání kvalitních snímků a použití algoritmů pro analýzu a identifikaci vad. Tento systém je integrován do robotické buňky, což demonstruje možnosti praktického využití strojového vidění v průmyslové praxi.

Tato diplomová práce představuje účinný přístup k zajištění kvality a zlepšení výrobních procesů, což v konečném důsledku přináší výhody jak pro výrobce, tak pro konečné spotřebitele.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KONTROLA KVALITY

Kontrola kvality je základním pilířem v oblasti výroby a zajištění spokojenosti zákazníků. Cílem výrobních procesů je vytvářet výrobky, které splňují potřeby a přání zákazníků, a to jak z hlediska kvality, tak ceny.

Celý proces výroby, od surovin až po finální výrobky, je pod neustálou kontrolou kvality. Díky průběžné inspekci je možné odhalit a řešit případné nedostatky již v rané fázi, což vede k efektivnějšímu využití zdrojů a snižování nákladů. Inspekce se provádějí s cílem porovnat aktuální stav materiálů, komponent a výrobků s předem stanovenými normami. Položky, které tyto normy splňují, jsou schváleny, zatímco nesplňující jsou odmítnuty. Systémy kontroly kvality tak přispívají k vylepšení výrobků, automatizaci výrobních procesů a redukci výrobních nákladů.

Technologie strojového vidění (MV), využívající digitální kamery a softwarové zpracování obrazu, přináší inovativní řešení pro nahrazení či doplnění tradičních manuálních kontrol. Manuální kontrola kvality je časově i finančně náročná a navíc může být zatížena chybami. Nasazení strojového vidění umožňuje rychlé, objektivní a spolehlivé inspekce, což má významné výhody ve srovnání s lidským faktorem:

- **Přesnost:** Systémy strojového vidění dosahují vyšší úrovně přesnosti a detailu než člověk, dokonce i při použití zvětšovacích přístrojů.
- **Rychlost:** Kontroly provedené strojovým viděním jsou výrazně rychlejší a efektivnější než manuální inspekce.
- **Opakovatelnost:** Strojové systémy mohou provádět kontrolu kvality konzistentně a bez únavy, na rozdíl od lidských operátorů, jejichž výsledky mohou kolísat.
- **100% Inspekce:** Strojové vidění umožňuje kontrolovat všechny vyrobené díly, na rozdíl od výběrových metod založených na statistice.
- **Náklady:** Automatizace inspekcí zvyšuje produktivitu a snižuje náklady tím, že minimalizuje výskyt chybných výrobků dostávajících se k zákazníkům.

Bezkontaktní charakter inspekcí strojovým viděním je klíčový zejména v situacích, kde jsou kontaktní měření nepraktická či nemožná, a nabízí řešení i pro inspekce v nebezpečných prostředích.[1]

1.1 Co je to stabilizátor

Ve své podstatě stabilizátor představuje zásadní prvek systému odpružení vozidla, který zahrnuje kola/pneumatiky, pružiny, tlumiče, řízení, spojovací části, pouzdra a klouby. Jeho hlavní funkcí je minimalizace naklánění karoserie vozidla během zatáčení, což je klíčové pro zachování stability a bezpečnosti při řízení, obzvláště u velkých vozidel jako jsou nákladní automobily, autobusy nebo rekreační vozidla. Stabilizátor lze charakterizovat jako torzní pružinu, tedy kovový prvek, který reaguje na torzní (krouťící) pohyby. Když vozidlo zatáčí, stabilizátor se snaží vyrovnat rozdíl ve výšce kol a tím bránit nežádoucímu náklonu vozidla.

Různorodost a počet stabilizátorů se liší v závislosti na konkrétním typu vozidla, přičemž stabilizátor je typicky instalován napříč vozidlem a spojuje kola na jedné nápravě. V situaci, kdy obě kola narazí na překážku se stejnou intenzitou, torzní pohyb nenastane a stabilizátor tak není aktivován. Stabilizátor je nejefektivnější při rozdílném pohybu kol, například během zatáčení, kdy rozkládá sílu mezi vnější a vnitřní kola, čímž omezuje náklon a zlepšuje ovladatelnost vozidla.

Příznaky poškozeného stabilizátoru mohou zahrnovat rachotící nebo dunivé zvuky z podvozku vozidla, zejména při přeježdění nerovností, zhoršenou ovladatelnost a volný volant. Zejména u velkých vozidel, jako jsou obytné vozy, může absence stabilizátoru vést k výraznému naklánění, což může zvyšovat fyzickou náročnost řízení a riziko nehody. Stabilizátor tak v těchto případech výrazně přispívá ke zlepšení jízdních vlastností a komfortu.[2]



Obrázek 1 Stabilizátor [2]

2 STROJOVÉ A POČÍTAČOVÉ VIDĚNÍ

Počítačové vidění (CV) a strojové vidění (MV) jsou dvě úzce propojené disciplíny v oblasti umělé inteligence (AI), které se zabývají interpretací vizuálních informací pomocí počítačů a softwaru. Ačkoli jsou tyto pojmy často používány zaměnitelně, mají specifické aplikace a zaměření.

2.1 Počítačové vidění

Počítačové vidění je širší, interdisciplinární oblast AI, která se zaměřuje na vývoj algoritmů schopných automaticky detekovat specifické objekty a formulovat vzorce prostřednictvím digitálních obrazů a videa. Hlavním cílem počítačového vidění je napodobit složitost lidského zraku a extrahovat zásadní data pro algoritmy strojového učení.

Běžné aplikace počítačového vidění zahrnují detekci objektů, klasifikaci obrazů, rozpoznávání obličejů a gest, rozpoznávání textu (OCR), navigaci robotů a další.

2.2 Strojové vidění

Strojové vidění je podmnožinou počítačového vidění, kde jsou hardwarové a softwarové aplikace počítačového vidění začleněny do strojů k vylepšení reálných procesů a operací. Strojové vidění se zaměřuje na precizní automatizaci a zvyšování efektivity určitých úkolů v reálném čase, zejména v průmyslovém sektoru. Tato technologie umožňuje "vidění" strojům pomocí IoT senzorů, softwaru počítačového vidění a systémů strojového vidění.

Běžné aplikace strojového vidění zahrnují inspekci kvality, detekci vad, třídění a manipulaci s objekty, prediktivní údržbu a bezpečnost.[3]

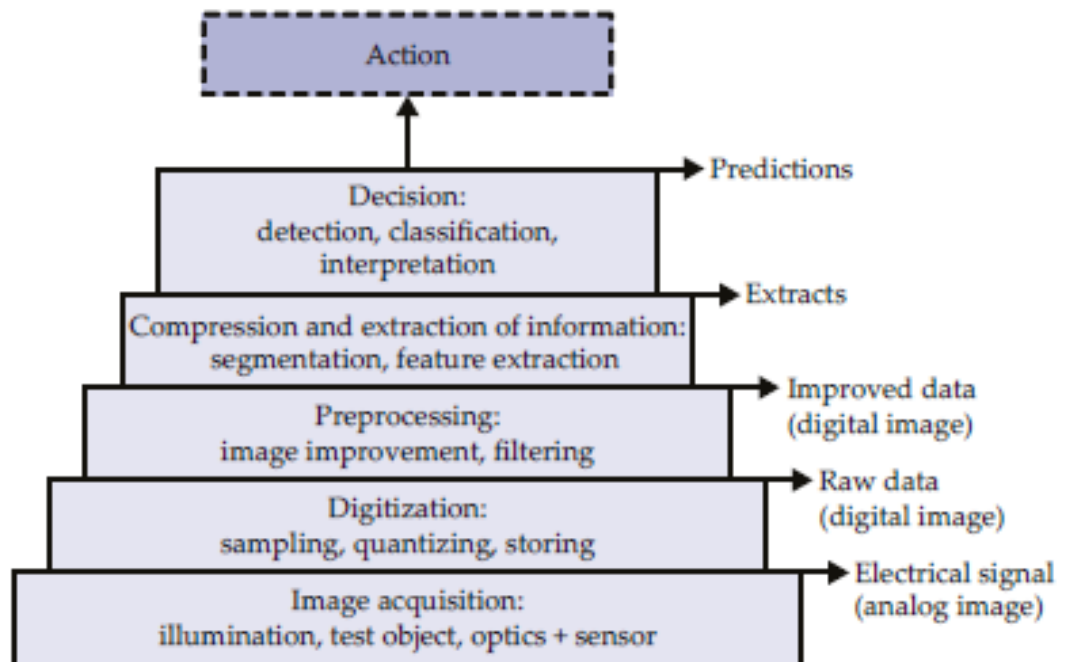
2.2.1 Úloha strojového vidění

Typické systémy strojového vidění se skládají z hierarchie procesů, která je znázorněna na obrázku č.2, přičemž čtení této hierarchie je provedeno od spodní části směrem nahoru. Tato struktura je navržena ve formě pyramidy, jež odráží proces akvizice obrazu, a zdůrazňuje význam každé úrovně pro celkovou efektivitu vizuální inspekce. Základním kamenem tohoto procesu je akvizice obrazu, která zahrnuje osvětlení, testovaný objekt, optiku a senzor. Tento krok je nezbytný, neboť kvalita a množství informací získaných v této fázi přímo ovlivňují úspěšnost následujících kroků zpracování obrazu.

Následuje digitalizace, kde je analogový signál, obvykle v podobě elektrického napětí, vzorkován, kvantizován a uložen. I přes základní povahu tohoto kroku je důležité zdůraznit, že surová data často obsahují rušivé a irelevantní složky, jako je šum, které je třeba v další fázi předzpracování odstranit nebo minimalizovat s cílem zlepšit kvalitu obrazu.

Proces komprese a extrakce informací pak zahrnuje segmentaci obrazu na smysluplné regiony a extrakci charakteristických rysů, které jsou relevantní pro daný úkol. Tyto informace jsou následně použity v rozhodovacím procesu, kde mohou být výsledky interpretovány jako detekce defektů, klasifikace různých objektů, nebo odvození výrobních parametrů v závislosti na specifikách úkolu vizuální inspekce.

Nakonec, na základě těchto informací může být podniknuta konkrétní akce, jako je vyřazení nebo zachování testovaného objektu, či selektivní úprava výrobních parametrů. Důležitost dobře promyšleného systému akvizice obrazu nelze dostatečně zdůraznit, jelikož má zásadní vliv na schopnosti automatizovaného systému vizuální inspekce. Flexibilita v konfiguraci akvizice obrazu nabízí široký prostor pro návrh, jehož možnosti však lze systematicky využít pouze s adekvátními znalostmi a konceptem přizpůsobeným konkrétnímu problému.[4]

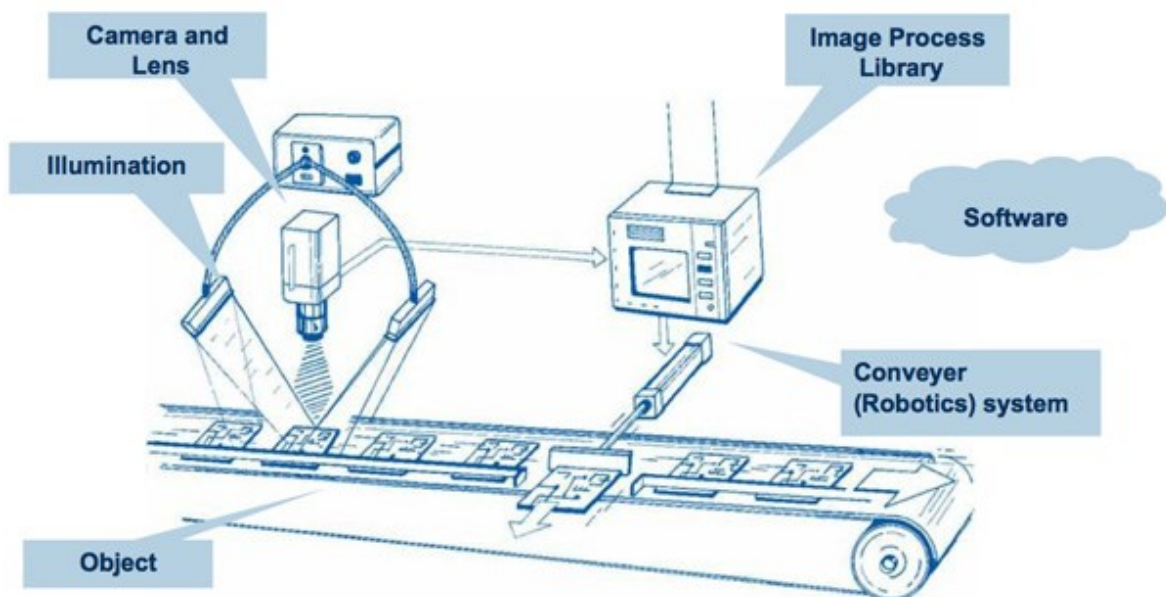


Obrázek 2 Kroky úlohy strojového vidění [4]

3 KOMPONENTY STROJOVÉHO VIDĚNÍ

System strojového vidění je klíčovým prvkem automatizace a kontroly kvality v moderním průmyslovém prostředí. Tento systém se skládá z několika základních komponent, jejich správný výběr a konfigurace jsou nezbytné pro efektivní výkon systému dané aplikaci.

Hlavní komponenty systému strojového vidění zahrnují kameru, objektiv, zdroj světla, software pro zpracování obrazu a komunikační rozhraní. Rozhodování o komponentách systému strojového vidění závisí na aplikaci, pro kterou jsou navrženy, stejně jako na stupni požadované automatizace. Například aplikace pro kontrolu kvality může být navržena s jednou kamerou, která zachytává statické obrázky objektů k inspekci.[1]



Obrázek 3 Komponenty strojového vidění[5]

3.1 Kamera

V systémech strojového vidění se k získávání obrazů objektů či scén používají kamery, které mohou být analogové nebo digitální. Mezi hlavní typy kamer patří řádkové (line scan) a plošné (area scan) digitální kamery. Rozlišení obrazu určuje senzor kamery, zatímco objektiv určuje ohniskovou vzdálenost kamery.

