



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**VIZUÁLNÍ KONTROLA SVARU
PLASTOVÝCH TUB**
VISUAL INSPECTION OF PLASTIC SQUEEZE TUBE SEALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Pavel Furik

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Pavel Furik**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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:

VIZUÁLNÍ KONTROLA SVARU PLASTOVÝCH TUB

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kontrola kvality svaru plastových tub je klíčovou kontrolou jakosti jejich výroby. Tuto činnost lze kromě lidské inspekce provádět ekvivalentně s využitím počítačového vidění. Strojová kontrola může být v mnoha ohledech efektivnější jak z hlediska metodologie měření, tak z hlediska nákladů. Podstatou této práce bude rešerše a vlastní návrh systému pro kontrolu zvolených parametrů svaru tuby. Student bude pracovat v laboratoři s využitím technologie Cognex.

Cíle bakalářské práce:

- Rešerše průmyslových systémů strojového vidění.
- Popis zvoleného systému Cognex.
- Návrh měření a kontroly pro definované oblasti svaru plastových tub.
- Vlastní měření a kontrola kvality ve zvolené aplikaci od Cognex.
- Vyhodnocení a závěr.

Seznam doporučené literatury:

SZELISKI, Richard, 2010. Computer Vision: Algorithms and Applications. London: Springer. Texts in computer science. ISBN 978-1-84882-934-3.

BATCHELOR, Bruce G., ed., c2012. Machine vision handbook. London: Springer. Springer reference. ISBN 978-1-84996-168-4

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

.....
doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

.....
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá systémy strojového vidění za účelem kontroly svarů plastových tub. Princip a možnosti pro výběr kamerových systémů jsou shrnuty v řešební části práce. Na bázi této řešební části byl vybrán kamerový systém a vytvořen návrh kontrolní aplikace, která by kontrolovala některé vybrané parametry svarů plastových tub. Tento návrh je následně otestován a zhodnocen podle chování s měnícím se kontrastem.

ABSTRACT

Bachelor's thesis deals with machine vision systems in order to inspect plastic squeeze tube seals. Principle and options for choice of vision systems are summarized in theoretical part of the thesis. Based on this summary, a selection of vision system and inspection application design was to be created that would inspect selected parameters of plastic tube seals. This design was to be tested and evaluated by behavior of system with varying contrast.

KLÍČOVÁ SLOVA

systémy strojového vidění, aplikace strojového vidění, automatizovaná vizuální kontrola, defekty plastových tuby, Cognex In-sight-Explorer

KEYWORDS

machine vision systems, vision system application, automated visual inspection, defects of plastic squeeze tubes, Cognex In-sight-Explorer

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FURIK, Pavel. *VIZUÁLNÍ KONTROLA SVARU PLASTOVÝCH TUB*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/135748>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Radomil Matoušek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 22. 5. 2021

.....

Pavel Furik

OBSAH

1	ÚVOD.....	13
2	SYSTÉMY STOJOVÉHO VIDĚNÍ.....	15
2.1	Přehled osvětlení.....	16
2.2	Objektiv a obraz.....	18
2.3	Snímače kamer	22
2.4	Hardware kamer systému strojového vidění	26
2.5	Rozhraní kamer.....	27
2.6	Zpracování obrazu	28
3	VÝROBCI KAMER STROJOVÉHO VIDĚNÍ.....	37
3.1	Kamery firmy Cognex	37
3.2	Kamery firmy Basler	42
3.3	Kamery firmy Datalogic	46
3.4	Kamery firmy Keyence	49
4	NÁVRH PARAMETRŮ PRO KONTROLU	51
4.1	Předmět kontroly	51
4.2	Obecný postup inspekce	52
4.3	Snímek předmětu	52
4.4	Návrh aplikace	54
4.5	Testování a rozhodnutí	57
5	ZHODNOCENÍ A DISKUZE.....	61
6	ZÁVĚR	63
7	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	65
8	SEZNAM PŘÍLOH.....	67

1 ÚVOD

Práce se věnuje systémům strojového vidění, za účelem automatizace kontroly kvality plastových tub při jejich výrobě, kde v důsledku použité technologie při jejich uzavírání může vznikat velké množství různých defektů. Jedná se o vizuální kontrolu, kterou lze velmi často realizovat pomocí těchto systémů přesněji, rychleji a levněji bez přítomnosti člověka, což umožňuje zvýšit celkový objem výroby.

Cílem práce bylo vypracovat rešerši na téma průmyslové systémy strojového vidění, která shrnuje, jak tyto systémy fungují, z jakých částí se skládají a jaké aktuální možnosti se nabízejí pro realizaci zadané kontroly. [1, 2, 3, 4]

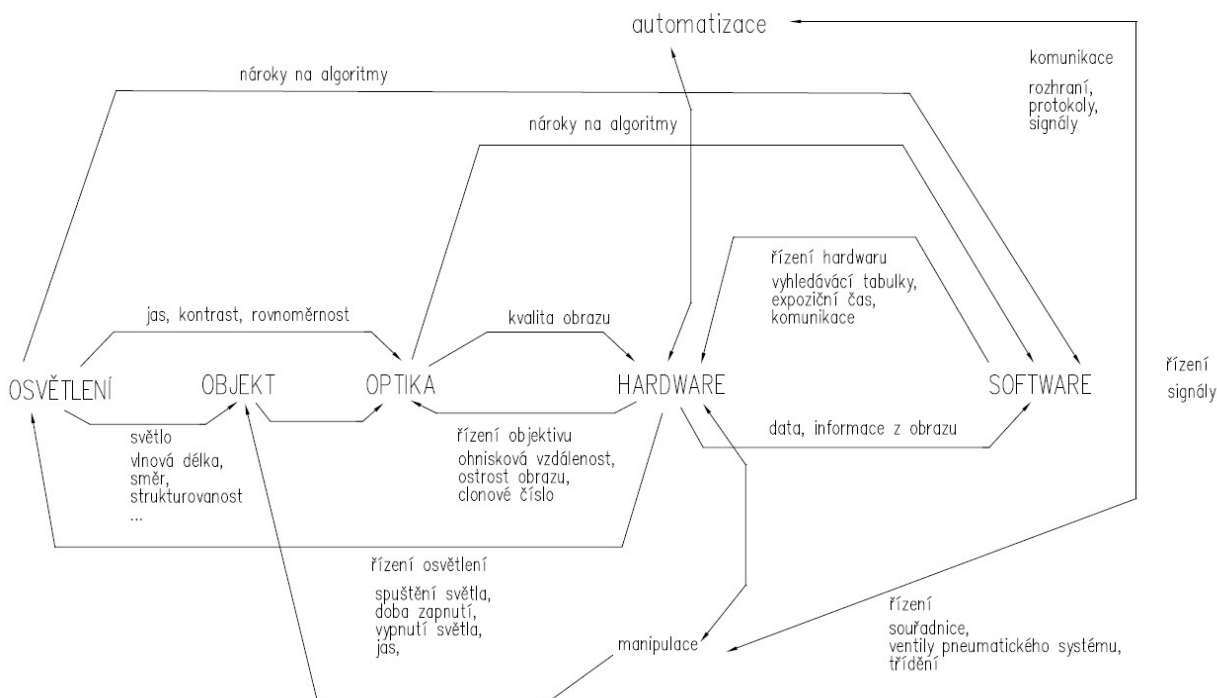
Na bázi této teoretické části měla být vytvořena kontrolní aplikace k vybranému kamerovému systému. Tato aplikace by měla být schopna kontroly některých vybraných parametrů svarů tub a určit, zda se na nich nacházejí defekty, případně určit, jestli je tubu nutno vyřadit. Návrh tedy zahrnuje výběr parametrů tuby ke kontrole, snímku a osvětlení nutného ke správné funkci kontroly.

Další částí je test návrhu, který měl ověřit jak jeho funkci, tak i případné limity, týkající se hledání příliš drobných defektů nebo špatných podmínek pro kontrolu.

Poslední částí je zhodnocení výsledků testu a úvaha nad návrhem, tedy jaké části byly zvoleny vhodně, případně jiné volby v rámci neomezených možností, které by návrh mohli vylepšit. Dále je v zde uvedeno řešení některých vzniklých problémů.

2 SYSTÉMY STOJOVÉHO VIDĚNÍ

Tato kapitola je věnována aktuálnímu stavu věcí v dané problematice a poskytuje základní rozdělení s popisem jednotlivých částí systémů strojového vidění dle literatury [1, 2].



Obr. 1: Základní interakce v systémech strojového vidění [1]

Systémy strojového vidění se skládají z mnoha částí spadajících do různých odvětví a jejich kombinací. Ty jsou na sobě vzájemně závislé, což umožňuje také vzájemnou kompenzaci jejich nedostatků. Osvětlení poskytuje veškerou informaci o objektu, kterou systém může dostat. Tato informace je částečně ztracena v důsledku pořízení snímku a velikost této ztráty závisí na vlastnostech senzoru kamery. Kompenzace jednotlivých nedostatků bude mít dopady na další části systému. Dále je uveden příklad interakcí zmíněných nedostatků. obr.1

Informaci, kterou neposkytne osvětlení samozřejmě nelze obnovit. Ztracenou informaci lze zmenšit lepšími vlastnostmi kamerového systému, což se projeví na jeho ceně. Obnovu informace a vylepšení kontrastu snímku z kamerového systému lze provést softwarem v rámci předzpracování, ale se zvyšujícím výpočetním časem. Z tohoto příkladu plyne, jak interakce jednotlivých částí ovlivňují funkci a výkon celého systému.

2.1 Přehled osvětlení

Výběr osvětlení pro systém strojového vidění je zcela individuální pro konkrétní aplikaci a jeho kvalita zásadní pro rozpoznání objektu na snímaném obrazu, ať už díky dobrému kontrastu nebo lepšímu zaostření. Optimálního řešení se obvykle dosahuje po prvotním návrhu a výsledcích experimentů s různými způsoby osvětlení snímaného objektu. Variací je mnoho, proto jsou zde uvedeny pouze některé často používané varianty. Základním rozdělením je na přední a zadní osvětlení objektu. Výběr dle [1, 2]

2.1.1 Přední osvětlení

U tohoto typu osvětlení se zdroj světla nachází na stejné straně objektu jako kamera. Existuje několik typů předního osvětlení, které poskytují různé efekty.