3.1.1 Snímač v kameře

Snímač v kameře, který zachycuje obraz objektu nebo scenerie, se nazývá snímač obrazu. Existují dva hlavní typy snímačů obrazu – CCD a CMOS.

CCD snímače produkují obrazy vysoké kvality, ale spotřebovávají více energie a jsou dražší. Naproti tomu CMOS snímače vytvářejí obrazy nižší kvality, ale spotřebovávají méně energie a jsou relativně levnější.

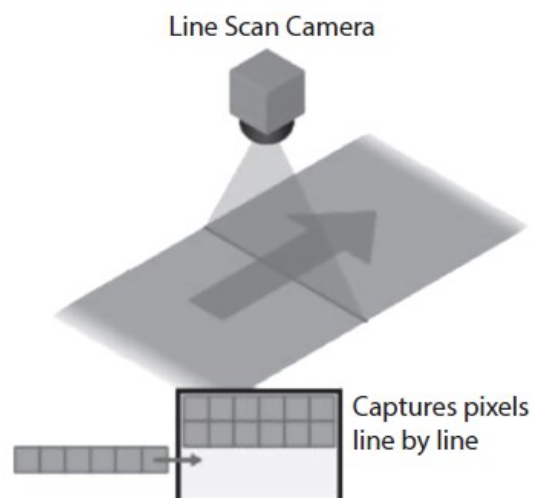
Lze říci, že CCD snímače se obvykle používají v aplikacích vyžadujících obrazy ve vysoké kvalitě s vysokým počtem pixelů, jako jsou profesionální, lékařské a vědecké aplikace. CMOS snímače jsou více žádané v spotřebních aplikacích a profesionálních digitálních kamerách s méně přísnými požadavky na kvalitu.

3.1.2 Plošné kamery

Plošné kamery, které se používají ve většině systémů strojového vidění, rychle získávají obraz definované oblasti objektu nebo scény. Kamery mají velkou matici pixelů, která zachytává 2D obraz dané scény během jedné expozice. Tyto kamery jsou ideální pro využití v aplikacích, kde se objekty nehýbou nebo jsou v klidu alespoň po dobu potřebnou k získání snímku

3.1.3 Řádkové kamery

Řádkové kamery používají jediný řádek pixelů k vytvoření nepřetržitého obrazu. Celkový obraz se konstruuje řádek po řádku, jak objekt prochází před kamerou. Tyto kamery jsou ideální pro vysokorychlostní zpracování nebo aplikace na rychle se pohybujících dopravních linkách. Mají několik výhod oproti plošným kamerám, včetně schopnosti vytvářet obrazy vysokého rozlišení bez omezení vertikálního rozlišení, a jsou často jednodušší na osvětlení.



Obrázek 4 Princip řádkové kamery[1]

3.1.4 Smart kamery

Chytré kamery jsou zaměřeny na specifické účely, což je odlišuje od obecných plošných nebo řádkových kamer. Tyto kamery jsou často konstruovány s ohledem na konkrétní potřeby, jako je detekce pohybu či čtení čísel dílů a registračních značek vozidel. Jedinečnost chytrých kamer spočívá v tom, že obsahují kameru s čipem, objektiv, embedded zařízení a často i osvětlení v jednom těle. Tyto kamery využívají vestavěné systémy pro zpracování obrazu a musí být odolné, aby spolehlivě fungovaly v náročných průmyslových podmínkách. Jejich popularita stále roste díky snadnému nasazení a dnes jsou navrhovány pro široké spektrum standardních aplikací.[1]



Obrázek 5 Smart kamera[6]

3.2 Objektiv

Objektiv kamery je zásadní komponenta ve strojovém vidění, která se stará o zaostření světla odraženého od scény nebo objektu na obrazové senzory v kameře. Tím umožňuje kameře přeměnit světelnou energii na elektrickou energii, ze které se vytváří digitální obraz.

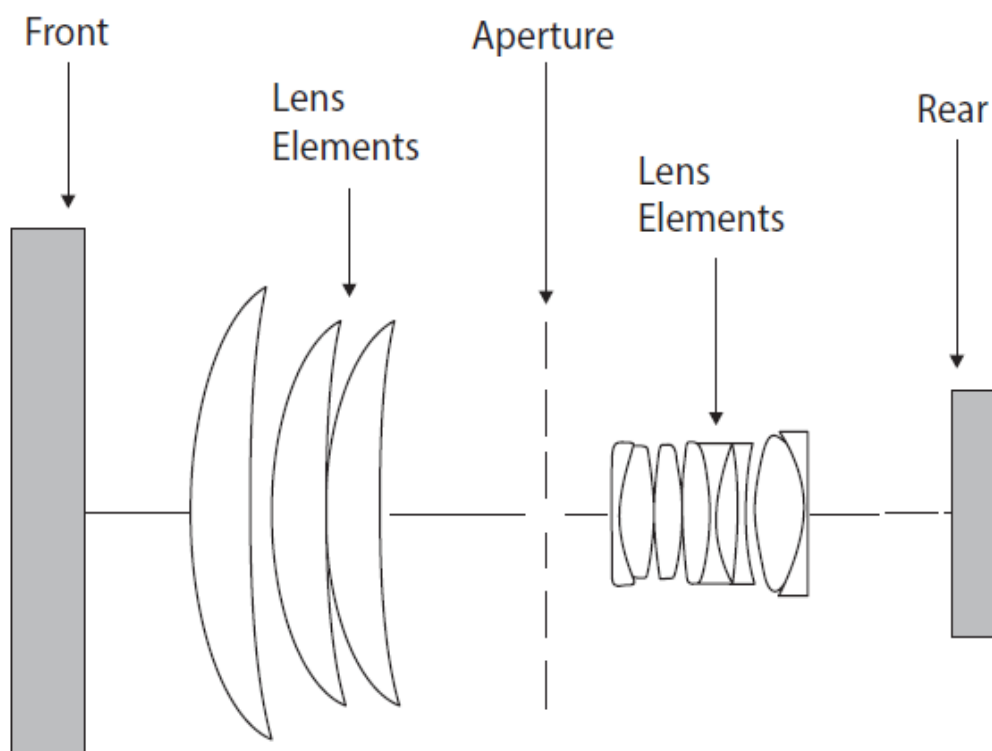
Objektiv kamery se skládá z různých částí, které jsou drženy pohromadě v barelu. Na přední straně je skleněný (nebo plastový) objektiv, který zaostřuje světlo. Uvnitř sestavy objektivu jsou další optické čočky použité pro další jemné doladění obrazu. Každá z těchto čoček je nazývána prvek objektivu. Prvky objektivu jsou zakřivené, protože světlo odražené od objektu je ohýbáno a soustředěno na obrazový senzor. Avšak zakřivené sklo v objektivu může

obraz zkreslit, zejména na okrajích. Proto se používá více prvků k nápravě tohoto zkreslení a získání jasného a ostrého obrazu.

Mnoho parametru se musí brát v potaz při výběru objektivu pro aplikaci strojového vidění.

Patří mezi ně:

- **Rozlišení senzoru kamery**
- **Vzdálenost mezi objektem a kamerou**
- **Velikost objektu**
- **Množství světla dostupného pro zachycení obrazu [1]**



Obrázek 6 Vnitřní uspořádání objektivu [1]

3.3 Osvětlení

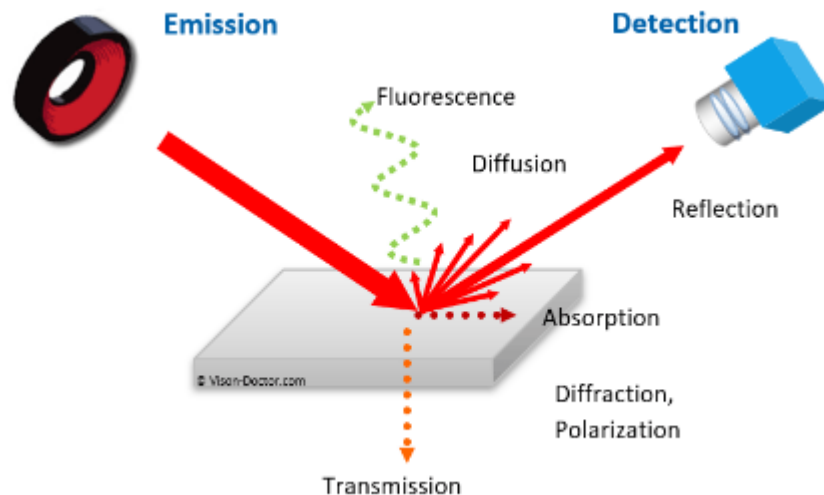
Primární úlohou osvětlení je vytváření kontrastu mezi charakteristikami objektu, které je třeba rozpoznat. Výběr zdroje světla ovlivňuje mnoho parametrů, které se podílejí na interakci mezi testovaným objektem a jeho specifickými materiálovými vlastnostmi.

V závislosti na materiálu dochází k:

- **Odrazu světla** – světlo se odráží od povrchu materiálu
- **Rozptýlení světla** – světlo je rozptylováno v různých směrech

- **Absorpci světla** – světlo je zčásti absorbováno materiálem a přeměněno na teplo
- **Prostupu světla (transmise)** – u neprůhledných, poloprůhledných nebo průsvitných materiálů může světlo procházet skrze materiál

V některých případech může docházet k polarizaci nebo difrakci světla na povrchu materiálu. Obvykle se nikdy nevyskytuje pouze jeden z těchto efektů izolovaně, ale vždy se jedná o kombinaci několika efektů.

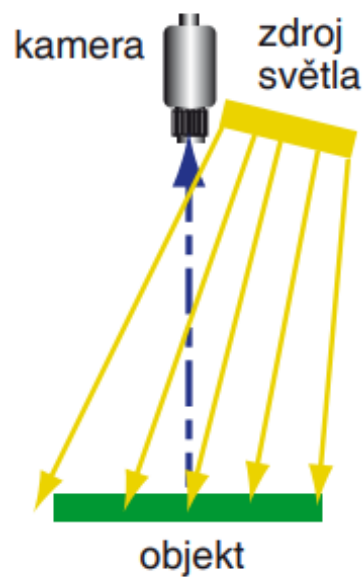


Obrázek 7 Interakce mezi elektromagnetickým zářením a objekty [7]

Potřeba osvětlení se může značně lišit v závislosti na použití, vzájemné interakci a okolním prostředí. Typ obrazu, který je vytvořen, je určen množstvím faktorů: světlem přicházejícím od zdroje, jeho interakcí s předmětem a vlastnostmi použitých kamer. V důsledku toho lze použít různé metody osvětlení a světelné zdroje, aby odpovídaly konkrétním potřebám.[7]

3.3.1 Plošná osvětlovací pole

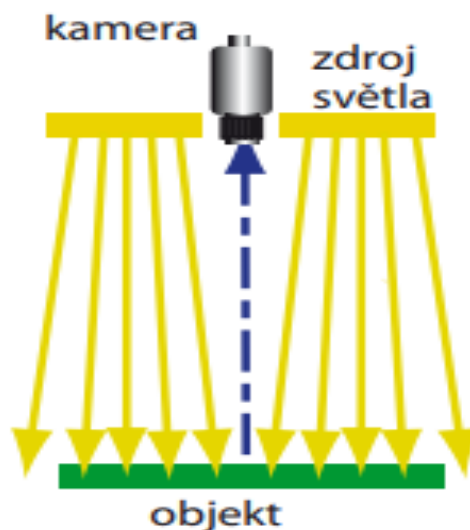
Plošná osvětlovací pole typicky emitují světlo s určitým směrem. Míra rozptýlení tohoto světla je určena úhlem, pod kterým LED diody vyzařují světlo. V případech, kdy nejsou vyžadovány vysoké náročnosti, mohou tyto osvětlovače sloužit jako ekonomická alternativa k dražším osvětlovacím systémům poskytujícím světlo s vysokou mírou rozptylu a jasně definovaným osvětleným prostorem. Běžně se využívají pro cílené osvětlení v aplikacích s tmavým zorným polem. Menší a specializované verze těchto panelů pak nacházejí uplatnění jako doplňkové osvětlení nebo jako části složitějších osvětlovacích systémů.



Obrázek 8 Plošná osvětlovací pole [8]

3.3.2 Kruhové osvětlovače

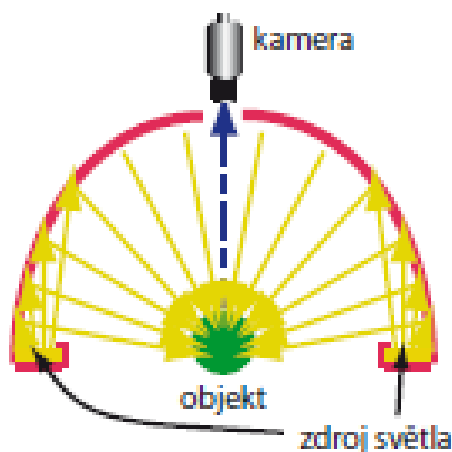
Kruhové osvětlovače produkují rozptýlené osvětlení, které vychází z oblasti kolem objektivu kamery. Toto zařízení je navrženo k poskytování světla pro scény s jasně viditelným a rozptýleným světelným efektem, ale jeho efektivita může být omezená, zejména v případě, kdy je použita zjednodušená verze s LED diodami ve tvaru kruhu umístěnými okolo objektivu.



Obrázek 9 Kruhový osvětlovač [8]

3.3.3 Kopulové osvětlovače

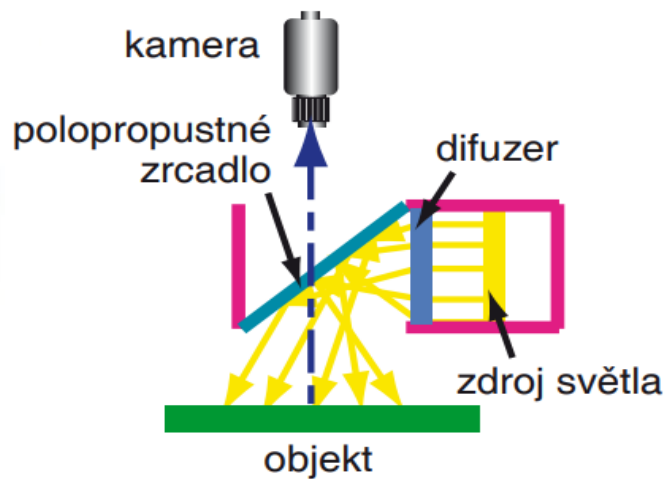
Kopulové osvětlovací systémy se využívají tam, kde je klíčové dosáhnout rozptýleného světla pro osvětlení objektu. Ideální použití je v situacích, kdy je nezbytné osvětlit povrchy tak, aby světlo bylo rozptýleno co nejvíce, jako je čtení textů na povrchu zvrásněné a lesklé fólie. Tento efekt rozptýlení je umožněn díky odrazu světla od vnitřní strany dómové konstrukce, která má tvar polokoule. V důsledku toho je toto osvětlení často popisováno jako "bezstínové", protože nevytváří ostré stíny na osvětlovaném objektu.



Obrázek 10 Kopulové osvětlení [8]

3.3.4 Osvětlovací systém DOAL

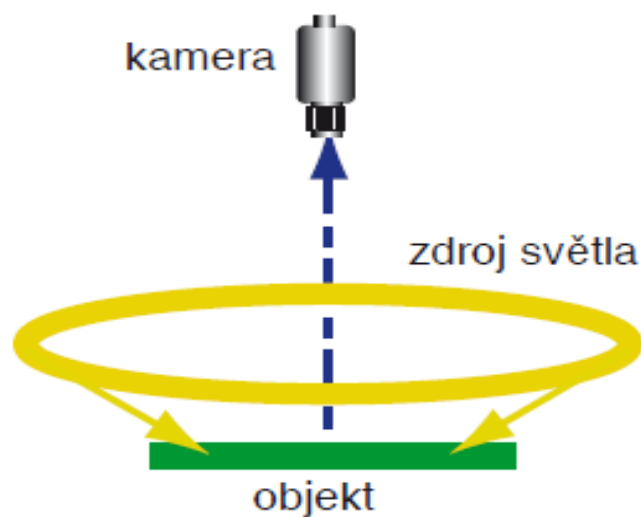
Osvětlovací systém DOAL (Diffused On Axis Lighting) poskytuje unikátní typ osvětlení, které vytváří jasné a rovnoměrně rozptýlené světelné pole. Využívá difuzor pro zajištění lepšího rozptylu světla. Speciální konstrukce s polopropustným zrcadlem umožňuje, aby světlo bylo distribuováno rovnoměrně z plochy umístěné nad objektem, včetně oblasti přímo před objektivem kamery. Tento systém však má nevýhody, jako je vyšší cena a omezení ve velikosti zorného pole.



Obrázek 11 Osvětlovací systém DOAL [8]

3.3.5 Osvětlovače dark-field

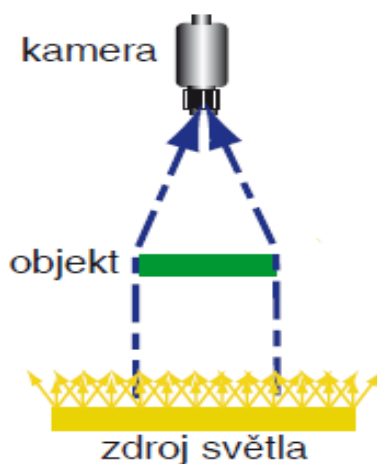
Tento typ osvětlování poskytuje efekt temného zorného pole tím, že směřuje světlo ve směru téměř kolmém k ose objektivu kamery. Dark-field osvětlení je ideální pro zvýraznění rytin, laserem vyrytých značek nebo nápisů. Pro tyto účely se osvětlovač dark-field typicky skládá z kruhového uspořádání LED diod s úzkým světelným kuželem, které osvětlují střed kruhu z téměř stejné roviny.



Obrázek 12 Osvětlovač dark-field [8]

3.3.6 Osvětlovače backlight

Rozptýlené zadní osvětlení, známé také jako backlight je často využívaná forma osvětlení pro zvýraznění obrysů měřených objektů. Toto osvětlení je ideální pro aplikace, kde je důležité identifikovat nebo určit polohu součástí umístěných v průhledných obalech, jako je například kontrola vlákna žárovky. Backlight osvětlovací systém se skládá z pole LED doplněných o velkoplošný rozptylovač (difuzor) pro zajištění rovnoměrného rozptýlení světla.[8]



Obrázek 13 Osvětlovač backlight[8]

3.4 Komunikační rozhraní

Komunikační rozhraní hraje v systémech strojového vidění klíčovou roli, protože umožňuje přenos dat mezi kamerou a zpracovatelským systémem. Zvolené rozhraní by mělo optimálně vyhovovat konkrétním požadavkům aplikace, jako jsou rychlost přenosu, vzdálenost, flexibilita a integrovatelnost do stávajících systémů.

Základní typy komunikačních rozhraní využívaných ve strojovém vidění zahrnují:

- Camera Link
- IEEE1394(FireWire)
- Gigabit Ethernet
- USB 3.0
- CoaXPress(CXP) [9, 10]

3.5 Software

Software slouží k řízení systémů strojového vidění a je zásadní pro aplikace průmyslového a výrobního charakteru. Zatímco počítačové vidění se primárně zaměřuje na zpracování obrazu pomocí počítače, strojové vidění často vyžaduje digitální vstupní/výstupní zařízení a počítačové sítě k řízení dalšího výrobního vybavení, jako jsou robotické paže.

Pracovní postup softwaru strojového vidění zpravidla zahrnuje několik kroků při zpracování obrazu. Obraz se nejprve upravuje tak, aby se snížil šum nebo převedly různé odstíny šedi na jednoduchou kombinaci černé a bílé. Poté software počítá, měří a/nebo identifikuje objekty, rozměry, vady nebo jiné charakteristiky v obraze. Nakonec software schválí nebo zamítne díl podle naprogramovaných kritérií. Pokud je díl zamítnut, software může spustit mechanické zařízení, které díl odmítne, nebo může zastavit výrobní linku a upozornit pracovníka na selhání.

Software strojového vidění obsahuje tři hlavní komponenty: algoritmy, vývojářské rozhraní (DI) a uživatelské rozhraní (UI). Algoritmy slouží k lokalizaci potřebných informací, jako jsou díly, měření, čtení čárových kódů a podobně. Vývojářské rozhraní specifikuje algoritmy a operace potřebné k řešení problému strojového vidění. Uživatelské rozhraní je to, co vidí uživatelé systému a obvykle je navrženo tak, aby bylo snadno použitelné i pro ty, kteří nejsou obeznámeni se softwarem strojového vidění. Někdy jsou DI a UI totožné, ale DI je často uzamčené, aby se chránily základní algoritmy před zásahy uživatele.[11]

3.6 Integrace komponentů

Vzhledem k tomu, že systémy strojového vidění často využívají různé komponenty dostupné na trhu, je nutné, aby tyto komponenty byly schopné rychle a snadno se koordinovat a propojovat s ostatními prvky stroje. To se obvykle realizuje buď pomocí diskrétních I/O signálů nebo dat odesílaných přes sériové připojení k zařízení, které informace zaznamenává nebo využívá. Diskrétní I/O body mohou být připojeny k programovatelnému logickému řadiči (PLC), který tyto informace využije k řízení pracovní buňky nebo indikátoru, jako je například signalizační sloup, nebo přímo k solenoidu, který může sloužit k aktivaci mechanismu pro odmítnutí nekvalitního kusu. Komunikace dat přes sériové připojení může probíhat formou konvenčního sériového výstupu RS-232 nebo Ethernetu.

Některé systémy používají vyšší průmyslový protokol, jako je Ethernet/IP, který může být připojen k zařízení, jako je monitor nebo jiné rozhraní operátora, aby poskytl specifické rozhraní operátora pro danou aplikaci, což umožňuje pohodlné sledování a řízení procesu.[1]

4 ZPRACOVÁNÍ OBRAZU

Digitální zpracování obrazů představuje soubor technik, které umožňují upravovat digitální snímky s využitím výpočetních algoritmů. Tento proces je klíčovým krokem pro přípravu dat v řadě technologických aplikací, včetně systémů pro rozpoznání tváří, identifikaci objektů a kompresi obrázků.

Účelem zpracování obrazů je buď zlepšení kvality existujících snímků nebo extrakce důležitých informací pro další využití.[12]

4.1 Typy Obrazu

Digitální fotografie jsou počítačem rozpoznávány jako dvourozměrné nebo třírozměrné pole, kde každá položka pole, nebo pixel, symbolizuje určitou úroveň jasu, označovanou jako „intenzita“ pixelu. Standardně se setkáváme s obrázky s 8 bity na pixel, což znamená, že intenzita každého pixelu může nabývat hodnot v rozmezí od 0 do 255.

Počítač tedy interpretuje digitální obrázky jako matematickou funkci: $I(x, y)$ pro 2D obraz nebo $I(x, y, z)$ pro 3D obraz, kde „ I “ vyjadřuje intenzitu pixelu a souřadnice (x, y) nebo (x, y, z) ukazují polohu pixelu v obrázku, a to v závislosti na tom, jestli se jedná o monochromatické/ v odstínech šedi či barevné RGB obrázky. [12]

4.1.1 Binární obraz

Binární obrázky jsou typy obrazových dat, které byly redukovány na pouze dvě možné hodnoty pixelů, obvykle reprezentované čísly 0 a 255, což odpovídá barvám černé a bílé. Tyto obrázky se vyznačují svou jednoduchostí zpracování díky omezené škále hodnot, což je činí vhodnými pro řadu aplikací. Přestože poskytují omezené množství informací o původním obrázku, najdou své uplatnění tam, kde je dostačující znát jen základní obrysy zobrazovaných objektů. Jsou obzvláště užitečné v situacích, kdy je možné získat jasně definovanou siluetu zobrazovaného předmětu, která nese všechny potřebné informace pro danou aplikaci.[13]



Obrázek 14 Barevný a binární obraz[12]

4.1.2 Šedotónový obraz

Obrázek ve stupních šedi obsahuje pouze odstíny šedi bez jakýchkoli dalších barev. Tato specifika umožňují, že každý pixel nese méně informací než v případě barevného obrázku.

V takovém obrázku představuje každý pixel hodnotu v rozmezí od 0 do 255, přičemž hodnota 0 značí „černou“ a 255 „bílou“. Odstíny šedi, které leží mezi těmito extrémy, zastupují různé intenzity šedé barvy tedy čím je hodnota blíže k nule, tím je odstín tmavší, a naopak, čím je hodnota blíže k 255, tím je odstín světlejší.[14]



Obrázek 15 Barevný a šedotónový obraz[15]

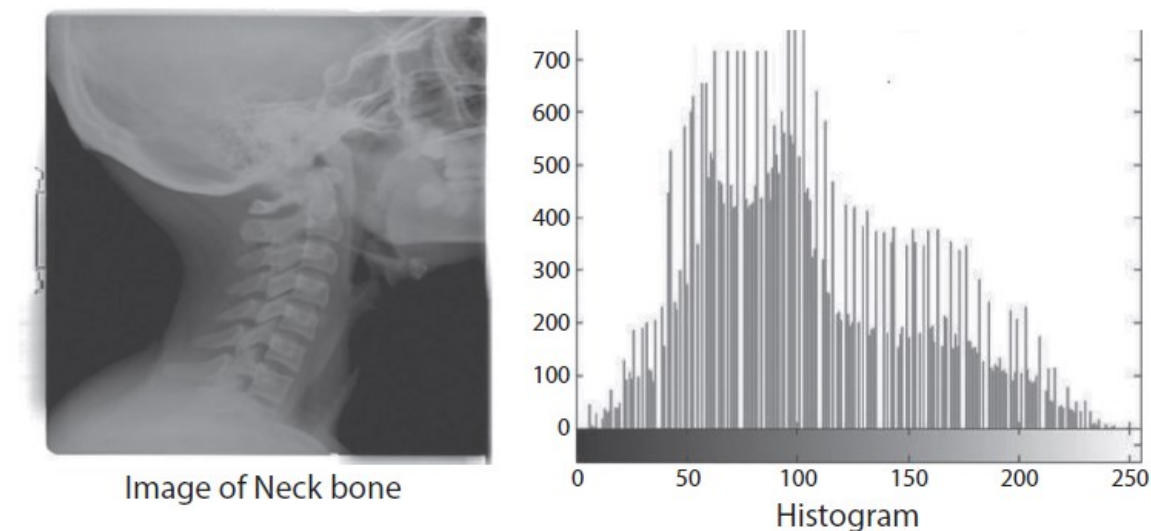
4.1.3 RGB obraz

V obrázku využívajícím RGB model se pixel objeví v černé, pokud má hodnotu (0, 0, 0), a v bílé, pokud je jeho hodnota (255, 255, 255). Veškeré ostatní možné kombinace číselného rozmezí mezi těmito dvěma extrémy generují širokou škálu barev, které můžeme v přírodě nalézt. Příkladem může být hodnota (255, 0, 0), která definuje červenou barvu, jelikož je aktivní pouze červený kanál daného pixelu. Stejně tak hodnota (0, 255, 0) reprezentuje zelenou a (0, 0, 255) modrou barvu.[12]

4.2 Histogram

Obrázek je sestaven z jednotlivých bodů zvaných pixely, které jsou uspořádány do mřížky. Každý pixel může nabývat odlišné barvy, přičemž pro černobílý obrázek je odstín reprezentována číslem mezi 0 a 255.