Přední difusní osvětlení

Světlo dopadá na celý objekt rovnoměrně, díky rozptylujícímu elementu před zdrojem světla. Rovnoměrnost tohoto osvětlení minimalizuje necelistvost jasu na objektu.

Směřované přední osvětlení

Oproti předešlé variantě má směrované osvětlení jasně definovaný směr, pod kterým dopadá na objekt. Směřované osvětlení lze dále dělit na osvětlení se světlým polem a osvětlení s temným polem, které poskytují velice dobrý kontrast.

Osvětlení se světlým polem

Vzniká v důsledku použití směrovaného osvětlení, kdy povrch objektu s vlastnostmi zrcadla odráží paprsky zpět do kamery a jeví se jako světlí. Naopak části povrchu, které tyto vlastnosti nemají budou na obrazu tmavší. Příkladem může být povrch lesklého kovu s vyvrtnými otvory. Na obrazu bude velký rozdíl odstínu šedi mezi otvory a lesklým povrchem kovu, jelikož světlo odražené z děr nedosáhne kamery. Takto vzniklý kontrast lze využít pro přesnější nalezení defektů na obrazu.

Osvětlení s temným polem

Směřované světlo dopadá na objekt tak, aby se odrazilo mimo kameru a celý povrch součásti se jeví jako tmavý. Pokud se na objektu objeví defekt, odrazí světlo k senzoru kamery a vyniká svou světlostí.

Polarizované přední osvětlení

Při použití polarizačních filtrů je propuštěno světlo se specifickým směrem oscilace. Časté použití je pro odstranění nechtěných odrazů světla narušující kontrast. Zdrojem polarizovaného světla osvěcujeme objekt, následně je světlo odraženo zpět na kameru, která je vybavena druhým polarizačním filtrem. Při zrcadlovém odrazu na objektu dochází k další polarizaci odraženého světla, a toto světlo již neprojde filtrem před kamerou. Světlo, u kterého nedošlo k zrcadlovému odrazu filtrem prochází.

2.1.2 Zadní osvětlení

Při této variantě je možné použít stejné typy osvětlení, jako u předního typu. Hlavní výhodou je výborný kontrast hran, jelikož se celý objekt jeví jako temný a pozadí jako světlé. Nevýhodou je, že další parametry objektu, kromě hran, se mohou stát nerozpoznatelnými.

Difusní zadní osvětlení

Tento typ osvětlení je realizován pomocí osvětleného panelu, umístěného za snímaným objektem, jenž rozptyluje světlo za objektem do všech směrů a poskytuje rovnoměrné osvětlení.

Směřované zadní osvětlení

V některých situacích může část světla směřovat z boku součásti, a tak zhoršovat kontrast obrazu. Při této variantě se snažíme omezit osvětlení z dalších směrů a vylepšit tak kontrast. Speciálním případem je použití telecentrického osvětlení.

Polarizované zadní osvětlení

Polarizované světlo může být vhodné pro lepší kontrast u transparentních objektů. Ve speciálních případech může dojít k polarizaci světla, díky vnitřním deformacím materiálu transparentního objektu, způsobenou mechanickým napětím. Tyto deformace lze potom vidět na vzniklém obraze.

2.1.3 Další možnosti pro osvětlení

Osové osvětlení

Osové osvětlení je vhodné použít při inspekci dlouhých, tenkých otvorů, kdy je nutné, aby světlo přicházelo do otvoru. Tohoto lze dosáhnout pomocí správné pozice optiky, ze které se světlo přímo odráží do požadovaného místa. Zdroj světla tak může být zcela mimo objekt.

Telecentrické osvětlení

Forma směrovaného světla, kdy světelný zdroj se systémem optiky, vyzařuje paralelní světelné paprsky. Při použití tohoto osvětlení s jeho všemi výhodami je potřebný i telecentrický objektiv. Telecentrické osvětlení se používá pro přesné měření součástí.

Strukturované světlo

Světlo je na objekt vyzařováno v určitém tvaru, jako je linie, kruh nebo mřížka. Dle odrazu světla od objektu lze určit jeho tvar a další parametry. Tato metoda funguje i při minimálním kontrastu objektu a pozadí.

Kruhové osvětlení

Kruhové světlo poskytuje okolo optické osy kamery osvětlení bez stínů. Často se používá spolu s prvky pro rozptýlení a polarizaci světla.

Stroboskopické světlo

Přerušované světlo, vhodné pro vysokorychlostní aplikace, kdy je nutná krátká doba expozice.

2.1.4 Zdroje světla

LED diody

Nejpoužívanější zdroj osvětlení pro systémy strojového vidění. Díky malým rozměrům lze LED diody používat s různým uspořádáním. Kruhové, liniové, bodové variace, s mnoha velikostmi, které je možné dále rozptýlit. Diody lze také přímo uložit do světlovodů pro osvětlení těžko dosažitelných míst.

Možnost řídit funkci jednotlivých diod dovoluje velkou flexibilitu těchto zdrojů a variace prováděných měření. Díky stejnosměrnému zdroji u nich nedochází k oscilaci světla a mají velkou mechanickou odolnost vůči rázům a vibracím. Další výhodou je minimální opotřebení při přerušovaném osvětlení.

Fluorescentní zářivky

Jsou často používány pro osvětlení velkých ploch. Podmínkou pro použití je zdroj napětí s dostatečně vysokou frekvencí, jelikož při nízkých frekvencích dochází k variaci osvětlení zářivky. Zářivky se dají použít v různých variantách. Příkladem jsou trubicové nebo kruhové provedení, které nemá zcela rovnoměrné rozdělení světla, kvůli nutnosti upevnění a startéru.

Halogenové a Xenonové lampy

Tyto typy lamp používají stejnosměrný zdroj napětí, proto oscilace osvětlení u nich není problémem. Halogenové lampy bývají často používány spolu s optickými vlákny a světlovody, ať už pro bodové nebo kruhové osvětlení. V důsledku stárnutí u některých halogenových lamp dochází k variaci jejich osvětlení a je nutná jejich kalibrace.

Xenonové lampy jsou často používány jako zdroj přerušovaného světla s větší jasností než LED diody.

Laser

Laser jako zdroj světla je vhodný pro speciální aplikace. Nejčastější je jeho použití při strukturovaném osvětlení, zejména díky ostrosti světla, kterou tento zdroj poskytuje.

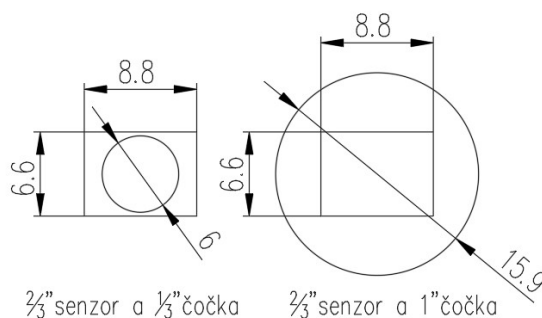
2.2 Objektiv a obraz

2.2.1 Zorné pole

Velikost zorného pole kamery závisí na několika parametrech měřeného objektu a senzoru kamery. U snímaného objektu je třeba dbát na jeho maximální velikost a výchylky objektu před kamerou, jako je posun nebo rotace. Další rozšíření je nutné pro oddělení okrajů objektu od pozadí, a přidání tolerance pro potřeby instalace kamery. Vzniklá hodnota se upravuje podle formátu obrazu senzoru kamery. [1, 2]

2.2.2 Velikost senzoru a objektivu

Objektiv zajišťuje správné osvětlení senzoru kamery, aby toto bylo možné, musí být průměr objektivu větší než průměr kruhu, ve kterém je obsažen celý senzor. obr. 2,



Obr. 2: Velikost senzoru a čočky v mm [2]

2.2.3 Clonové číslo (k)

Clonové číslo je rovno obrácené hodnotě apertury, a je závislé na průměru vstupní čočky d a ohniskové vzdálenosti f' .

$$k = \frac{f'}{d} \quad (1)$$

Intenzita světla E je rovna apertuře na druhou, tedy pro clonové číslo platí, že při jeho zdvojnásobení se intenzita světla zmenší na čtvrtinu.

$$E \sim \left(\frac{1}{k}\right)^2 \quad (2)$$

Nastavení apertury čoček lze dle výběru hodnot z clonové řady. Ty jsou postupně umocněné odmocniny ze dvou: 1, 1.4, 2, 2.8 atd. Každá sousední hodnota v řadě zmenšuje intenzitu světla na polovinu té předchozí. [1]

2.2.4 Model pro tenké čočky

Pro dostatečně přesnou aproximaci při návrhu používáme model pro tenké čočky, kdy je použita ideálně tenká čočka, u které lze její tloušťku zanedbat. Pro reálné čočky toto však nelze provést, navíc je optický systém kamery tvořen mnoha čočkami pro kompenzaci optických chyb. Z reálného objektu o velikosti y je pomocí čočky, vytvořen obraz o velikosti y' , obr.3. Pro vzdálenosti f' , a , a' platí vztah (3)

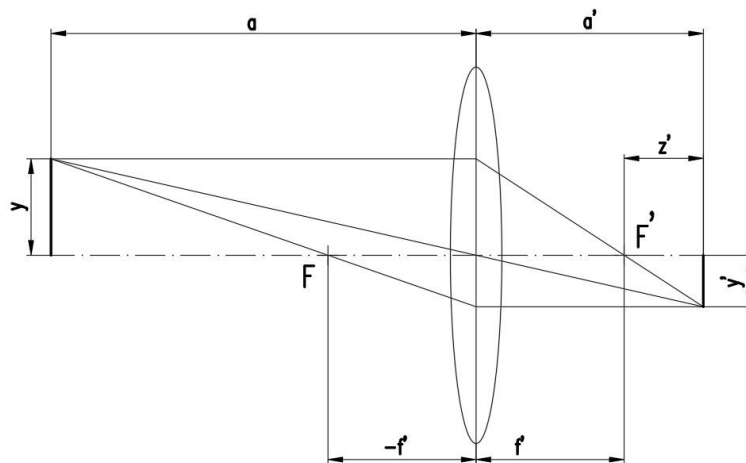
$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} \quad (3)$$

Zvětšení objektu β . Vyjádřeno jako poměr velikosti obrazu a reálného objektu nebo jako poměr vzdáleností objektu a senzoru k objektivu. V_s , V_p velikost senzoru, pixelu kamery.