Chceme-li zobrazit rozdělení intenzit v obrázku, můžeme použít histogram. Histogram nám ukáže přehledný sloupcový graf, kde každý sloupec odpovídá počtu pixelů s konkrétní intenzitou. Výšky sloupců nám umožní snadno rozlišit, které odstíny jsou v obrázku nejvíce zastoupené. Tato forma grafického zobrazení nám poskytuje důležité informace o barevné skladbě a rozložení pixelů v obrázku.[16]



Obrázek 16 Histogram obrázku [1]

4.3 Filtrace obrazu

Filtrace obrazu je proces zlepšení nebo úpravy obrazu použitím určitého algoritmu nebo sérií matematických postupů aplikovaných na pixely obrazu. Účelem tohoto procesu je upravit obraz tak, aby bylo snazší rozlišit specifické charakteristiky, což pomáhá buď v extrakci důležitých informací, nebo v celkovém zlepšení kvality obrazu.

Provedení filtru na obrazu se obvykle dosahuje pomocí malé matice, známé jako jádro filtru (kernel), která se posouvá napříč obrazem. V každém bodu se hodnoty pixelů pod kernelem vynásobí s hodnotami kernelu, a takto získané výsledky se poté sloučí, aby se vytvořila nová hodnota pro pixel uprostřed. Jak vlastnosti kernelu, tak jeho velikost a specifické hodnoty určují efekt filtrace.[17]

4.3.1 Box filtr

Box filtr funguje jako filtr typu dolní propust', který obraz vyhlazuje tak, že vypočítá průměr hodnot pixelů v jeho okolí pro každý výstupní pixel. Tím se z obrazů odstraní drobné detaily, šum a ostře definované hrany.[18]



Obrázek 17 Aplikace box filtru na obrázek[18]

4.3.2 Bilaterální filtr

Bilaterální filtr je typ nelineárního filtru, který se využívá pro zachování hran při vyhlazování šumu v obrazu, typický pro aplikace v počítačovém vidění. Jeho princip spočívá v tom, že intenzita každého pixelu na výstupu se určuje jako vážený průměr intenzit okolních pixelů z původního obrazu. Přitom důležitým aspektem je, že váhy pro výpočet průměru nejsou stanoveny jen na základě prostorové blízkosti (Euklidovská vzdálenost) mezi pixely, ale také berou v úvahu rozdíly ve vlastnostech pixelů, jako jsou odlišnosti v intenzitě barev. Díky

této metodě filtr dokáže efektivně vyhladit oblasti s uniformní barvou, zatímco ostře definované hrany v obraze jsou uchovány.[19]



Obrázek 18 Aplikace bilaterálního filtru na obrázek[19]

4.3.3 Gaussovský filtr

Gaussovský filtr je typ hladicího filtru pracujícího na principu filtru typu dolní propust, který uplatňuje princip váženého průměru. Pro každý pixel vstupního obrazu používá hodnoty jeho okolních pixelů, přičemž váhy jsou určeny Gaussovou funkcí. Tento způsob vyhlazování způsobuje, že výsledný obraz je hladší a obsahuje méně náhodných odchylek, což znamená, že přechody mezi sousedními pixely jsou plynulejší a méně rušivé, než obraz zpracovaný pomocí boxového filtru. Přestože může být výpočet Gaussovského filtru náročnější, výsledky bývají esteticky příjemnější.[20]



Obrázek 19 Aplikace Gaussovského filtru na obrázek[20]

4.4 Segmentace obrazu

Segmentace obrazu je proces rozdělení obrazu na části, které odpovídají objektům nebo oblastem v reálném světě. Existují dva hlavní typy segmentace: úplná, kde každý segment přesně odpovídá jednomu objektu na obrázku, a částečná, kde segmenty odpovídají určitým vlastnostem, jako je barva nebo textura, ale ne nutně jednotlivým objektům. Úplná segmentace často vyžaduje spolupráci s dalšími úrovněmi zpracování a specifické znalosti, zatímco částečná segmentace se může obejít s méně komplexními technikami a je vhodná pro zpracování obrazů s výraznými objekty na jednoduchém pozadí.

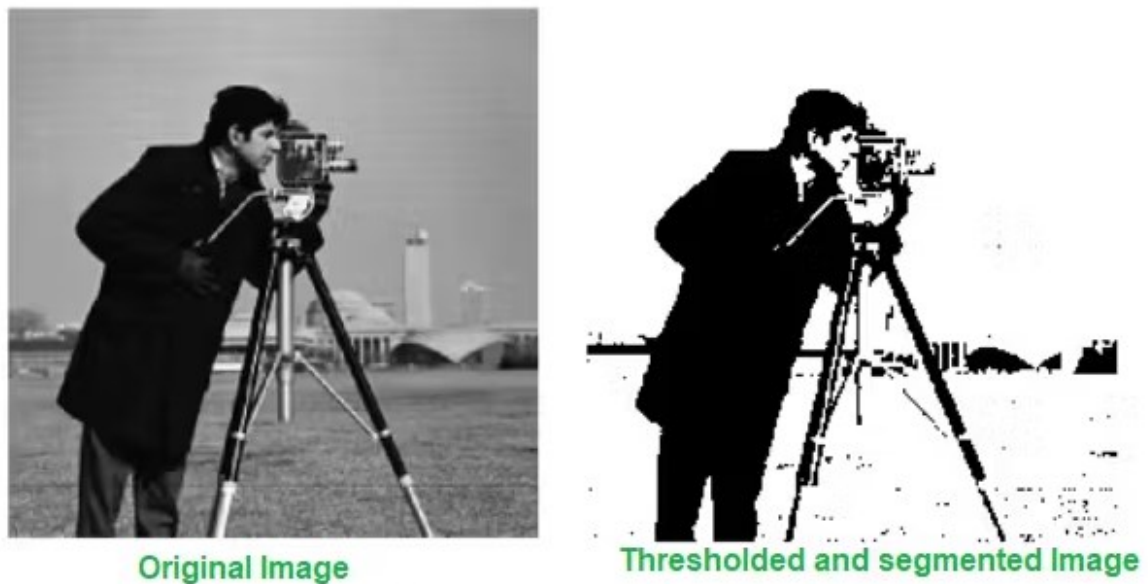
Segmentaci komplikuje nejednoznačnost obrazových dat a šum. Metody segmentace se dělí do tří skupin: metody založené na globálních znalostech (např. histogramy vlastností), metody založené na detekci hran a metody založené na rozpoznávání oblastí. Každá z těchto skupin řeší segmentaci jinak, přičemž kombinace výsledků z různých přístupů může poskytnout komplexnější popis obrazu. V praxi je často cílem dosáhnout částečné segmentace jako předkroku k dalšímu zpracování, které využívá informace z vyšších úrovní analýzy.[21]

4.4.1 Prahování

Metoda prahování obrazu umožňuje rozčlenit obraz do několika segmentů podle úrovně intenzity, což usnadňuje analýzu a získávání žádaných informací z obrazu. Stanovením prahu je možné pixely s intenzitou nad nebo pod tímto prahem zařadit do příslušných kategorií, což je užitečné pro identifikaci objektů, jejich segmentaci nebo zlepšení kvality obrazu.

Technika prahování převádí šedotónové obrázky na binární, kde každý pixel získá hodnotu černé nebo bílé v závislosti na tom, jestli jeho intenzita překročí stanovený práh. Díky tomu se obraz zjednoduší na pouze dvě úrovně jasu, což výrazně usnadňuje detekci a oddělení zájmových objektů. Převod na binární formát obrazu zefektivňuje jeho další zpracování a analýzu, což nachází uplatnění v řadě aplikací v oblasti počítačového vidění, včetně detekce hran a rozpoznávání vzorů.

V algoritmickém zpracování obrazu se běžně využívá klasifikace pixelů na základě jejich intenzity ve srovnání s určitou prahovou hodnotou. Nastavením této hodnoty se pixely s vyšší intenzitou automaticky zařadí do kategorie "bílá", zatímco ty s nižší intenzitou do kategorie "černá". Tento postup je základem pro techniky zdokonalení obrazu, které usnadňují extrakci klíčových informací z obrazu pro jeho další analýzu.[22]



Obrázek 20 Prahování obrázku[22]

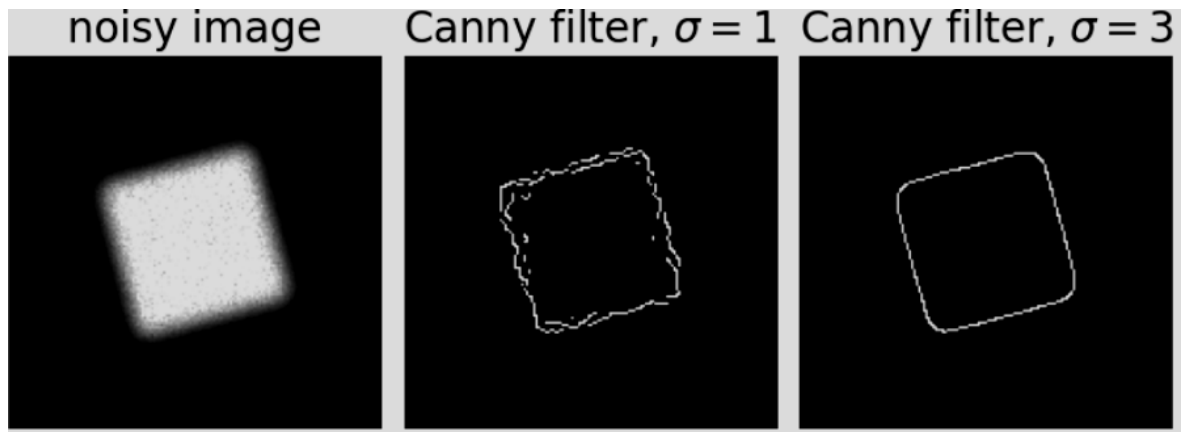
4.4.2 Detekce hran

Detekce hran je postup určený k rozpoznání okrajů objektů na fotografii nebo v digitálním obrázku. Hranu lze charakterizovat jako místo, kde dochází k náhlé změně světlosti nebo barvy pixelů.

Pro tento účel bylo vyvinuto několik metod. Jednou z nejpoužívanějších je Cannyho detektor hran, který je pokročilou technikou detekce hran. Další algoritmy pro detekci hran zahrnují Sobelův filtr, Fuzzy logiku atd.[23]

4.4.2.1 Cannyho detekce hran

Cannyho filtr je vícefázový detektor hran. Využívá filtr založený na derivaci Gaussovy funkce pro výpočet intenzity gradientů. Gaussův filtr pomáhá redukovat šum v obraze. Následně se potenciální hrany zužují na tenké linie o šířce jednoho pixelu tím, že se odstraní pixely, které nemají maximální hodnotu gradientu. V posledním kroku se rozhoduje o tom, které pixely hran zůstanou a které budou odstraněny, a to na základě hysterezního prahování, aplikovaného na intenzitu gradientů.[23, 24]



Obrázek 21 Cannyho detekce hran [24]

4.5 Detekce objektu

Detekce objektů představuje metodu v rámci oboru počítačového vidění zaměřenou na rozpoznávání objektů v obrazech či videozáznamech. Tento proces je fundamentálním produktem aplikace algoritmů z oblasti deep learningu a machine learningu. Při pohledu na fotografii nebo při sledování videa jsou lidé schopni intuitivně identifikovat osoby, objekty, scény a jednotlivé vizuální elementy. Ambicí je umožnit počítači vyvinout schopnost, která je pro člověka přirozená: dosáhnout stupně pochopení obsahu zobrazovaného obrázku.

Základní přístupy k rozpoznávání objektů:

Porovnávání šablon – které využívá malý obrázek nebo šablonu k nalezení odpovídajících oblastí na větším obrázku.

Segmentace obrazu a analýza blobů – které využívají jednoduché vlastnosti objektů, jako jsou velikost, barva nebo tvar. [25]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 KATALOG DEFEKTŮ NA STABILIZÁTORECH

Vady na stabilizátoru mohou mít vážné následky pro jízdní vlastnosti vozidla a bezpečnost cestujících. Mezi tyto vady patří fyzické poškození, jako jsou koroze, trhliny a mnoho dalších.

Tato práce se zaměřuje pouze na detekci vad na zploštěné části stabilizátoru, které primárně vznikají v procesu lisování a lakování. Vady, které se mohou na zploštělé části vyskytnout jsou:

- **Pozice díry – vyosení**



Obrázek 22 Vyosená pozice díry

- **Defekt v díře**



Obrázek 23 Defekt v díře

- Defekt na ploše lisovaného konce stabilizátoru



Obrázek 24 Defekt na ploše lisovaného konce stabilizátoru

- Tvar stříhu konce stabilizátoru



Obrázek 25 Defekt tvaru konce stabilizátoru

Katalog byl vytvořen ze snímků poskytnutých firmou Mubea a hrál zásadní roli při návrhu systému, kde snímky byly použity jako zdroj obrazových dat pro předpřipravení programu na detekci vad. Katalog je dostupný v příloze diplomové práce P II: Katalog vad.

6 NÁVRCH SYSTÉMU DETEKCE VAD NA STABILIZÁTORU

Návrh kamerové detekce vad je komplexní úkol, který vyžaduje pečlivý výběr technologických komponent a softwaru. Pro úspěšné navržení systému detekce vad je nezbytné mít k dispozici kvalitní kameru, která dokáže zachytit detailní obraz zploštělé části stabilizátoru. Důležité je rovněž použít efektivního osvětlení, které zabezpečí jasné a kontrastní obrazy bez rušivých stínů. V rámci softwarových komponent je potřebný program pro zpracování obrazu, který identifikuje typické vady. Nakonec je nutno zajistit komunikační rozhraní mezi kamerou a daným kontrolérem kamery a ovládacím systémem robotické buňky.

6.1 Kamera CA-H048MX

Model kamery CA-H048MX od společnosti Keyence patří do řady vysoce kvalitních průmyslových kamer, které jsou specificky vyvinuty pro aplikace s požadavky na rychlost a adekvátní rozlišení. Díky těmto vlastnostem je tento model ideální pro použití v náročných průmyslových aplikacích, jako jsou výrobní linky nebo systémy pro kontrolu kvality.

Tato konkrétní kamera byla poskytnuta společností Mubea, která používá produkty od společnosti Keyence pro své průmyslové potřeby a měla tento model k dispozici na skladě.

Hlavní charakteristiky kamery:

- **Senzor:** Obsahuje černobílý CMOS senzor s rychlostí čtení až 16× základní rychlosti, mající velikost pixelů 4,8 μm x 4,8 μm .
- **Rozlišení:** Nabízí variabilní rozlišení, s možnostmi 0,47 megapixelu (784×596), 0,31 megapixelu (640×480), a 0,24 megapixelu (512×480).
- **Velikost senzoru:** Senzor je rozměrově ekvivalentní 1/3 palce.
- **Progresivní skenování:** Umožňuje získávání jasných a kontinuálních obrazů s rychlými skenovacími časy mezi 1,7 ms a 2,9 ms v závislosti na nastavení rozlišení.
- **Přenosová frekvence pixelů:** Má vysokou přenosovou frekvenci 195 MHz, což umožňuje rychlé zpracování dat.
- **Elektronická závěrka:** Poskytuje flexibilní nastavení expozice od 0,022 ms do 1000 ms, přizpůsobitelné pro různé osvětlení a pohybové situace.
- **Objektiv:** Kompatibilní s C-mount objektivy, což umožňuje flexibilitu ve výběru objektivu podle potřeb aplikace.
- **Odolnost:** Navržena pro použití v prostředí s teplotami od 0 do +40 °C a vlhkostí 35 až 85 %, což zaručuje její odolnost v náročných podmínkách.

- **Hmotnost:** Váží přibližně 190 g (bez objektivu).
- **Systém přenosu:** Digitální sériový přenos. [26]



Obrázek 26 Model kamery Keyence CA-H048MX[26]

6.1.1 Objektiv ke kameře model CA-LHR8

Ke kameře byl vybrán objektiv, který má nízké zkreslení a velmi vysoké rozlišení.

Hlavní specifikace a vlastnosti objektivu CA-LHR8:

- **Ohnisková vzdálenost:** Objektiv má ohniskovou vzdálenost 8,5mm.
- **Clonové číslo:** Clona objektivu může být nastavena od F1.8 až do F16.
- **Minimální pracovní vzdálenost:** Objektiv umožňuje zaostření, již od vzdálenosti 0,1m.
- **Typ uchycení:** C-mount
- **Hmotnost:** Přibližně 115 g [27]



Obrázek 27 Objektiv CA-LHR8 [27]

6.2 Osvětlení

Pro osvětlení byly vybrány modely CA-DSW15 a CA-DRW10X od společnosti Keyence. Jsou to vysoce kvalitní průmyslové světelné zdroje, které jsou speciálně navrženy pro použití ve vizuální inspekci a automatizaci.

6.2.1 Zadní bílé podsvícení CA-DSW15

Jako backlight osvětlení je tento typ ideální pro vytvoření ostrého kontrastu mezi objektem a jeho pozadím. To umožňuje jednodušší detekci a měření obrysů zploštělé plochy stabilizátoru.

Parametry modelu CA-DSW15:

- **Typ:** Podsvícení
- **Barva LED:** Bílá
- **Spotřeba energie:** 27,4W
- **Vstupní napětí:** 12 V DC
- **Hmotnost:** Přibližně 320g [28]



Obrázek 28 Bílé LED podsvícení CA-DSW15 [28]

6.2.2 Přední kruhové osvětlení CA-DRW10X

Model CA-DRW10X je vysoce výkonné průmyslové osvětlení, které využívá technologii LumiTrax™ pro poskytování intenzivního bílého světla. Toto osvětlení je navrženo tak, aby zlepšilo vizuální inspekci tím, že poskytuje vynikající kontrast a ostrost obrazu, což je klíčové pro detekci povrchových vad, které se mohou vyskytnout na ploše stabilizátoru.

Parametry modelu CA-DRW10X:

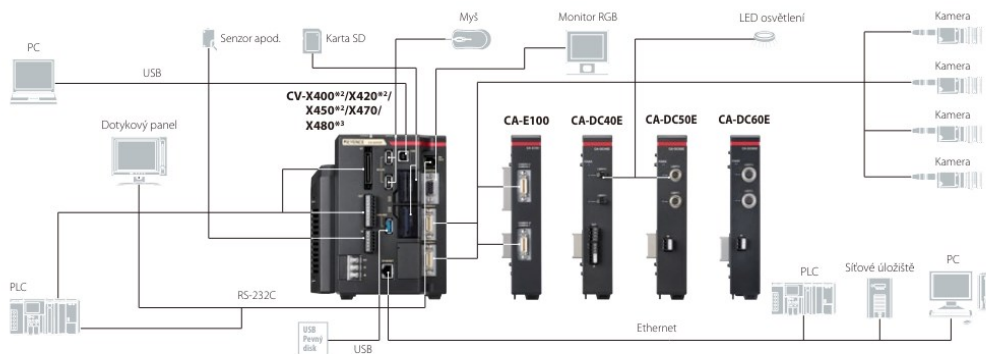
- **Typ:** Vysoce intenzivní světlo LumiTrax™
- **Barva LED:** Bílá
- **Spotřeba energie:** 40,5 W
- **Hmotnost:** Přibližně 240 g [29]



Obrázek 29 Model osvětlení CA-DRW10X [29]

6.3 Kontrolér CV-X400F

Tento model je speciálně navržen pro použití s kamerami o rozlišení 0,47 Mp, což je ideální pro kameru, která byla vybrána pro systém detekování vad na stabilizátorech. Kontrolér CV-X400F funguje v podstatě jako počítač, který obsahuje nezbytný hardware a software pro správnou funkci. Součástí softwaru tohoto kontroléru jsou všechny potřebné nástroje pro zpracování obrazu, správu kamery a komunikaci. Pro řízení osvětlení je nutné připojit specifické periferie, které mohou ovládat jak standardní, tak speciální osvětlení s funkcí LumiTrax™.[30]



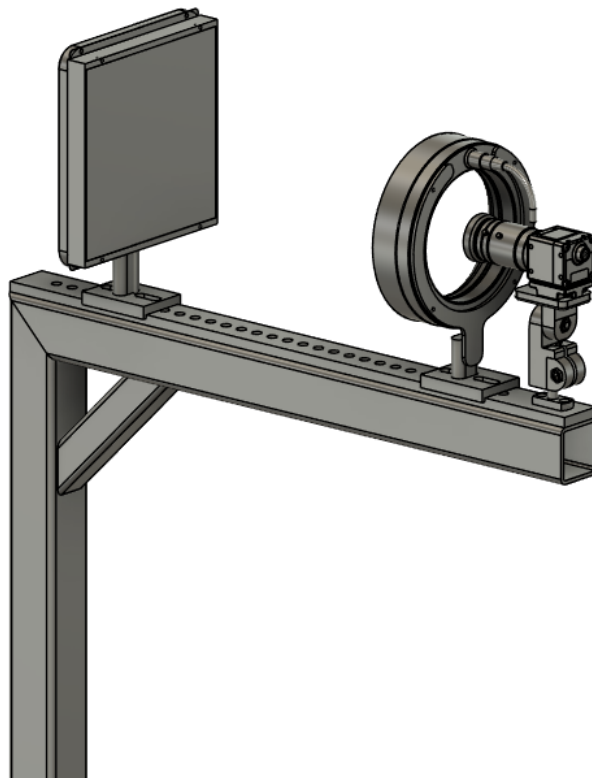
Obrázek 30 Možnost konfigurace systému řady CV-X400 [30]



Obrázek 31 Rozšiřující jednotky pro ovládání osvětlení [30]

6.4 Výsledný kamerový systém

Výsledný systém byl navržen tak, aby robot mohl nastavit stabilizátor pro pořízení snímku jeho vnitřní strany zploštělého konce. Toho dosáhne tak, že robot umístí stabilizátor mezi zadním a předním osvětlením s kamerou.

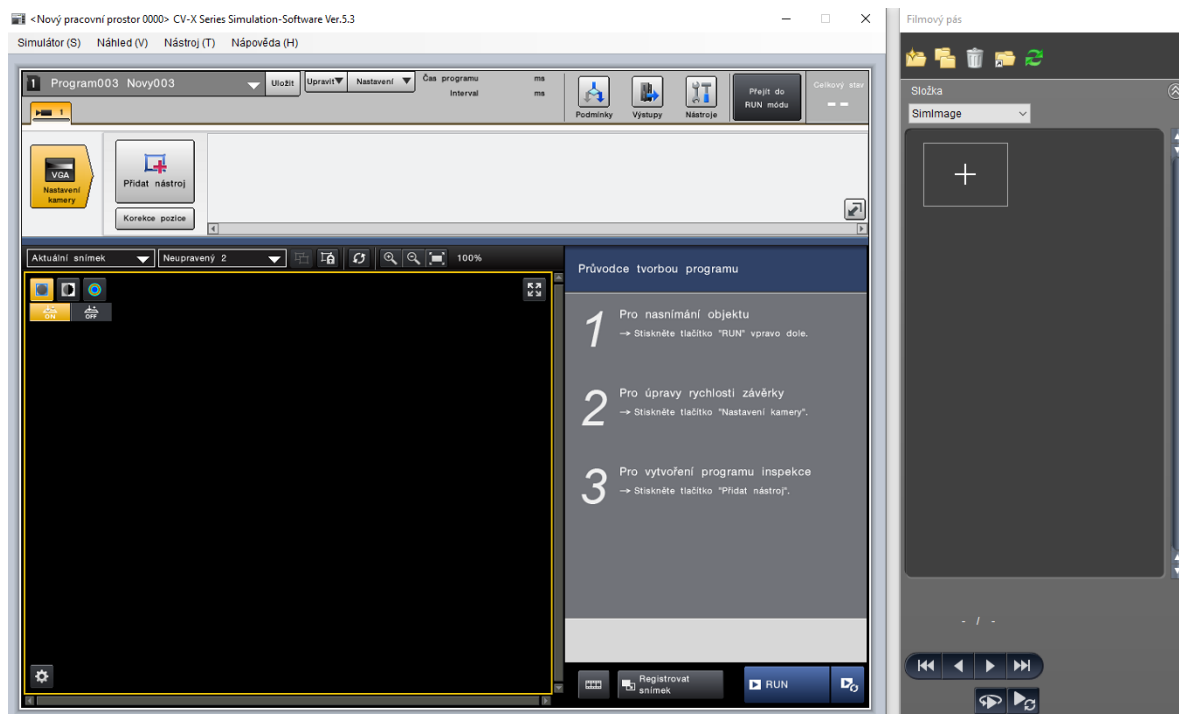


Obrázek 32 Výsledný návrh kamerového systému

6.5 Program pro vyhodnocování defektů

Jak bylo uvedeno výše, daný kontrolér obsahuje software pro nastavení kamery a prostředky pro detekci vad, ale je možné si stáhnout a předpřipravit program pomocí simulačního softwaru CV-X series. Tento software poskytuje uživatelům prostředí pro simulaci a testování různých konfigurací a scénářů před jejich implementací v reálném světě.

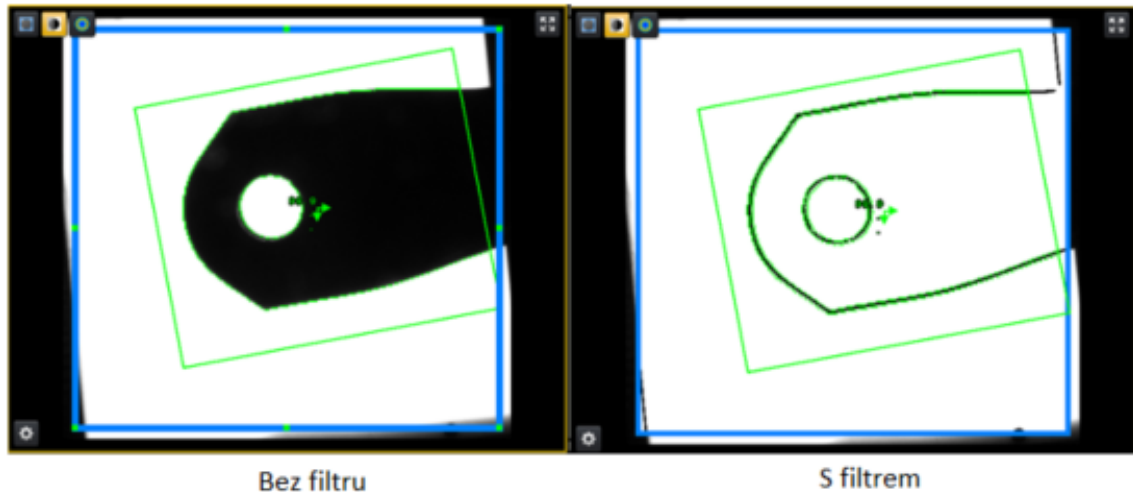
Uživatel může využít simulace pro ověření správnosti nastavení parametrů kamery, algoritmů zpracování obrazu a detekce objektů. Díky této možnosti mohou uživatelé optimalizovat výkon svých systémů a minimalizovat chyby a nepřesnosti. Nevýhodou je, že některé funkce jsou použitelné pouze při použití reálné kamery.