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} = -\frac{V_s}{FOV} = -\frac{R_s \cdot V_p}{FOV} \quad (4)$$

Z rovnice (3) můžeme vyjádřit a' . Dosazením do rovnice (4), umožňuje vyjádření velikosti obrazu y' v rovnici (5). Velikost obrazu dle rovnice (5) lze zvětšit prodloužením ohniskové vzdálenosti výběrem vhodného objektivu a přiblížením objektivu k objektu, tedy zmenšením vzdálenosti a .

$$y' = \frac{f'}{a - f'} \cdot y \quad (5)$$



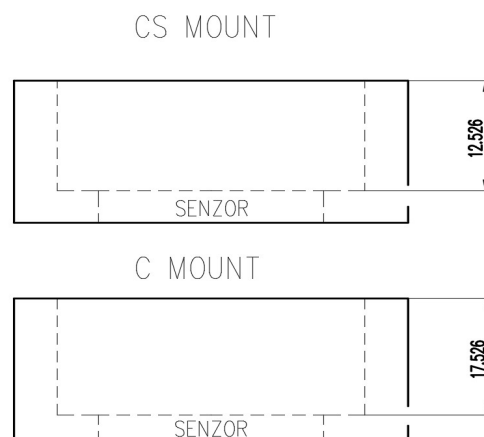
Obr. 3: Model pro tenké čočky dle [2]

Popis parametrů

- 1) Ohnisková vzdálenost f^*
- 2) Vzdálenost objektu od objektivu a
- 3) Vzdálenost senzoru od objektivu a'
- 4) Velikost obrazu y
- 5) Velikost objektu y'
- 6) Ohnisko F
- 7) Vzdálenost senzoru od ohniska z'

2.2.5 Vzdálenost od montážního závitu

Kamery systémů strojového vidění nejčastěji používají typy C a CS obr.4. Tato vzdálenost tvoří nejkratší možnou mezi objektivem a senzorem. Kompatibilita mezi těmito typy je následující. Pro CS kameru lze použít jakýkoliv C objektiv při vložení mezikroužku mezi objektiv a senzor. Opak nelze provést, protože při použití C kamery a CS objektivu vzdálenost mezi objektivem a senzorem bude příliš dlouhá. Ohnisko se tak nachází na špatném místě před senzorem. Řádkové kamery používají F typ závitu [1, 2]



Obr. 4: CS a C závit senzoru, rozměry jsou v mm [2]

2.2.6 Mezikroužky

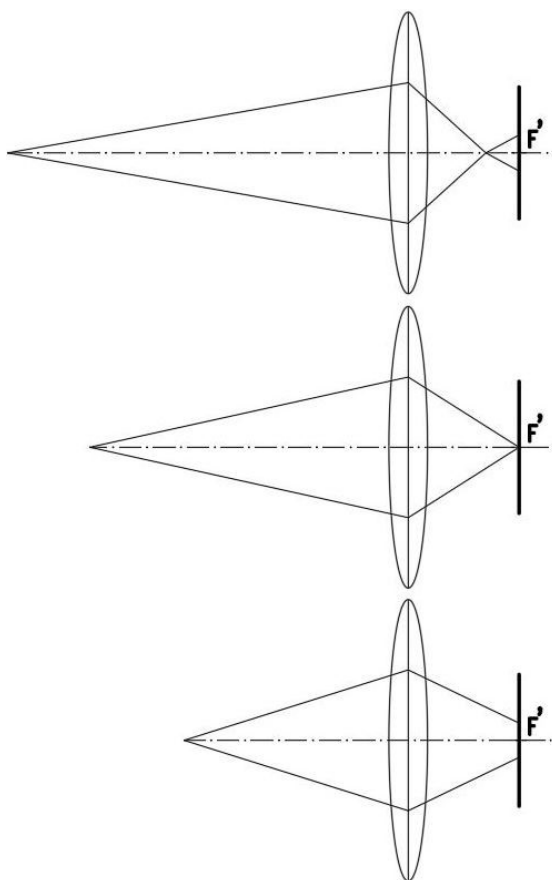
Pro lepší zaostření a velikost obrazu je třeba zvětšit vzdálenost mezi objektivem a obrazem na senzoru, a' . Toho dosáhneme zmenšením a , vzdálenosti objektivu s objektem. Zmenšení lze provést samotným nastavením objektivu nebo přidáním mezikroužku. Obraz je tak více zaostřený a dochází k jeho zvětšení, ale zmenšuje se hloubka ostrosti. [2]

2.2.7 Hloubka ostrosti

Přesná vzdálenost objektu od objektivu, ve které se bude objekt jevit jako ostrý, lze určit z rovnice (3). Ve skutečnosti je ale tato vzdálenost tvořena intervalem, ve kterém se obraz jeví jako nerozmazaný.

Bod, jehož vzdálenost je jiná než ta z rovnice (3), bude promítnutý do obrazu jako kružnice splývání, ve které nelze jasně rozlišit jednotlivé body objektu, obr.5. Pokud je tato kružnice menší než jeden pixel, nedojde k její rozšíření do ostatních pixelů a bod zůstává bodem i na promítnutém obraze. Hloubka ostrosti je tedy interval, ve kterém kružnice splývání promítnutých bodů nepřekračuje velikost jednoho pixelu.

Při zvětšení clonového čísla dojde také k zvětšení hloubky ostrosti, díky zmenšení úhlu divergence paprsků světla, a tedy i zmenšení kružnic splývání. [1, 2]



Obr. 5: Reprezentace změny kružnice v různých vzdálenostech [1]

2.2.8 Expozice

Zjednodušeně definováno jako osvětlení dopadající na objekt za určitý čas pro dosažení dostatečného kontrastu. Vhodnou expozici objektu dosahujeme přizpůsobením intenzity osvětlení pomocí expozičního času a clonovým číslem objektivu, případně použitím neutrálních filtrů.

Expoziční čas ovlivňuje pohybovou neostrost, proto při vysokorychlostních aplikacích využíváme přerušovaného světla s malým expozičním časem. Změny clonového čísla dále ovlivňují hloubku ostroty, vady optických soustav a další parametry, jako náklady spojené s osvětlením, díky jeho intenzitě. [1, 2]

2.2.9 Další typy objektivů

Doplnění některých dalších variant dle [2]

Telecentrické objektivy

Jsou určeny k přesnému měření, jelikož u nich nedochází v určitém intervalu, telecentrické vzdálenosti, ke zkreslení velikosti objektu při změně jeho vzdálenosti od objektivu.

Rybí oko

Objektivy s efektem rybího oka poskytují obrazový úhel blízký se 360°. Objekt je tedy možno pozorovat celý, avšak díky extrémnímu zkreslení, je vhodné takový obraz použít pouze pro verifikaci přítomnosti částí na obraze, a ne pro měření.

Endoskopy

Pro těžko přístupná místa je vhodné použít optický systém spolu s osvětlením, které je doplněno světlovodem. Ten díky totálnímu odrazu vede světlo bez ztrát jeho intenzity.

2.3 Snímače kamer

Maticové a liniové uspořádání

Maticové snímače snímají v horizontálním a vertikálním směru, zatímco řádkové pouze v jednom z nich. Výběr mezi maticovým a řádkovým typem kamery určuje jaký další hardware a způsob záznamu obrazu bude systém používat.

Řádkové kamery jsou vhodné pro záznam pohybujiících se součástí. Typická úloha pro tento typ kamery je snímání rotující součásti tvaru válce, ale mimo tyto aplikace mají maticové kamery mnohem snadnější použití, s menšími finančními náklady oproti řádkovým kamerám, a proto jsou častěji používány.

Použití řádkových kamer je také vhodné pro aplikace, kdy má snímáný objekt charakter nekonečného proudu, jako při výrobě papíru, textilní látky atd. Maticové snímače v tomto případě poskytují menší rozlišení, oproti řádkovým a zároveň u nich vzniká problém se záznamem jednotlivých snímků nekonečného materiálu, jelikož část objektu v jednom snímku se může objevit v dalším pořízeném snímku a je nutná korekce. [1, 2]

2.3.1 Rozdělení snímačů

CCD – charge coupled device

Senzor se skládá z fotodiod, které můžou být uspořádány do řádkové nebo maticové varianty. CCD senzory využívají fotoefektu, kdy během expozičního času, je umožněn dopad fotonů na fotodiody, a vzniká tak elektrický náboj, v důsledku excitace elektronů. Vzniklé hodnoty náboje jsou během začátku dalšího expozičního času odstraněny ze všech pixelů a zároveň začíná záznam dalšího snímku. Sejmuté hodnoty jsou pomocí vertikálních registrů postupně přeneseny do horizontálních registrů. Na výstupu těchto horizontálních registrů dojde pomocí zesilovače k jejich převodu na hodnoty napětí. Pro větší počet snímků za vteřinu u vyšších rozlišení senzoru, se používá více výstupů se zesilovači, což přináší více výhod a nevýhod spojených s nimi. [1, 2]

CMOS – Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

U CMOS senzorů má každý pixel svůj vlastní zesilovač, a tak k převodu náboje na napětí dochází přímo v pixelu samotném. Sejmutí ze snímače tohoto senzoru je již v hodnotách napětí, nikoliv náboje jako u CCD senzorů. CMOS senzory mají nižší citlivost, jelikož je nutné pro každý pixel kompenzovat vliv šumu způsobený rozdílnými hodnotami zesílení a offsetu každého zesilovače, což je pro velký počet pixelu náročnější. [1, 2]

2.3.2 Elektronická závěrka

Pro oba typy senzorů je nutné řídit dobu expozice a následný přenos informace pomocí elektronické závěrky. Dle přenosu hodnot z pixelů můžeme rozdělit snímání obrazu na dva typy. [1, 2]

Rolling shutter

Jedná se o typ snímání obrazu, kdy odstranění generované hodnoty ze senzoru probíhá řádek po řádku, stejně tak jako čtení jednotlivých řádků. Vzniká zde časový offset mezi sousedícími řádky senzoru. Důsledkem tohoto časového offsetu je zkreslení pohybujícího se obrazu.

Global Shutter

Každý pixel má možnost uložit svoji generovanou hodnotu, toto umožňuje stejný začátek a konec expozice pro každý pixel. Pro uložení těchto hodnot je každý pixel doplněn přídatnými tranzistory, které zabírají více místa pro pixely, a snižují tak citlivost. CMOS senzory mají již sníženou citlivost, díky více zesilovačům, proto tento způsob snímání, s dobrou citlivostí senzoru, se může projevit značně vyšší cenou kamery.