Obrázek 33 Simulační software

6.5.1 Korekce pozice nástroje

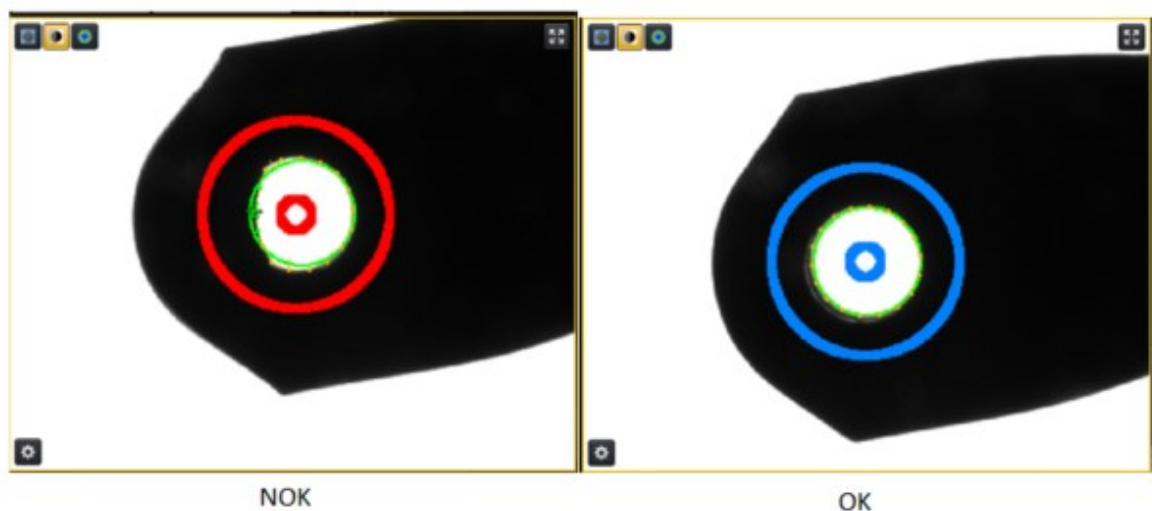
Aby se mohly ostatní nástroje používat pro detekci nebo měření vad, je nutné nejprve zaregistrovat obraz pomocí nástroje korekce pozice. Pomocí tohoto obrazu se budou následně odvíjet kontrolní umístění části, kde má daný nástroj hledat defekty nebo měřit rozměry. Korekce může být nastavena pomocí nástroje 'Poloha shodného vzoru (obrys)'. Pro vylepšení obrazu a lepší detekci je možné použít různé filtry.



Obrázek 34 Nástroj pro detekci obrysu

6.5.2 Detekce vady v díře stabilizátoru

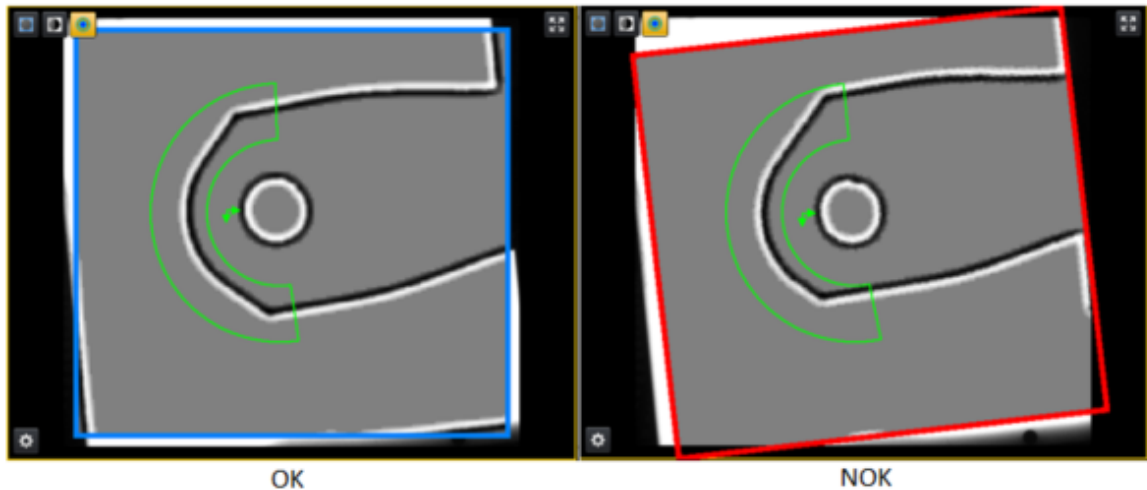
Pro detekci vady v díře stabilizátoru je použit nástroj 'Vada na kružnici'. Tento nástroj slouží k identifikaci a kontrole vad na kruhových komponentách porovnáním s referenčním profilem. Jakmile se nějaká část odchýlí od reference, je detekována jako chyba.



Obrázek 35 Nástroj pro detekci vad v díře stabilizátoru

6.5.3 Detekce vady zploštělého konce stabilizátoru

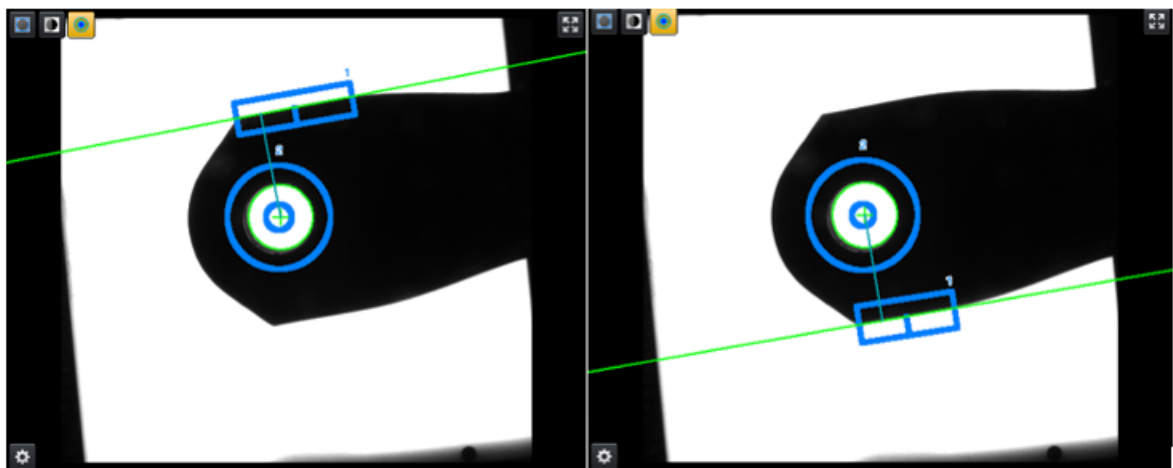
Pro kontrolu zploštělého konce stabilizátoru byl použit nástroj 'PatterTrax'. Tento nástroj vyhledává podobné části s změnami tónů kolem profilu vzoru u registrovaného obrazu.



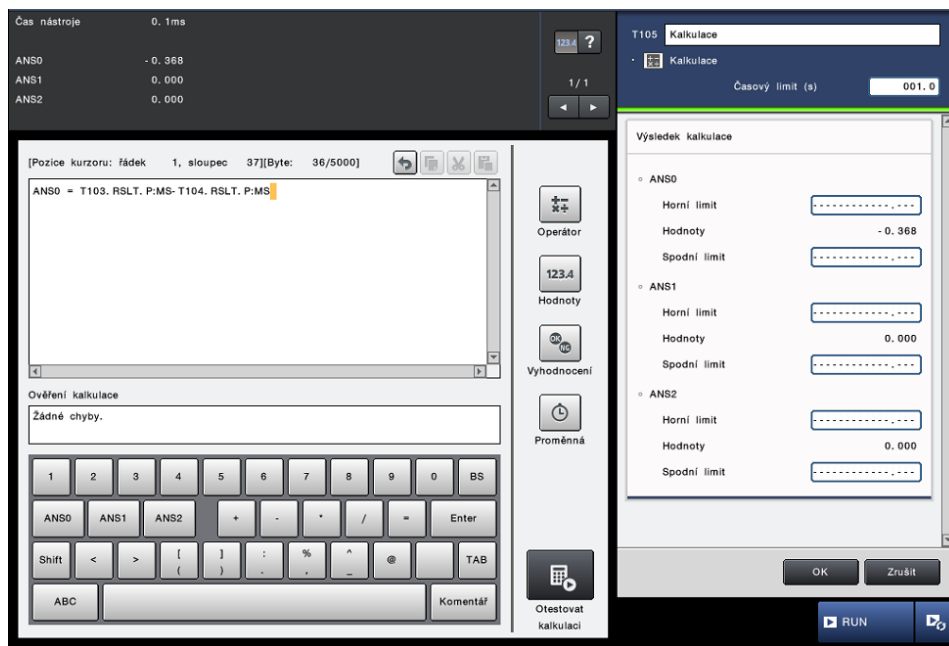
Obrázek 36 Nástroj PattenTrax

6.5.4 Měření pozice díry

Pro zjištění pozice díry na stabilizátoru je využit nástroj 'Vzdálenost přímka-kružnice'. Tento nástroj měří kolmou vzdálenost od středu kružnice k přímce. Tuto operaci je nutné provést zvlášť pro každou boční hranu stabilizátoru. Následný výpočet pozice díry se provede pomocí nástroje 'Matematické operace'. Výsledný výpočet je uveden v pixelech. Pro převedení na metrické jednotky je nutné nastavit škálování.



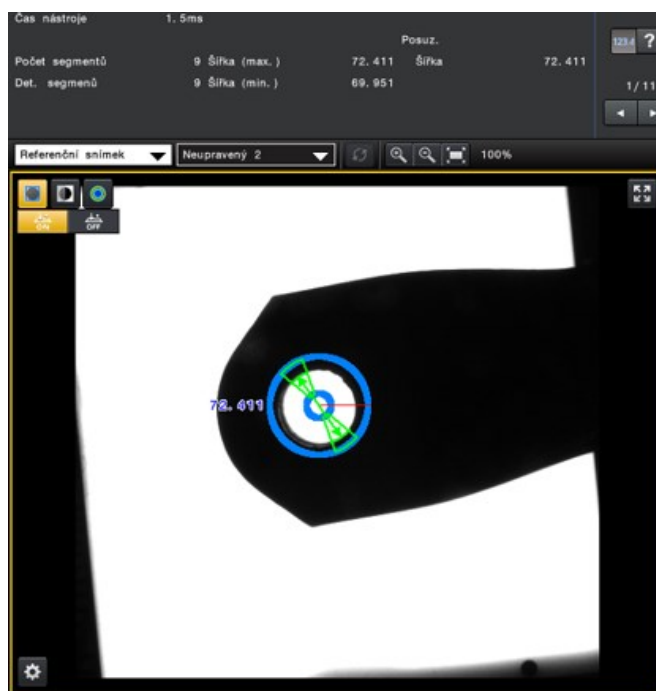
Obrázek 37 Měření pozice díry na stabilizátoru



Obrázek 38 Výpočet pozice pomocí Matematické operace

6.5.5 Měření rozměru díry na stabilizátoru

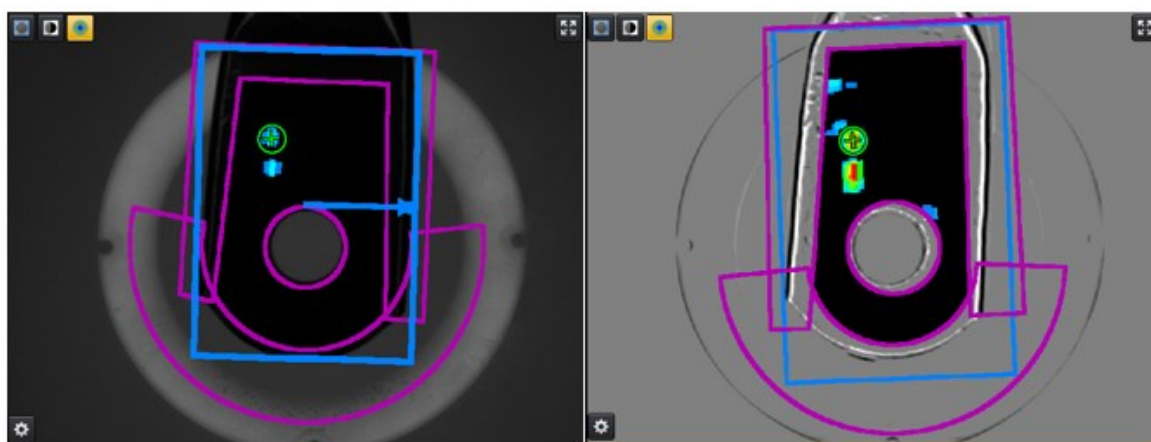
Pro zjištění rozměru díry na stabilizátoru je použit nástroj 'Průměr (max/min)'. Tento nástroj měří průměr detekované kružnice po identifikaci všech obvodových hran, čímž určí maximální a minimální průměr kružnice v pixelech. Pro převedení těchto hodnot na jiné měřicí jednotky je nutné použít škálování.



Obrázek 39 Měření rozměru díry stabilizátoru

6.5.6 Detekce vad na ploše stabilizátoru

Pro detekci vad na ploše stabilizátoru byl zvolen nástroj 'Celková plocha všech vad'. Tento nástroj rozpoznává jako vadu ty části, u kterých je rozdíl intenzity roven nebo vyšší než nastavená hladina, a vypisuje jejich celkovou velikost v inspekční oblasti. Pro zvýraznění vad na obrazu je vhodné použít filtry. Nastavení filtrů lze provést ručně nebo pomocí chytrého osvětlení LumiTrax™, které nastaví vhodné filtry pro detekci vad na ploše. Nakonec je nutné použít masky na zamaskování oblastí, kde algoritmus vyhledává chyby, jelikož by dané hrany algoritmus detekoval jako vady.



Ručně nastavený filtr

Obraz nastavený pomocí LumiTrax

Obrázek 40 Detekce vady na ploše stabilizátoru

7 INTEGRACE DO ROBOTICKÉ BUŇKY

Výsledný reálný kamerový systém:



Obrázek 41 Reálná měřicí soustava

Důležité bylo nastavit pozici robota pomocí teach pendentu, tak aby snímaný konec stabilizátoru byl kolmý ke kameře. Dále se v softwaru nastavila kamera s osvětlením a bylo nutné seřídít objektiv na kameře.



Obrázek 42 Nastavení objektivu

Dále se program přenastavil na aktuální typ stabilizátoru. To zahrnovalo nastavení nových referenčních snímků a aktualizaci pozic jednotlivých nástrojů. Aby kontrolér kamery mohl zasílat data je nutné nastavit správnou IP adresu systému a výstupy jednotlivých nástrojů přes ethernet. Pro ověření funkčnosti programu byly na stabilizátory nalepeny nálepky, které simulovaly vady. Tento postup byl zvolen, protože ve stabilizátorech určených k testování byl identifikován pouze jeden stabilizátor s vadou. K ověření opakovatelnosti měření byly použity nálepky, aby bylo možné simulovat více vad.