2.3.3 Snímání barev

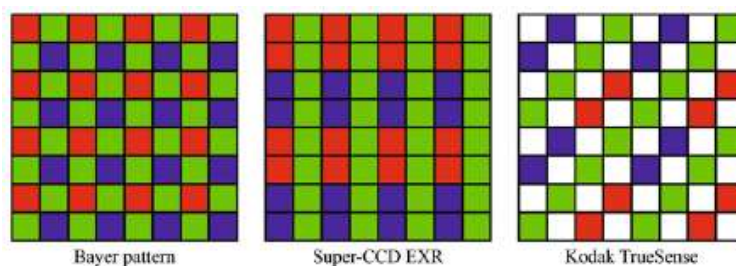
Při snímání polovodičovým snímačem, je jeden pixel schopen poskytnout pouze jednu hodnotu jasu, ale k posouzení snímané barvy, podobně jako u vnímání lidského oka, jsou nutné hodnoty tři. Barva je tedy výsledkem váženého průměru jasu okolních pixelů ve třech kanálech RGB. Tohoto lze dosáhnout několika způsoby. [2]

Kamery s třemi senzory

Světlo pro tento typ kamer je rozděleno do třech složek barevného spektra, pomocí rozdělovače paprsků. Každý ze tří senzorů snímá jinou část spektra a tvoří tak obraz v každém z nich. Výsledná barva je kombinací těchto tří obrazů v jeden finální. [1, 2]

Kamery s jedním senzorem

S pomocí barevných filtrů lze barvu určit i s jedním senzorem. Při aplikaci těchto barevných filtrů a dle použité mřížky, obr.6, dochází k dopadu světla v jediné oblasti spektra na jeden pixel. Toto se děje i pro ostatní pixely v okolí, ale pro jiné oblasti. Výsledná barva je výsledkem interpolace okolních pixelů. [1, 2]



Obr. 6: Reprezentace změny kružnice v různých vzdálenostech [1]

Nevýhodou tohoto typu provedení je snížené prostorové rozlišení, vzhledem k použití interpolace s okolních pixelů k určení barvy, a také snížená sensitivita, jelikož část světla je absorbována filtrem. [2]

2.3.4 Některé vlastnosti senzorů

Faktor vyplnění

Senzor se skládá s fotosenzitivních prvků, pixelů, a oblastí, které nejsou citlivé na světlo. Poměr mezi plochami těchto dvou oblastí se označuje jako faktor vyplnění a jeho hodnota ovlivňuje množství světla, které generuje náboj při dopadu na sensor. [2]

Velikost pixelů

Velikosti pixelů se pohybují v rámci jednotek, až desetin mikrometrů. Čím větší je pixel, tím lepší je jeho citlivost na světlo, jelikož má větší plochu, na kterou světlo může dopadat a s jeho velikostí roste i dynamický rozsah pro generované hodnoty náboje. [1, 2]

Rozlišení kamery

Je definováno jako počet řádků a sloupců senzoru kamery v pixelech. Pro řádkové kamery se uvádí pouze počet sloupců, jelikož má jednosměrné rozlišení. [2]

Prostorové rozlišení

Spočívá v přiřazení snímaného objektu k senzoru kamery. Závisí na zorném poli a rozlišení kamery. Jednotkou může být mm/pixel. Některé kamery se liší v prostorovém rozlišení v horizontálním a vertikálním směru, protože jejich senzory nemají čtvercové pixely. Dle [1] pro výpočet rozlišení kamery a prostorového rozlišení můžeme využít následující vztahy.

$$R_s = \frac{FOV}{R_c} = \frac{S_f}{N_f} \quad (6)$$

$$R_c = FOV \cdot \frac{N_f}{S_f} \quad (7)$$

R_s	prostorové rozlišení
R_c	rozlišení kamery
FOV	zorné pole
S_f	velikost nejmenšího prvku
N_f	počet pixelů přiřazené nejmenšímu prvku

Spektrální citlivost

Jedná se o citlivost materiálu senzoru na různé vlnové délky. Světlo s kratší vlnovou délkou může být na povrchu senzoru zcela absorbováno. Vzniklý náboj tak nelze sejmout. Opačně u světla s delší vlnovou délkou dochází k pronikání světla do materiálu dříve, než by došlo k tvorbě náboje. Správný výběr zdroje osvětlení s vhodnou vlnovou délkou pro daný typ senzoru, zlepšuje celkový kontrast. Použití jasného světla v oblasti spektra, na které není použitý senzor citlivý, produkuje pouze střední hodnoty šedi. [1, 2]

Šum signálu

Spolu s informací o objektu nám do obrazu vstupuje také šum. Zdrojem mohou být samotné fotony, výchyly zesílení při převodu vzniklého náboje nebo tepelný šum elektroniky senzoru a další. [2]

2.3.5 Efekty při záznamu obrazu

Rozmazání obrazu

K tomuto efektu dochází u CCD senzorů, díky neúplnému stínění registrů před světlem. Pokud je čas přesunu nábojů do vertikálních registrů příliš dlouhý nebo čas závěrky příliš krátký, přidá se k nábojům další hodnota náboje z dopadajícího světla. Pro kompenzaci se používá přerušované světlo. [1, 2]

Blooming

Při snímání velice jasného světla může dojít k přesycení pixelu a přenosu náboje na okolní pixely. CMOS senzory toto kompenzují pro každý pixel zvlášť, zatím co CCD senzory mají výpusť pro přebytečné náboje. [1, 2]

2.3.6 Záznam obrazu digitální kamery

Kromě expozičního času jsou u digitálních kamer další parametry, které je třeba řídit.

Zesílení signálů obrazu

Kromě změny expozičního času a parametrů objektivu pro dosažení požadovaného jasů, je možné tuto hodnotu zesílit při A/D převodu signálu. Šum vstupující do obrazu je zesílen stejně jako ostatní hodnoty jasů. [2]

Řízení osvětlení.

Mnoho aplikací vyžaduje přerušované osvětlení, které je nutné v jistých časových okamžicích vypnout a zapnout. Digitální kamery jsou obvykle vybaveny výstupy pro řízení osvětlení přímo připojeného ke kameře nebo externě, které nemusí patřit do vybavení kamery. [2]

Pořízení snímku

Řízení záznamu snímku pomocí spouště v ten okamžik, kdy se objekt nachází v zorném poli kamery, je zcela kritické pro správnou funkci systému. Spoušť může být realizována pomocí hardwaru, jako je světelná závora, kdy při přerušení objektem je vyslán signál k připojené kameře s minimálním zpožděním. Další variantou je softwarová spoušť, která je realizována softwarem pro zpracování obrazu, tedy softwarovým příkazem, který se může provádět v určitém časovém intervalu. [2]

Snímková frekvence

Počet snímků za vteřinu je ovlivněn expozičním časem, rychlostí čtení, sejmutí obrazu a přenosu obrazu na zařízení pro zpracování obrazu.

Zvýšení snímkové frekvence lze dosáhnout snímáním menšího počtu pixelů, případně u CCD senzorů lze provést kombinaci expozice senzoru pro další snímek a zároveň sejmutí předešlého snímku a snížení tak celkového času mezi snímky.

Menšího počtu snímaných pixelů lze dosáhnout u senzorů, které podporují částečné snímání, tedy snímání pixelů pouze pro oblasti zájmu kontrolovaného objektu. Další metodou je „binning“, hardwarové sdružování pixelů, kdy se náboje okolních pixelů koncentrují v jedné oblasti, „super pixelu“, což poskytuje kromě menšího počtu pixelů také výhody a nevýhody spojené s velikostí pixelů. [2]

2.4 Hardware kamer systému strojového vidění

Senzor vidění

Patří zde nejmenší typy zařízení, které jsou určeny k méně náročným aplikacím. Senzor vidění bývá často určen pouze k několika úkolům a není tak flexibilní jako chytré kamery. Nicméně senzor speciálně vyroben pro konkrétní aplikaci může poskytnout lepší výsledky v porovnání s chytrými kamerami. K senzorům se obvykle připojuje přídavné zařízení pro konfiguraci a zobrazení obrazu. [1]

Chytré kamery

Slouží pro aplikace, kde by velikost kamerového systému a velikost zařízení pro zpracování obrazu nebyla možná, ať už díky malému prostoru pro instalaci nebo špatným podmínkám v instalovaném prostředí. Smart kamery jsou tedy kompaktní zařízení vybavené procesorem pro zpracování obrazu, určené pro středně náročné aplikace vyhodnocené přímo na místě. Chytré kamery tak poskytují kompromis mezi výkonem, velikostí a cenou. [1]

Vestavěné systémy strojového vidění

Tyto systémy jsou určeny pro většinu aplikací strojového vidění. Náročnost aplikace ovlivňuje použitý hardware zařízení pro zpracování obrazu, které je odděleno od kamery a komunikuje s ní některým ze standardních rozhraní (obr.7), které může spojovat i více kamer současně. [1]

2.5 Rozhraní kamer

2.5.1 CameraLink

Standard pro sériovou komunikaci vyvinut speciálně pro vysokorychlostní kamerové systémy, který je spravován organizací AIA, Automated Imaging Association, stejně jako USB3, GigE a dalších. Pro CameraLink je nutné použít specifickou kartu pro záznam videa a kameru podporující tento standard. Tato karta „Frame grabber“ slouží pro přenos obrazové informace mezi PC a kamerou. Zároveň může předzpracovávat obraz za účelem snížení zátěže počítače určeného pro zpracování obrazu. [1, 2]

2.5.2 CameraLink HS

Je oddělený standard od předchozího bez zpětné kompatibility určený pro aplikace s vysokým rozlišením obrazu. Pro velké šířky pásma poskytuje rozsah přenosu od 300 MB/s až po 16 GB/s rozdělených na 2,1 GB/s po osmi kabelech. [1]

2.5.3 FireWire

IEEE 1394 je sériový komunikační standard s verzemi IEEE1394a, IEEE1394b se zpětnou kompatibilitou mezi novější 1394 b a starší verzí 1394 a. Výhodou FireWire je podpora Plug-and-Play s možností napájení pro velké množství připojených zařízení. Nevýhodou může být špatná odolnost kabelů proti podmínkám v prostředí průmyslu nebo problémy s kompatibilitou PC a zařízením, díky menšímu rozšíření tohoto standardu. [1]