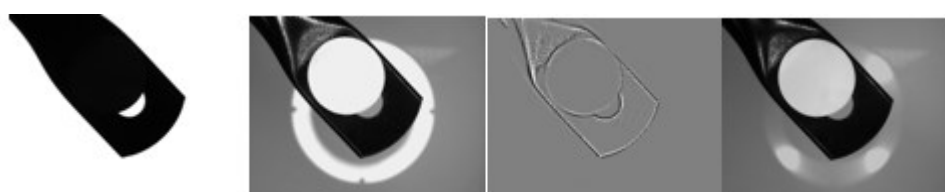
Obrázek 43 Nálepka na stabilizátoru

Celý systém funguje tak, že pomocí dopravníku se stabilizátor dopraví k robotu. Robot jej uchopí gripperem a umístí jednu vnitřní stranu zploštělé části stabilizátoru kolmo ke kameře pro pořízení snímku. Pokud se neobjeví žádná vada, stabilizátor postoupí k laserování. Po dokončení laserování jedné strany robot opět uchopí stabilizátor a nastaví druhou vnitřní stranu ke kameře. Pokud ani nyní nedojde k zjištění chyby, stabilizátor pokračuje dál v robotické lince. V případě zjištění chyby robot stabilizátor odloží na určené místo.

Celkem je tedy během jednoho cyklu pořízeno osm snímků.

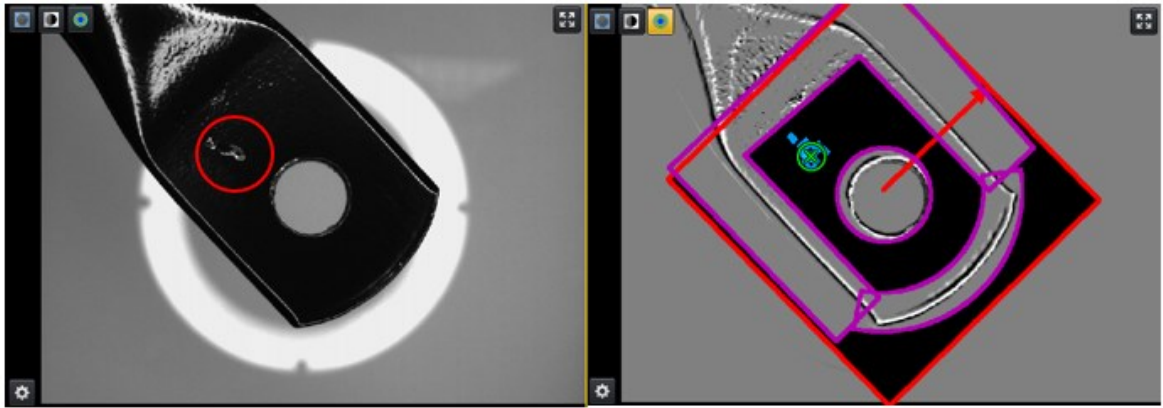


Obrázek 44 OK první vnitřní strana stabilizátoru

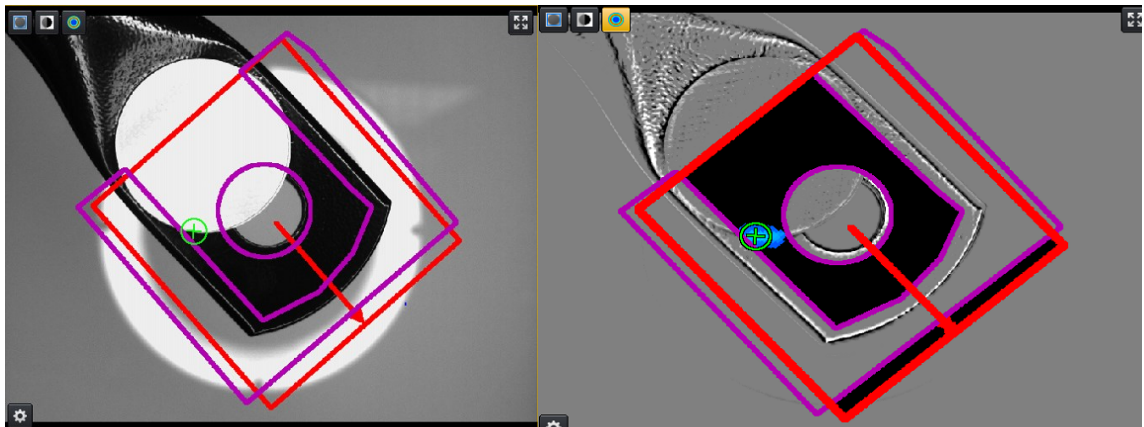


Obrázek 45 Simulovaná vada na druhé vnitřní straně stabilizátoru

Pro odhalení chyb na stabilizátoru bylo použito mnoho nástrojů jako například detekci vady na ploše pomocí předního osvětlení:



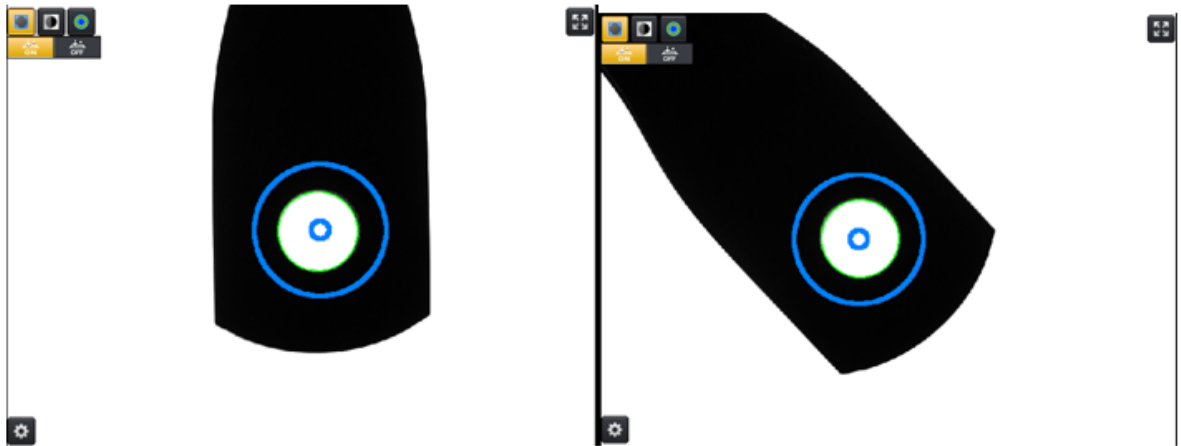
Obrázek 46 Ukázka detekování reálné vady na ploše stabilizátoru



Obrázek 47 Ukázka detekování simulované vady na ploše

Lze pozorovat, že systém přesně detekoval reálnou vadu i simulovanou vadu, která způsobila hranu na ploše.

Také bylo možné pomocí samolepky simulovat vadu v díře stabilizátoru:



Obrázek 48 OK kusy



Obrázek 49 Ukázka detekování vady díry stabilizátoru

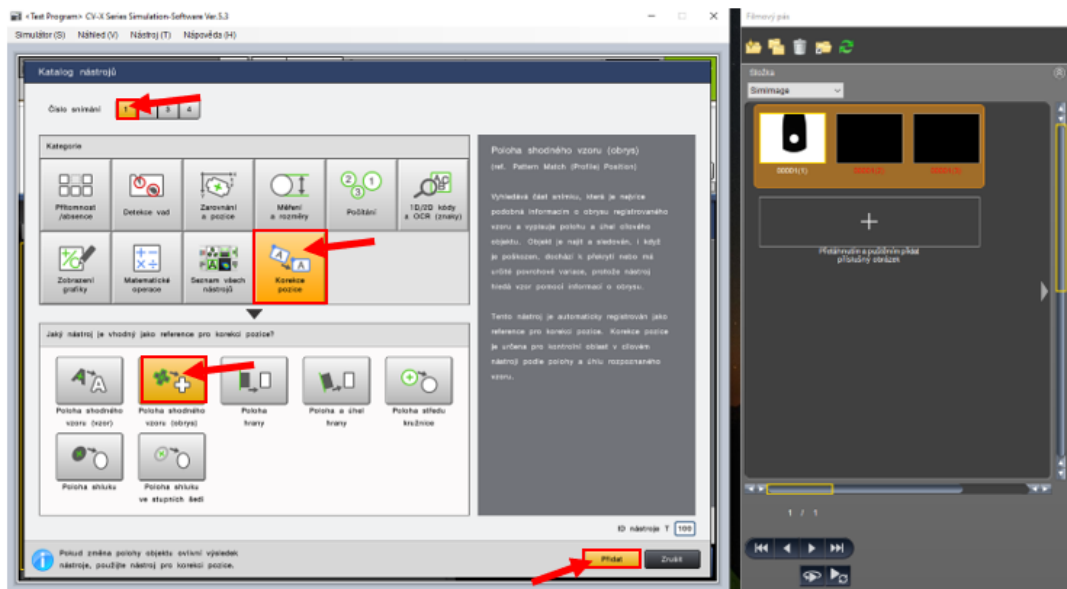
Pomocí nálepky bylo tedy možné simulovat vady v díře stabilizátoru. Nálepka překrývala část díry, což systém detekoval jako vadu. Tím došlo ke změně průměru díry a její pozice, což zaznamenaly další nástroje.

Celkově bylo k dispozici 10 kusů stabilizátoru, které se nechaly projet robotickou buňkou celkem třikrát. Nálepky byly nalepeny na několika kusech. Výsledky ukázaly, že kamerový systém dokázal rozpoznat vady a pomocí robota byl vadný kus odložen na stanovené místo v robotické buňce.

Systém prokázal vysokou míru konzistence, neboť při stejném stabilizátoru, ať už byl OK nebo NOK, byly během tří opakování testování pokaždé získány stejné výsledky.

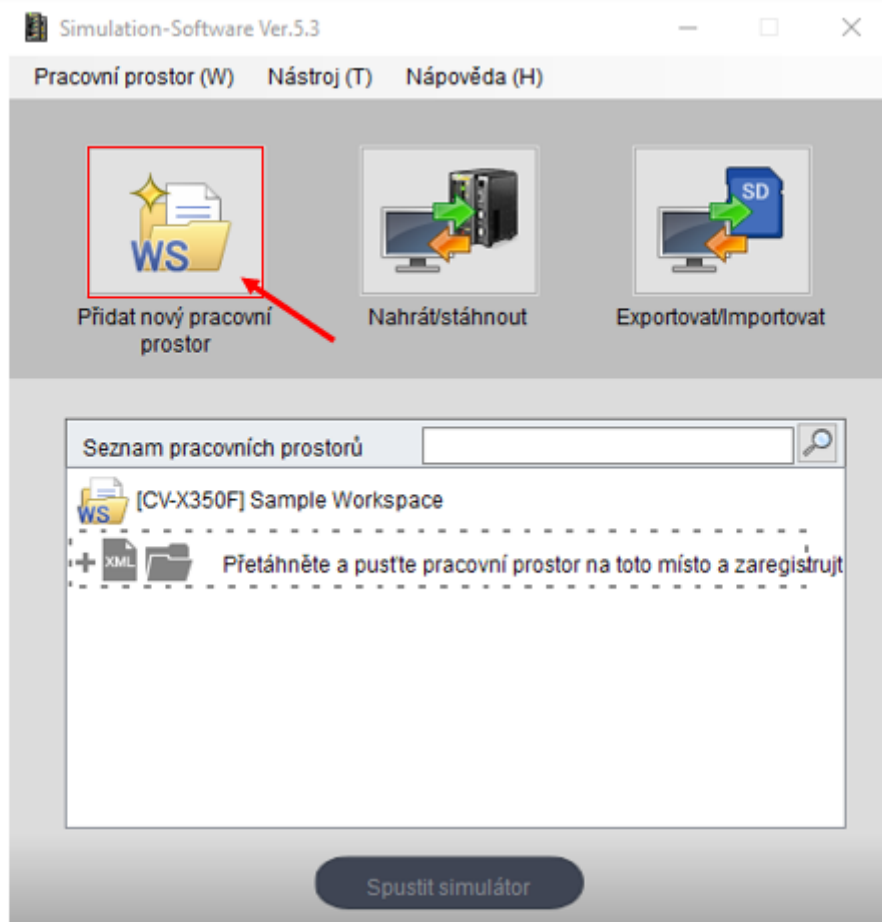
8 MANUÁL PRO ŠKOLENÍ

V rámci této práce jsem vytvořil uživatelský manuál pro nastavení a ovládání kamery v simulačním softwaru CV-X. Manuál poskytuje podrobný návod krok za krokem, který uživateli ukazuje, jak konfigurovat a ovládat kameru. Tento dokument obsahuje instrukce pro vytváření nových pracovních prostorů, spouštění simulátorů, nastavení kamery a osvětlení. Dále manuál popisuje postupy pro nastavení detekčních nástrojů, které umožňují identifikaci a analýzu výrobních vad, měření rozměrů a jiné funkce, jako jsou matematické operace a detekce vzorů. Manuál byl strukturován tak, aby byl přístupný i pro uživatele bez předchozích znalostí ovládání daného softwaru. Soubor s manuálem se jmenuje Manuál.pdf a je k dispozici v příloze diplomové práce.

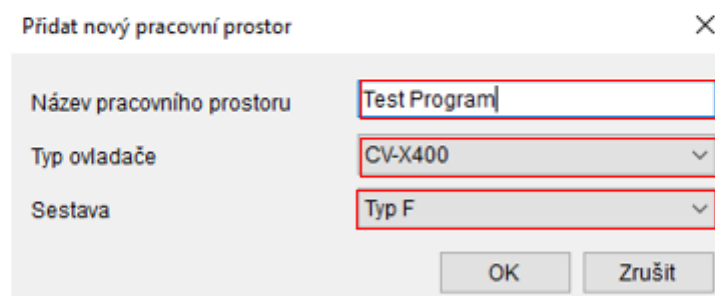


Vyberte **Číslo snímání 1**. V kategorii vyberte **Korekce pozice** a vyberte nástroj **Poloha shodného vzoru (obrys)**. Po vybrání klikněte na tlačítko **Přidat**.