2.5.4 USB

Tvoří dnes většinu rozhraní mezi PC a periferiemi. Jeho rozšíření tak zaručuje snadnou kompatibilitu mezi použitým zařízením a zároveň poskytuje většinu funkcí jako předešlé standardy. Nevýhodou USB, aspoň u verze 2.0, je o něco vyšší nápor na CPU, a tedy horší alternativa pro real time aplikace. Standard USB3 pro systémy strojového vidění využívá plně možnosti nabízené USB 3.0. Výhodou je například rozšířená šířka pásma a odstranění nevýhod z předešlých verzí. [1, 2]

2.5.5 GigE

Ethernet i přesto že původně nebyl určený k připojení periferií nebo pro jejich napájení, se stal spolu se standardem GigE velice rozšířeným rozhraním pro systémy strojového vidění, díky nabízené šířce pásma, nízké ceně a lehkosti zapojení kabeláže spolu s dalšími specifikacemi spojené s tímto standardem. [1, 2]

Interface	IEEE1394a	USB2.0	IEEE1394b	GigE(802.3AB)	Camera link	USB3.0
Maximum bit rate (Mbps)	400	480	800	1000	>2000	5000
Isochronous (video) mode	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Bandwidth/total usable bandwidth (MB s^{-1})	Video: 32 (80%) Total: 40	45 (90%)	Video: 64 (80%) Total: 80	120	255 (base) 680 (full)	~400
Topology	Peer-to-peer	Master-slave, OTG (On the go)	Peer-to-peer	Networked, P2P	Master-slave	Enhanced master-slave
Single cable distance in copper or other media	4.5 m, worst case; 10 m, typical camera application; 300 m GOF	5–8 m	8 m copper; 300 m GOF	25 m, 100 m (CAT5)	10 m	3 m worst case, 8 m possible; GOF: >100 m
Max. distance copper using repeaters (m)	70	30	70	n.a	30	~15
Bus power	Up to 1.5 A and 36 V	Up to 0.5 A and 5 V	Up to 1.5 A and 36 V	Default: none; power over ethernet (POE)	Default: none; power over CL (POCL)	Up to 0.9 A and 5 V
Motherboard support	Many	Virtually all	Rare	Virtually all	None	Virtually all
CPU load	Very low	Low	Very low	Low to middle	n.a.	Very low
OS support	Windows, Linux	Windows, Linux	Windows, Linux	Windows, Linux	Depending on vendor	Windows, Linux
Main applications	Multimedia electronics	PC-centric serial Input/output	Multimedia electronics	Networking	High speed camera interface	PC-centric serial input/output
Camera standard	IIDC V1.3	None (?)	IIDC V1.31	GigE Vision; GenICam	CL	USB3 Vision
Devices per Bus	63; 4 (8) simultaneous/card, according to 4 (8) DMA's type	Theoretically:127; in practice: <32	63; 4 simult./card, according to 4 DMA's type	Dependent on software and available bandwidth	1 per interface	Theoretically: 255; in practice: <32

Obr. 7: Přehled rozhraní kamerových systému strojového vidění dle [1]

2.6 Zpracování obrazu

2.6.1 Operace s pixely

Vycházejí pouze z jedné hodnoty jasu pixelu snímaného objektu pro vytvoření jasu pixelu vzniklého obrazu. Patří zde obrazová aritmetika, což jsou funkce kombinující více obrazů, například referenční, a ten který je kontrolován. Tyto operace jde dále dělit na homogenní a nehomogenní obrazovou aritmetiku. Homogenní používají stejnou transformační funkci pro všechny hodnoty pixelů, zatímco nehomogenní mění transformační funkci dle pozice pixelů na obrazu. Tyto operace lze provést pro všechny pixely obrazu nebo pouze pro lokální oblast vyznačenou například obdélníkem oblasti zájmu či segmentem odděleným od obrazu. [2]

Transformace odstínu šedi

Pomocí transformační funkce f , jejíž vstup je odstín šedi snímaného objektu o prostorových souřadnicích i, j , dostáváme jako výstup hodnotu šedi obrazu na stejných souřadnicích jako na objektu. Za počáteční pixel (0,0) se obvykle považuje levý horní pixel.

$$O_{ij} = f(I_{ij}) \quad (8)$$

Pro zrychlení procesu transformace se využívá vyhledávacích tabulek, které pro každou možnou hodnotu odstínu šedi objektu, přiřazují hodnotu odstínu šedi obrazu. Tedy pro hloubku 8 bitů se jedná o 256 hodnot, kde 0 reprezentuje zcela černou a hodnota 255 zcela bílou barvu. Mimo hodnoty šedi lze vyhledávací tabulky použít i u barevných hodnot jednotlivých kanálů. [2]

Normalizace kontrastu

Normalizace kontrastu na obrazu způsobí zastoupení všech hodnot odstínu šedi. g_{min} a g_{max} zde reprezentují minimální a maximální hodnoty šedi celého obrazu před transformací. Hodnoty mimo rozsah se zaokrouhlí na 0, či 255. [2]

$$O_{ij} = \frac{255}{g_{max} - g_{min}} \cdot (I_{ij} - g_{min}) \quad (9)$$

Ekvalizace histogramu

Pomocí transformační funkce lze upravit rozdělení výskytu hodnot odstínů šedi obrazu tak, aby vzniklý histogram odstínů šedi korespondoval s předem daným rozdělením. Obraz, ve kterém je malý rozdíl mezi odstíny šedi, má svůj původní histogram rozšířen i do krajních oblastí odstínů šedi a může dojít k zvýšení kontrastu. Každý odstín šedi g má přiřazen novou hodnotu g' , která je vypočítána z poměru Ni , což je počet pixelů na obrazu s daným odstínem šedi a celkového počtu pixelů obrazu N . [2]

$$g' = 255 \cdot \sum_{i=0}^g \frac{Ni}{N} \quad (10)$$

Obrazová aritmetika

Spočívá v kombinaci pixelů z více jak jednoho obrazu, které vstupují do nehomogenní transformační funkce a ovlivňují výsledný odstín šedi. Patří zde operace jako sčítání, odečítání, průměr, minimum, maximum a dělení hodnot šedi obrazů.

Sčítání obrazů je operace, u které se jednotlivé hodnoty odstínu šedi sečtou a vzniká nová hodnota. Tato hodnota, pokud překračuje meze maximální hodnoty šedi, může být jednoduše snížena na maximální hodnotu 255. Další více náročné metody jsou. Použití průměrné hodnoty šedi několika obrazů, kdy dojde k odstranění vstupujícího šumu, avšak informace v obrazu je zachována. Škálování k maximu a minimu, kdy jsou všechny hodnoty šedi o jakékoliv hodnotě zaznamenány a následně upraveny podle maximální a minimální možné hodnoty, 0 a 255.

Odečítání obrazů je metoda, u které naopak hodnoty šedi nepřekračují maximum, ale minimum možné hodnoty šedi a je nutná kompenzace. Lze použít absolutní hodnotu po odečtení, kdy ve výsledném obrazu vyniknou pouze rozdíly mezi obrazy. Další způsob je pozitivní a negativní „clipping“. U pozitivního dojde k odstranění pozitivních hodnot po odečtení, takže ve výsledném obrazu jsou zachovány pouze negativní hodnoty, tedy místa, která byla světlejší ve druhém z odečítaných obrazů než v tom prvním. Opak je negativní, kde jsou zachovány oblasti, které byly tmavší. Škálování do intervalu minimální a maximální hodnoty je také možné. Pixely o stejných hodnotách z více obrazů

dostanou střední hodnoty šedi a ty, které byly na prvním obrazu světlejší zůstanou světlé, a naopak které byly tmavší dostanou tmavou hodnotu.

Minimum a maximum více obrazů spočívá v použití jednoho z těchto dvou operátorů kdy u minima je výstupní hodnota obrazu tmavší ze dvou předchozích a u maxima je zachována světlejší.

Dělení a úprava stínění se používá k odstranění pravidelné odchylky jasu vzniklé na obrazu. Výsledný jas je výsledkem poměru hodnoty šedi snímaného obrazu a referenčního snímku, který je následně násobený jasnem referenčního snímku. Referenční snímek je nutné pořídit pro stejnou oblast jako budoucí obraz a se stejnými podmínkami osvětlení. [1, 2]

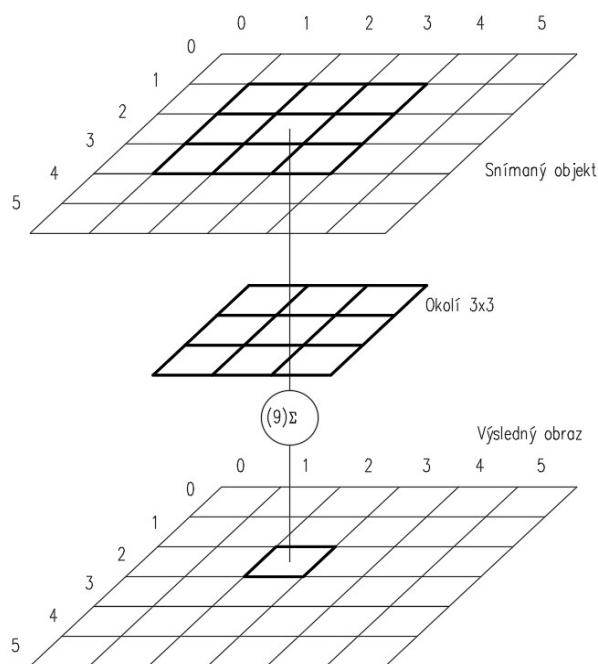
2.6.2 Lokální operace

Tyto operace pro přiřazení hodnoty jasu obrazu z původního objektu používají jak konkrétní pixel objektu, tak i pixely, které patří do jeho okolí (obr. 8). [2]

Lineární filtry

Výsledná hodnota šedi $g(x', y')$ na specifických souřadnicích je výsledkem váženého součtu všech hodnot šedi v okolí středového pixelu. R , C reprezentují počet řádků a sloupců v okolí, dx a dy jsou vzdálenosti k levému hornímu rohu okolí posuzovaného pixelu. Hodnota s je často suma všech vah filtrů f_{cr} . Změnou vah dosahujeme s různými filtry různých výsledků. [1, 2]

$$g(x', y') = \frac{1}{s} \sum_{r=0}^{R-1} \sum_{c=0}^{C-1} f_{cr}(x' - dx + c, y' - dy + r) \quad (11)$$



Obr. 8: okolí, maska filtru [2]

Vyhlazovací filtr

Jedná se o filtry, které se zbavují efektů šumu a malých odchylek odstínů šedi pomocí přiřazení průměrné hodnoty šedi z okolí vybranému pixelu.

Pro okolí ve tvaru čtverce lze využít všechny pixely, které jsou jeho součástí, případně lze určité pixely zcela vynechat (12). Dosahujeme tak stejně uspokojivých výsledků s menší výpočetní náročností, a to bez značného vyhlazení oblastí, které by tento efekt mít neměli. Další možností je úprava okolí pro místa v obrazu, které jsou pod specifickým úhlem.

$$\frac{1}{5} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Aplikace jednoduchého čtvercového vyhlazovacího filtru na obraz může po odstranění šumu zanechat některé části nečitelné. Optimální filtr má svoje váhy rozděleny dle aproximace Gaussovi křivky (13). Účinnost tohoto filtru závisí na velikosti jeho okolí, tedy zvyšující množství diskretizace pro malé velikosti znamená menší nároky na výpočet. [2]

$$\frac{1}{28} \begin{pmatrix} 1 & 4 & 1 \\ 4 & 12 & 4 \\ 1 & 4 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

Hranový filtr

Opakem vyhlazovacích filtrů, které mají charakter filtrů s dolní propustí, jsou hranové filtry s charakterem horní propustí. Variantou může být úprava vnitřních vah k detekci hran v určitém směru (14). Zde je opět nutné škálování hodnot vzhledem k vzniku jak pozitivních, tak i negativních hodnot, které mohou překračovat mezní hodnoty šedi.

$$\frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

Pro škálování se využívá absolutní hodnoty, kdy se výsledná absolutní hodnota vynásobí příslušným škálovým faktorem, který ji vrací zpět do intervalu možných hodnot šedi. Další varianty jsou zachování pouze pozitivních a negativních hodnot nebo relativní hodnoty, kdy je interval opět upraven tak, že hodnoty mimo hranu se jeví jako středně šedé, pozitivní hodnoty hrany jsou zcela bílé a negativní zcela černé.

Existují další verze filtrů, které zvýrazňují hrany ve všech směrech. Příkladem může být použití Laplaceova operátoru nebo filtrování hran v různých směrech a následná kombinace směrů v jeden obraz. [2]

Příklady nelineárních filtrů

Mediánový filtr

Mění hodnoty šedi podle mediánu uspořádaných hodnot šedi v okolí. Dosahuje tak snížení efektu šumu a zároveň nedochází ke zkreslení hran. Jeho uspořádání lze opět přizpůsobit pro specifické oblasti obrazu. [2]

Morfologické filtry

Eroze využívá operátoru minima aplikovaného na okolí pro výslednou hodnotu šedi. Pokud okolí obsahuje pixel o nízké hodnotě šedi, 0 značí černou barvu, tak má výsledný pixel přiřazenou tmavou barvu.

Dilatace je opačná operace k erozi, využívá operátoru maxima a její efekt způsobuje zmenšení tmavých pixelů na obrazu.

Otevření je kombinace eroze a dilatace. Jak již bylo zmíněno, eroze způsobí zvětšení tmavých míst na obrazu, tedy případné tmavé objekty se světlými místy jsou nyní tvořeny celistvou tmavou plochou. Zároveň dojde i k zvětšení tmavých pixelů šumu. Následná dilatace je opět zmenší, ale tmavý objekt bude stále celistvě tmavý.

Zavření je kombinace dilatace a eroze. Dilatace odstraní tmavé pixely v okolí a způsobí tak odstranění tmavých pixelů vytvořené šumem. Dojde také k rozšíření světlých pixelů, takže tmavé objekty mohou mít světlá místa. Následná eroze tyto světlá místa opět zmenšuje. Výsledkem je tedy odstranění tmavých pixelů šumu a částečná celistvost tmavých objektů obrazu. [2]

Min/Max filtr

Výsledná hodnota šedi je rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou v okolí. Efektivně tak zvětšuje odchylky a variace v obrazu a zároveň zvětšuje celistvé oblasti. Odchylky ať už tmavší nebo světlejší se na obrazu jeví stejně světlé. [2]

2.6.3 Segmentace objektu z obrazu

Pro většinu typů aplikací je nutné extrahovat objekt, myšleno jako část obrazu, který je kontrolována ze snímku. Příkladem aplikace bez nutnosti segmentace může být inspekce povrchu materiálu, kde jsou informace o něm získány přímo z analýzy povrchu. [2]

Oblasti zájmu ROI

Lze je definovat podle vzniklého kontrastu obrazu nebo manuálně uživatelem.

Jedná se o oblasti, které jsou kontrolovány, předzpracovány, filtrovány atd. Manuálně jsou definovány například pomocí čtverce umístěném na obrazu, jehož existence omezuje oblast nutnou pro kontrolu a zkracuje tak výpočetní čas.

Pokud tedy existuje na obrazu například štítek s vyrytými znaky určenými ke kontrole, je možné tento štítek označit za oblast zájmu. Jeho segmentaci lze provést automaticky, pokud dostatečně vyniká svým kontrastem, což je mnohem snadnější než hledání jednotlivých vyrytých znaků po celém obrazu.

Další možností, pokud je pozice štítku před kamerou vždy ve stejné pozici s určitou tolerancí, je umístit na toto místo manuálně čtverec, oblast zájmu, který bude štítek vždy obsahovat. Vzniká zde ale nutnost kompromisu mezi velikostí štítku a plochou určenou ke kontrole, proto je malá tolerance pozice objektu před kamerou tak důležitá. [1, 2]

Binární segmentace

Jsou metody segmentace, které pracují s prahem, přechodem mezi dvěma hodnotami, a to černou a bílou oblastí odstínů šedi na obrazu. Parametrů, které tyto metody rozdělují na různé typy je několik. Příkladem může být jakým způsobem přiřazují odstíny šedi obrazu do těchto dvou binárních hodnot, a jak reprezentují segmentovaný objekt. Reprezentace může být konturová, kde je objekt definován od nalezených hran směrem dovnitř, nebo lze objekt reprezentovat jeho oblastí. Zde se vychází z jednoho předpokládaného odstínu šedi našeho objektu a tuto oblast pixelu dále rozšiřujeme směrem ven, až narazíme na pixely, které mají jiný odstín než náš objekt. [1, 2]

Definice prahu, přechodu

Prahování určuje, zda ve výsledném binárním obrazu nebo pouze části obrazu s binární segmentací, bude určitý odstín šedi reprezentovat bílou, nebo černou barvu.

Globální práh představuje jednu hodnotu šedi, která určuje pomezí mezi černým a bílým odstínem šedi. Překročením této hodnoty dostane filtrovaný pixel hodnotu zcela bílé barvy. Globální hodnota není zcela dobrá volba pro obraz s velkou variací odstínů šedi, jelikož původní objekt může po segmentaci zcela zmizet nebo se rozpadnout.

Řešením může být použití lokálního prahu, tedy použití různých prahových hodnot šedi, například pro různé oblasti zájmů. [2]

Analýza histogramu a určení prahu

Pro analýzu jasů pixelů obrazu a určení prahových hodnot, se většinou používá záznam v histogramu. Každá hodnota nebo skupina hodnot má zaznamenanou frekvenci výskytu. Určení prahu může vycházet z hodnoty mezi vrcholy bimodálního rozdělení histogramu, kde vrcholy značí nečastější hodnoty šedi pozadí objektu a objektu samotného.

Prahování s rozsahem

Reálné objekty nemají vždy stále uspořádané odstíny šedi pozadí a objektu. Pozadí může být středně šedé a objekt kombinací černé a bílé atd. Důvodem této deviace může být jak barva pozadí a objektu, ale také osvětlení, které nám ještě více změní nestálé podmínky. Normální segmentace určuje jednu hodnotu, která je prahová pro určitou oblast, ale pro tyto nestálé situace může opět dojít ke kompletnímu nebo částečnému rozpadu pozadí a objektu.

Řešením pro takové situace je například adaptace vyhledávacích tabulek na takové situace, avšak ty musejí být vytvořeny pro všechny hodnoty obrazu nebo okolí. Dalším řešením je kromě jedné prahové hodnoty pro okolí či celý obraz, přidat opět další práh, který mění logicky bílé hodnoty opět na logicky černé. To umožňuje segmentaci míst se střední hodnotou šedi bez jejich rozpadu, a to s menšími výpočetní náročností jako u vyhledávacích tabulek. [2]

Prahování bez stanovených hodnot

Pro určení logické bílé a černé nemusí být použity pouze mezní hodnoty, ale lze je třeba určit ze střední hodnoty okolí pro každý pixel zvlášť. Velké množství kombinací se nabízí při použití prahování s více hodnotami v kombinaci s různými filtry, kterými dosahujeme jiných výsledků segmentace. [2]

Kontura objektu

Další možnost pro segmentaci a vytvoření hledaného objektu v obraze je hledáním jeho kontury. Jedná se o uzavřený obrys, čaru skládající se z hraničních pixelů objektu. Hledání probíhá v oblasti zájmu, kde podle barvy objektu dojde k identifikaci prvního tmavého nebo světlého, přechodového pixelu. Ten se liší barvou od pozadí, a je tedy označen jako hraniční. Následuje hledání v jeho okolí, a to v horizontálním vertikálním nebo diagonálním směru. Tímto způsobem jsou vyhledávány hraniční pixely ve směru hodinových ručiček, nebo naopak, až je opět nalezen první hraniční pixel. [1, 2]

2.6.4 Šablony

Jedná se o metodu, která oproti prahování a hledání kontur, tedy postupného vytváření objektu z obrazu, již předpokládá jeho existenci a snažíme se ho pouze najít. Hlavní funkcí je přiřazení již známého objektu, šablony po celém binárním obraze a výpočet korelace tohoto místa s daným objektem. Pokud hodnota korelace dosáhne dostatečně vysoké hodnoty, algoritmus konstatuje, že se jedná o daný objekt. Tato metoda oproti segmentaci detekuje i objekty, které nemají spojitou konturu. [2]

Detekce hran objektu

Další příklad hledání již existujícího objektu v obraze je pomocí filtrovaných hran, tudíž jsou velice dobře identifikovatelné a obsahují i informace o směru hrany v podobě gradientu. Zde jsou uvedeny některé používané metody.