Obrázek 50 Ukázka manuálu části nastavení nástrojů pro zadní osvětlení



Po prvním spuštění simulačního softwaru CV-X se otevře okno, kde můžeme vytvořit nový pracovní prostor, popř. se připojit na reálné fyzické zařízení, nebo exportovat/importovat program na SD disk. Pro vytvoření nového programu vyberte možnost **Přidat nový pracovní prostor**.



V tomto okně můžeme pojmenovat nový pracovní prostor, vybrat typ ovladače a sestavu. Výběr typu ovladače a sestavy určuje, jaká kamera bude použita.

Obrázek 51 Ukázka manuálu při zakládání programu

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zaměřila na implementaci systému strojového vidění pro detekci vad na stabilizátorech. Hlavním cílem bylo navrhnout a vytvořit efektivní systém schopný identifikovat defekty na stabilizátoru, které mohou mít zásadní vliv na bezpečnost a stabilitu.

V teoretické části byly diskutovány základy strojového vidění, jeho průmyslové aplikace a technologie nutné pro realizaci optického inspekčního systému. Byla probrána role kamery, objektivu a osvětlení ve vizuální inspekci a vysvětleny různé přístupy k analýze obrazu, které umožňují detekci a klasifikaci vad. Tato sekce poskytla pevný teoretický základ pro praktické využití těchto technologií v průmyslových aplikacích.

V praktické části byl představen návrh systému, včetně hardwaru a softwarových nástrojů nezbytných pro jeho implementaci. Důraz byl kladen na správné nastavení algoritmů pro zpracování obrazu, které umožňují efektivně identifikovat vady na stabilizátorech.

Během realizace projektu byly řešeny různé technické výzvy, jako například optimální nastavení detekčních nástrojů pro zpracování obrazu za účelem zlepšení rychlosti a přesnosti detekce. Dále byla provedena úprava osvětlení, objektivu a kamery pro lepší zachycení defektů na stabilizátorech.

Systém byl dále testován v reálném provozním prostředí, což umožnilo ověřit jeho funkčnost a účinnost. V rámci testování systém detekoval simulované vady, které byly vytvořeny pomocí nalepené nálepky na zploštělé části stabilizátoru. Kamerový systém dokázal detekovat vadné kusy a odstavit je pomocí robota na určené místo.

Pro budoucí rozvoj systému by bylo vhodné zvážit implementaci pokročilejších technologií strojového učení a umělé inteligence, které by mohly dále zvýšit efektivitu a automatickou adaptabilitu systému na měnící se výrobní podmínky.

Nakonec byl vytvořen uživatelsky přívětivý manuál, který provádí uživatele krok po kroku nastavením kamery a jednotlivých nástrojů pro detekci vad. Tento manuál se stal nástrojem pro školení nových technických pracovníků.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ANAND, Sheila a L. PRIYA. *A Guide for Machine Vision in Quality Control* [online]. 1. vyd. B.m.: Chapman and Hall/CRC, 2019 [vid. 2024-03-08]. ISBN 978-1-00-300282-6. Dostupné z: <https://doi.org/10.1201/9781003002826>
- [2] NEFFSTER, Gradester. What is a Sway Bar and What Does it Do? Here's What You Should Know. *Newmar* [online]. 29. srpen 2018 [vid. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://www.newmarcorp.com/blog/what-does-a-sway-bar-do/>
- [3] Machine Vision vs Computer Vision: Understanding the Differences. *Premio Inc* [online]. 19. leden 2024 [vid. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://premio-inc.com/blogs/blog/machine-vision-vs-computer-vision>
- [4] BEYERER, Jürgen, Fernando PUENTE LEÓN a Christian FRESE. *Machine Vision: Automated Visual Inspection: Theory, Practice and Applications* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016 [vid. 2024-03-04]. ISBN 978-3-662-47793-9. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-47794-6>
- [5] Versatile LEDs Drive Machine Vision in Automated Manufacture. *DigiKey* [online]. [vid. 2024-03-08]. Dostupné z: <https://www.digikey.com/en/articles/versatile-leds-drive-machine-vision-in-automated-manufacture>
- [6] *Cognex In-Sight 2D Smart Camera Machine Vision Systems* [online]. [vid. 2024-05-05]. Dostupné z: <https://fishersmith.co.uk/components/smart-cameras/configurable-smart-cameras/cognex-insight-range>
- [7] *Illumination techniques* [online]. [vid. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://www.vision-doctor.com/en/illumination-techniques.html>
- [8] HAVLE, Otto. Strojové vidění IV: Osvětlovače [online]. nedatováno. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36988.pdf
- [9] JAI. *JAI* [online]. [vid. 2024-03-12]. Dostupné z: <https://www.jai.com/machine-vision-interfaces/>
- [10] *Průmyslové-kamery.cz | Vše pro strojové vidění* [online]. [vid. 2024-03-12]. Dostupné z: https://www.prumyslove-kamery.cz/o-produktech/digitalni-kamery-basler/clanky-o-kamerach_-navody_-jak-na-to/komunikacni-rozhrani-kamer-basler---srovnani
- [11] *Machine Vision Software Selection Guide: Types, Features, Applications | GlobalSpec* [online]. [vid. 2024-03-12]. Dostupné z: https://www.globalspec.com/learnmore/industrial_engineering_software/industrial_controls_software/machine_vision_software
- [12] KUNDU, Rohit. *Image Processing: Techniques, Types, & Applications [2023]* [online]. [vid. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://www.v7labs.com/blog/image-processing-guide>
- [13] *Binary Images* [online]. [vid. 2024-03-23]. Dostupné z: https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/OWENS/LECT2/node3.html

- [14] D, Raghunath. Gray scale images. *Medium* [online]. 29. leden 2019 [vid. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://medium.com/@rndayala/gray-scale-images-8d6aacb3b761>
- [15] Figure 2. A color and grayscale version of an image illustrating the... *ResearchGate* [online]. [vid. 2024-03-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/A-color-and-grayscale-version-of-an-image-illustrating-the-advantages-of-color_fig2_313673465
- [16] PERERA, Sasani. OpenCV: Image Histogram Calculations. *Medium* [online]. 14. srpen 2023 [vid. 2024-03-28]. Dostupné z: <https://medium.com/@sasasulakshi/opencv-image-histogram-calculations-4c5e736f85e>
- [17] SUMITKRSHARMA. Image Filtering in Computer vision. *Medium* [online]. 28. červenec 2023 [vid. 2024-03-23]. Dostupné z: <https://sumit-kr-sharma.medium.com/image-filtering-in-computer-vision-ec60ec8a3e1>
- [18] *VPI - Vision Programming Interface: Box Filter* [online]. [vid. 2024-03-23]. Dostupné z: https://docs.nvidia.com/vpi/algo_box_filter.html
- [19] *VPI - Vision Programming Interface: Bilateral Filter* [online]. [vid. 2024-03-28]. Dostupné z: https://docs.nvidia.com/vpi/algo_bilat_filter.html
- [20] *VPI - Vision Programming Interface: Gaussian Filter* [online]. [vid. 2024-03-28]. Dostupné z: https://docs.nvidia.com/vpi/algo_gaussian_filter.html
- [21] SONKA, M., V. HLAVAC a R. BOYLE. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision* [online]. B.m.: Thomson, 2008. ISBN 978-0-495-24438-7. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=W1g9PgAACAAJ>
- [22] BUHL. *Image Thresholding in Image Processing* [online]. [vid. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://encord.com/blog/image-thresholding-image-processing/>
- [23] What is Canny edge detection? *Educative* [online]. [vid. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.educative.io/answers/what-is-canny-edge-detection>
- [24] *Canny edge detector — skimage 0.22.0 documentation* [online]. [vid. 2024-03-31]. Dostupné z: https://scikit-image.org/docs/stable/auto_examples/edges/plot_canny.html
- [25] *Object Recognition* [online]. [vid. 2024-03-31]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/solutions/image-video-processing/object-recognition.html>
- [26] *Vysokorychlostní kamera 16×, 0,47 megapixelu (černobílá) - CA-H048MX | KEYENCE International Belgium(Čeština)* [online]. [vid. 2024-04-21]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sys/cv-x100/models/ca-h048mx/>
- [27] *Objektiv s velmi vysokým rozlišením a nízkým zkreslením 8 mm - CA-LHR8 | KEYENCE International Belgium(Čeština)* [online]. [vid. 2024-04-23]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sys/ca-l/models/ca-lhr8/>

- [28] *Bílé podsvícení 150-150 - CA-DSW15* | KEYENCE International Belgium(Čeština) [online]. [vid. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sys/ca-d/models/ca-dsw15/>
- [29] *Osvětlení LumiTrax™ 142-100 - CA-DRW10X* | KEYENCE International Belgium(Čeština) [online]. [vid. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sys/ca-d/models/ca-drw10x/>
- [30] *Intuitivní kamerový systém* [online]. B.m.: Keyence. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sys/cv-x100/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

OCR	Optické rozpoznávání znaků
IoT	Internet věcí
RGB	Červená,Zelená,Modrá
PLC	Programovatelný logický automat
IP	Internetový protokol
MV	Strojové vidění
AI	Umělá inteligence
CCD	Charge-Coupled Device
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Stabilizátor [1].....	12
Obrázek 2 Kroky úlohy strojového vidění [3]	14
Obrázek 3 Komponenty strojového vidění[5]	15
Obrázek 4 Princip řádkové kamery[1].....	16
Obrázek 5 Smart kamera[6].....	17
Obrázek 6 Vnitřní uspořádání objektivu [1]	18
Obrázek 7 Interakce mezi elektromagnetickým zářením a objekty [7]	19
Obrázek 8 Plošná osvětlovací pole [8]	20
Obrázek 9 Kruhový osvětlovač [8]	20
Obrázek 10 Kopulové osvětlení [8]	21
Obrázek 11 Osvětlovací systém DOAL [8]	22
Obrázek 12 Osvětlovač dark-field [8]	22
Obrázek 13 Osvětlovač backlight[8]	23
Obrázek 14 Barevný a binární obraz[12].....	27
Obrázek 15 Barevný a šedotónový obraz[15].....	27
Obrázek 16 Histogram obrázku [1]	28
Obrázek 17 Aplikace box filtru na obrázek[18]	29
Obrázek 18 Aplikace bilaterálního filtru na obrázek[19]	30
Obrázek 19 Aplikace Gaussovského filtru na obrázek[20]	30
Obrázek 20 Prahování obrázku[22]	32
Obrázek 21 Cannyho detekce hran [24]	33
Obrázek 22 Vyosená pozice díry	35
Obrázek 23 Defekt v díře.....	35
Obrázek 24 Defekt na ploše lisovaného konce stabilizátoru	36
Obrázek 25 Defekt tvaru konce stabilizátoru	36
Obrázek 26 Model kamery Keyence CA-H048MX[26].....	38
Obrázek 27 Objektiv CA-LHR8 [27]	38
Obrázek 28 Bílé LED podsvícení CA-DSW15 [28].....	39
Obrázek 29 Model osvětlení CA-DRW10X [29]	40
Obrázek 30 Možnost konfigurace systému řady CV-X400 [30]	40
Obrázek 31 Rozšiřující jednotky pro ovládání osvětlení [30]	41
Obrázek 32 Výsledný návrh kamerového systému.....	41

Obrázek 33 Simulační software	42
Obrázek 34 Nástroj pro detekci obrysu	43
Obrázek 35 Nástroj pro detekci vad v díře stabilizátoru	43
Obrázek 36 Nástroj PattenTrax.....	44
Obrázek 37 Měření pozice díry na stabilizátoru	44
Obrázek 38 Výpočet pozice pomocí Matematické operace.....	45
Obrázek 39 Měření rozměru díry stabilizátoru	45
Obrázek 40 Detekce vady na ploše stabilizátoru	46
Obrázek 41 Reálná měřicí soustava.....	47
Obrázek 42 Nastavení objektivu.....	47
Obrázek 43 Nálepka na stabilizátoru	48
Obrázek 44 OK první vnitřní strana stabilizátoru.....	48
Obrázek 45 Simulovaná vada na druhé vnitřní straně stabilizátoru	48
Obrázek 46 Ukázka detekování reálné vady na ploše stabilizátoru.....	49
Obrázek 47 Ukázka detekování simulované vady na ploše.....	49
Obrázek 48 OK kusy.....	50
Obrázek 49 Ukázka detekování vady díry stabilizátoru	50
Obrázek 50 Ukázka manuálu části nastavení nástrojů pro zadní osvětlení	51
Obrázek 51 Ukázka manuálu při zakládání programu.....	52

SEZNAM PŘÍLOH

P I Obsah CD



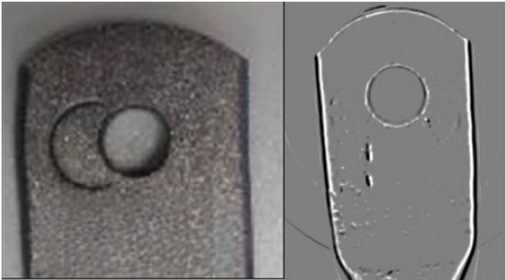
P II Katalog vad

PŘÍLOHA P I: OBSAH CD

Struktura přiloženého CD:

- Soubor **fulltext.pdf** – obsahuje text diplomové práce ve formátu PDF/A.
- Adresář **Složka Manuál** – obsahuje manuál vlastního zpracování ve formátu PDF/A
- Adresář **Program** – obsahuje program použitý pro detekci vad

PŘÍLOHA P II: KATALOG VAD

Katalog vad zploštělé části stabilizátoru	
Název vady	Obrázek vady
Vyosení pozice díry	
Defekt v díře stabilizátoru	
Defekt na ploše konce stabilizátoru	
Tvar stříhu konce stabilizátoru	