Hledání podle tvaru využívá výpočet koeficientu podobnosti, ale oproti hledání šablon se nejedná o korelaci, ale sumu skalárních součinů vektorů gradientu hrany obrazu a hran objektu. Pokud mnoho pixelů hrany na objektu odpovídá směru hrany na referenčním objektu bude jejich skalární součet větší než v případě zcela opačných nebo jenom částečně shodném směru hran.

Zobecněná Houghova transformace pracuje s R – tabulkou ve které je záznam z šablony obrazu pro všechny body hran. Záznam je tvořen vzdáleností bodu hrany od jistého referenčního bodu v šabloně a jeho směru vzhledem k referenčnímu bodu. Z těchto dvou údajů lze určit pozici objektu z šablony. Samotné hledání spočívá ve výpočtu této pozice pro body hran v obraze. Pokud se k bodům hrany objektu s přidělenými parametry z R -tabulky vypočítají stejné hodnoty pozice, které se shodují s naší šablonovou, jedná se o náš hledaný objekt.

Shoda geometrie, je velice účinná metoda hledání jednoduchých objektů tvořených z často opakovaných geometrických tvarů, například rovnými čarami. Nejprve se pro obraz provede hledání všech typů čar a následně dochází k jejich kombinacím. V případě že nalezené čáry v aktuálním uspořádání odpovídají tomu, co je na referenčním objektu, zaznamená se jeho nálezy v obraze. [1, 2]

2.6.5 Detekce značení

1 D a 2 D kódy

Pro detekci čárových kódů se používají specializované algoritmy pro jednotlivé typy, které vycházejí z jejich charakteristického profilu šedi. V definované oblasti zájmu dojde ke kontrole každého řádku a sloupce. U nich jsou porovnány jejich profily šedi s těmi charakteristickými pro typy čárových kódů. Pro 2 D čárové kódy je kontrola obdobná, a navíc pro případ poškození jsou u nich použity korekční metody, které umožní kód přečíst i do určité míry poškození. [2]

Detekce znaků a písmen

Při hledání a identifikaci znaků dochází k jejich segmentaci z oblasti zájmu a následné úpravě pro jejich klasifikaci. Tato úprava spočívá ve škálování obrazu a normalizaci odstínu šedi, tak aby každý segmentovaný znak měl stejnou reprezentaci. Klasifikace je proces, při kterém je segmentovaná reprezentace přiřazena k některému ze znaků, například obraz písmena A má přiřazen ASCII hodnotu 65₁₀ [2]

2.6.6 Měření rozměrů součástí

Přesnost měření je hlavním kritériem pro ohodnocení výkonu systému. Jedná se o nejmenší prvek obrazu, který je možno zaznamenat a měřit. Závisí na softwarových algoritmech a dobrém kontrastu. Špatný kontrast může způsobit horší rozeznávání defektů, i když jsou zaznamenány. Na druhou stranu při dobrém kontrastu a použití vhodných algoritmů lze dosáhnout přesnosti větší jak jeden pixel.

Aplikace měření pro snímek mohou být následující. Kontrola montáže, zda se vyskytují všechny objekty, které mají být přítomny. Jedná se tedy o ověření přítomnosti nějakého prvku či součásti. Kontrola tvaru, tedy jestli objekt nemá příliš velké defekty od ideálního tvaru, jako rovinnost, souosost čar atd. Kontrola rozměrů již často využívá algoritmů pro přesnost větší jak jeden pixel a jsou nutné stále podmínky pro opakovatelnost těchto měření. Pro převod pixelů na další jednotky je nutná kalibrace. [2]

Geometrický střed

Pro měření lze využít výpočtu geometrického středu objektu z průměru vzdáleností všech jeho bodů a plochy, případně pouze jeho kontury. Jeho pozici lze dále využít jako základ pro další měření, jelikož jeho pozici lze vypočítat s přesností větší jak jeden pixel. [2]

Vzdálenost kontur

Zde existuje několik možností jak, a kterou vzdálenost vlastně měřit, jelikož kontura se skládá z mnoha bodů. Příkladem pro měření může být maximální a minimální vzdálenost kontur dvou objektů. [1, 2]

Měření úhlu

Úhel jedné nebo více součástí se často posuzuje podle vytvořené referenční čáry k objektu pod určitým úhlem k jedné z os snímku. Úhel je potom možné určit například z geometrického středu nebo hrany objektu v kombinaci s referenční čarou. [1, 2]

3 VÝROBCI KAMER STROJOVÉHO VIDĚNÍ

Na trhu je dnes mnoho výrobců zaměřujících se více či méně na systémy strojového vidění. Zde jsou uvedeni někteří zástupci těchto výrobců spolu s vybranými parametry vzhledem k dostupnosti těchto informací od výrobce a možnosti porovnání.

3.1 Kamery firmy Cognex

Americký výrobce senzorů strojového vidění se zastoupením ve více jak 20 zemích světa. Vývěr produktů k systémům strojového vidění je velice rozsáhlý, a to jak pro 2 D a 3 D systémy. Aplikace těchto systémů najdou uplatnění jak u farmaceutického odvětví, tak i automobilového průmyslu.

In-sight Explorer

Je softwarový interface pracující se všemi kamerami od společnosti Cognex, který je zaměřen na jednoduché programování uživatelem, který v této oblasti nemusí být zkušený. V režimu Easy builder si uživatel vybírá mezi funkcemi použitelných u dané série kamer. Ty spadají do částí připojení a řízení kamerového systému, zpracování obrazu a nastavení komunikace. Další režim pro tvorbu aplikace měření je spreadsheet view. Zde jsou aplikace tvořeny v tabulkovém kalkulátoru, kde jsou zobrazeny přímo k editaci Easy builder funkce nebo lze tvořit nové s již přítomných částí. Možnosti tvorby skriptů jsou zde v jazyce JavaScript. [6]

In-sight série 2000

Velice kompaktní senzor vidění, který však poskytuje řadu funkcí, jako je ověřování přítomnosti, kontrola hran a měření rozměrů součástí. Rozlišení této série je ve variacích 640 x 480, což je standart pro všechny série, až po 1280 x 960 pixelů. Velkou výhodou kamer této série je jejich modulárnost hardwaru a softwaru což poskytuje velkou flexibilitu a možnost pořízení kamery zcela na míru konkrétního řešení. Senzor má k dispozici řadu objektivů, které lze jednoduše měnit pro požadované zorné pole a pracovní vzdálenost. Senzor kamery, 1/3" CMOS senzor, umožňuje snímání jak černobílé, tak barevného obrazu. Kamera může být vybavena vlastním kruhovým osvětlením v červené, modré nebo IR LED variantě. Zde je opět možnost jednoduché výměny spolu s řadou filtrů a ochranných krytů polarizující světlo. Rychlost záznamu je zde od 40 až po 75 snímků za vteřinu a závisí u většiny kamer na rozlišení, ale i na barvě snímku Ukázka kamery této série obr 9. [6]



Obr. 9: Série 2000 [6]

verze	2000-110	2000-120	2000-130	2000-230	2001-230
Senzor formát	1/3" CMOS				
snímání barev	Mono + Barva				
640x 480	ano	ano	ano	ano	ano
800x600	ne	ne	ano	ano	ano
1280x960	ne	ne	ne	ne	ano
Osvětlení	Difusní s bílým kruhovým osvětlením				
Variace osvětlení	červená, modrá, IR LED kruhové osvětlení, s filtry a polarizačním krytem				
Rychlost snímání	40 fps	55 fps	55 fps	55 fps	24fps
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, Modbus, TCP/IP, UDP, FTP a další				
Vstupy a výstupy	Spoušť snímání, obecný vstup, obecné rozšiřitelné výstupy				

Tab. 1: In-sight série 2000 [6]

In-sight série 5000

Tato série kamer se zaměřuje na rychlost spolu s velkým rozlišením, až po 2448 x 2048 pixelů pro kontrolu rozsáhlých ploch. Softwarové vybavení již není tak omezené oproti sérii 2000 a poskytuje širokou nabídku z knihovny Easy builder. Příkladem může být funkce Bead inspection pro kontrolu aplikace lepidla například v automobilovém průmyslu. Kamera má k dispozici 24 bitové zpracování natrénovaných barev k jednoduchému rozlišení částí k čemuž je vybavena 512 MB SDRAM, což je hodnota vyskytující se většiny kamer od této společnosti. Kamery jsou vybaveny 2/3" CCD senzorem pro snímání barev, případně černobílého obrazu. Rychlost záznamu je zde od 14 až po 16 snímků za vteřinu. Zástupce série na obr. 10. [6]



Obr. 10: Série 5000 [6]

verze	5603	5600	5610	5705	5705 C
Senzor formát	2/3" CMOS				
snímání barev	Mono + Barva				
640 x 480	ne	ano	ano	ne	ne
1600 x 1200	ano	ne	ne	ne	ne
2448 x 2048	ne	ne	ne	ano	ano
Osvětlení	Pouze externí osvětlení				
Variace osvětlení	----				
Rychlost snímání	14 fps	60 fps	60 fps	16 fps	16 fps
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, SMTP, Modbus, TCP/IP, UDP, FTP a další				
Vstupy a výstupy	Spoušť snímání, 2 vysokorychlostní výstupy, možné rozšířit modulem				

Tab. 2: In-sight série 5000 [6]

In-sight série 7000

Kamerové systémy v této sérii kombinují výkon a modularitu předchozích dvou sérií v jednu. Rozlišení se pohybuje do 2448 x 2048 pixelů. Možné aplikace těchto kamer jsou rozsáhlé díky již zmíněné modularitě osvětlení a objektivu, ale také rozšířené paměti pro pracovní program z 128 MB u série 5000 na 7 GB, kterou lze dále rozšířit SD kartou o 8 GB. Softwarové vybavení je také rozšířeno o patentované funkce. ORCMax, kontrola znaků a jejich automatický trénink pro jejich hledání. RedLine, velice přesné rozpoznání vzorů na snímku. SurfaceFX, zvýraznění 3 D charakteru objektu za pomoci osvětlení. Tyto kamerové systémy jsou doplněny LED indikátory přímo na kameře, jenž značí aktuální stav programu bez nutnosti externí obrazovky a zároveň podporují vzdálený přístup k inspekci. Kamery jsou vybaveny CMOS senzorem s globální závěrkou. Rychlost záznamu je zde od 17 až po 217 snímků za vteřinu. Vzhledem k širokému uplatnění a kompatibilitě byla kamera In-sight 7500 z této série použita jako součást návrhu a kontroly. Zástupce série na obr. 11. [6]

verze	7500	7800	7802	7902P	7905
Senzor formát	CMOS, 4,5 μm^2	CMOS, globální závěrka			
snímání barev	Mono + Barva			Mono	Mono + Barva
640 x 480	ano	ano	ne	ne	ne
1920 x 1200	ano	ne	ano	ano	ne
2448 x 2048	ne	ne	ne	ne	ano
Osvětlení	Osvětlení napájené kamerou nebo externě				
Variace osvětlení	červená, modrá, IR LED kruhové osvětlení, s filtry a polarizačním krytem				
Rychlost snímání	100 fps	165 fps	53 fps	55 fps	17 fps
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, SMTP, Modbus, TCP/IP, UDP, FTP a další				
Vstupy a výstupy	Spoušť snímání, 2 vysokorychlostní výstupy, možné rozšířit modulem				

Tab. 3: In-sight série 7000 [6]



Obr. 11: Série 7000 [6]

In-sight série 8000

Série 8000 je kompaktnější oproti sérii 7000 s podobným výkonem a vybavením, ale není zde velká možnost modulace objektivu a osvětlení, které je v tomto případě pouze externí. Tato série kamer je tedy vhodnější pro specifické aplikace na linkách, kde prostor není příliš dostupný, ale výkon nutný zejména třeba pro přesné řízení robotických ramen. Rozlišení se pohybuje do 2440 x 2048 pixelů a paměť pracovního programu je 14,5 GB. Zástupce série na obr. 12. [6]

verze	8100	8400	8402	8500P	8505P
Senzor formát	CMOS, globální závěrka				
snímání barev	Mono + Barva			Mono	Mono + Barva
640 x 480	ano	ano	ne	ano	ne
1600 x 1200	ne	ne	ano	ne	ne
2448 x 2048	ne	ne	ne	ne	ano
Osvětlení	Externí				
Variace osvětlení	----				
Rychlost snímání	135 fps	135 fps	33 fps	133 fps	17 fps
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, Modbus, TCP/IP, UDP				
Vstupy a výstupy	Spoušť snímání, 2 vysokorychlostní výstupy, možné rozšířit modulem				

Tab. 4: Insight série 8000 [6]



Obr. 12: Série 8000 [6]

In-sight série 9000

Určena ke snímání velkých ploch s větší vzdáleností od objektu pro nebezpečnější provozy. Rozlišení těchto kamer se pohybuje od 12 do 32 Mp dle nastavení ze softwaru s CMOS senzorem. Vybavené osvětlení je pouze externí a paměť pro pracovní programy se vrací na hodnotu 7 GB s SD rozšířením 8 GB. Oproti ostatním sériím je zde SDRAM rozšířena na 832 MB a je zde možnost použít funkci HDR+ pro vylepšení kontrastu na celé snímané ploše, a to i u barevné varianty oproti ostatním sériím. Zástupce série na obr. 13. [6]

verze	9912	9912 C	9902 L
Senzor formát	CMOS 3.45 μm^2		CMOS 7 μm^2
snímání barev	Mono	Barva	Mono
4096 x 3000	ano	ano	ne
2048 x 16384	ne	ne	ano
1024 x 16384	ne	ne	ano
Osvětlení	Externí		
Variace osvětlení	----		
Rychlost snímání	14 fps	8 fps	66 K řádků/s
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, Modbus, TCP/IP, UDP, FTP, IEEE1588		
Vstupy a výstupy	Spoušť snímání, 2 vysokorychlostní výstupy, možné rozšířit modulem		

Tab. 5: In-sight série 9000 [6]



Obr. 13: Série 9000 [6]

In-sight série D900

Série specificky navržena pro využití deep learning na aplikace, které jsou těžko řešitelné dle tradičními metodami. Aplikace mohou být čtení často měnících se znaků na objektu s různými povrchy nebo velké množství defektů s různých výrobních technologií, na které je třeba kontrolu adaptovat. Rozlišení těchto kamer se pohybuje od 1920x1200 do 2440 x 2048 pixelů. Senzory kamer jsou typu CMOS a většina z nich je pouze v jednom provedení snímání barev, černobílé a barevné. Paměť pro pracovní program je rozšířena na 16 GB a vnitřní SDRAM na 3 GB. Zástupce série na obr. 14. [6]

verze	D905M	D905C	D902M	D905C
Senzor formát	2/3" CMOS			1/2,3" CMOS
snímání barev	Mono	Barva	Mono	Barva
1920 x 1200	ne	ne	ano	ano
2448 x 2048	ano	ano	ne	ne
Osvětlení	Externí			
Variace osvětlení	----			
Rychlost snímání	26 fps	16 fps	51 fps	34 fps
Komunikace	GigE (10,100,1000)			
Vstupy a výstupy	Spoušť, 1 vstup, 2 výstupy, 2 IN/OUT konektory			

Tab. 6: In-sight série D900 [6]



Obr. 14: Série D900 [6]

Komunikace

Většina sérií podporuje protokoly jako Ethernet/IP, PROFIBUS, TCP, UDP, FTP RS-232 a další. U novějších sérií 7000 a nahoru se dostavuje podpora GigE a série D900 podporuje již pouze Ethernetovou komunikaci.

3.2 Kamery firmy Basler

Německý výrobce kamer a dalších součástí pro systémy strojového vidění. Produkty se vztahují k 2 D a 3 D systémům strojového vidění v oblasti automatizace výroby, lékařství a mikroskopii. [7]

Pylon Camera Software Suite

Software od společnosti Basler, který je vybaven rozhraním pro programování v C, C++, Visual Basic, Java a slouží pro nastavení všech parametrů použitých kamer a jejich komunikace. Skládá se ze tří nástrojů pro nastavení. Pylon Viewer, který konfiguruje obraz kamery. Pylon USB Configurator k nastavení USB parametrů a Pylon IP Configurator pro nastavení připojení zařízení skrze GigE [7]

Visual Applets

Vývojové prostředí pro tvorbu aplikací s hardwarem průmyslových kamer systémů strojového vidění nebo frame grabber použitý s kamerou. Programování probíhá v grafickém prostředí s diagramem datového toku. [7]

K výběru je velká knihovna 200 funkcí, které lze upravit nebo vytvořit nové. Výhodou tohoto programu je kompatibilita i s hardwarem dalších společností. Software není volně dostupný jako ostatní. [7]

Basler Ace 2 Basic a Pro

Série kamer je vybavena CMOS senzory s rozlišením od 2,3 do 24MP v barevné či černobílé variantě. Rychlost záznamu se pohybuje od 5 až po 160 snímků za vteřinu. Verze Pro má kromě PGI funkcí k vylepšení obrazu a kompenzace šumu a dalších obrazových chyb k dispozici kompresi obrazových dat pro zvýšení rychlosti, která tímto pro stejné rozlišení jako Basic verze zdvojnásobí. U komunikace jsou dva podporované standardy GigE a USB 3.0. Zástupci série na obr. 15. [7]

verze	a2A1920-51gm	a2A3840-13gc	a2A4504-5gm	a2A5328-15uc
Senzor formát	½,3“CMOS	1/1,8“CMOS	1,1“ CMOS	1,2“ CMOS
snímání barev	Mono	Barva	Mono	Barva
1920 x 1200	ano	ne	ne	ne
3840 x 2160	ne	ano	ne	ne
4504 x 4504	ne	ne	ano	ne
5320 x 4600	ne	ne	ne	ano
Osvětlení	Externí			
Variace osvětlení	----			
Rychlost snímání	51 fps	13fps	5 fps	15 fps
Komunikace	GigE	GigE	GigE	USB 3.0
Vstupy a výstupy	Spoušť snímání, 2 vysokorychlostní výstupy, možné rozšířit modulem			

Tab. 7: Basler Ace 2 Basic a Pro [7]



Obr. 15: Ace 2 basic a pro [7]

Série Basler Ace Classic, U, L

Jedná se o starší sérii, která má své rozlišení v rozsahu od standartního 640x480 až po 5380 x 3620, 20 MP. Výběr senzorů je zde z CCD a CMOS pro snímání barevného nebo černobílého obrazu. U komunikace je zde podporován navíc i standart CameraLink. Rychlost pořizování snímků se zde pohybuje od 7 do 90 fps. Verze U je vylepšením verze Classic v tom, že již podporuje PGI funkce pro zpracování obrazu. Rychlost v pořizování snímků je zde maximální o hodnotě 751 fps. Verze L je typ zaměřený na snímání velkých ploch a rychlostí záznamu. Varianty rozlišení se pohybují od 9 do 12 MP kde dosahují rychlostí záznamu s USB 3.0 30 fps. Zástupci série na obr. 16. [7]

verze	acA640-90gc	acA2500-14um	acA3800-10gc	acA4600-10uc
Senzor formát	1/3" CCD	1/2,5" CMOS	1/2,3" CMOS	1/2,3" CMOS
snímání barev	Barva	Barva	Mono	Barva
658 x 492	ano	ne	ne	ne
2592 x 1944	ne	ano	ne	ne
3840 x 2748	ne	ne	ano	ne
4608 x 3288	ne	ne	ne	ano
Osvětlení	Externí			
Variace osvětlení	----			
Rychlost snímání	90 fps	14 fps	10 fps	10 fps
Komunikace	GigE	USB 3.0	GigE	USB 3.0
Vstupy a výstupy	1 x DI + DO.	+ 2 obecné I/O	1 x DI + DO.	+ 2 obecné I/O

Tab. 8: Basler Ace Classic [7]

verze	acA640-300gm	acA1600-20uc	a2A4504-5gm	acA5472-17uc
Senzor formát	1/4" CMOS	1/1,8" CMOS	1/1,7" CMOS	1" CMOS
snímání barev	Mono	Barva	Mono	Barva
640 x 480	ano	ne	ne	ne
3840 x 2160	ne	ano	ne	ne
4024 x 3036	ne	ne	ano	ne
5472 x 3648	ne	ne	ne	ano
Osvětlení	Externí			
Variace osvětlení	----			
Rychlost snímání	340 fps	20fps	8 fps	17 fps
Komunikace	GigE	USB 3.0	GigE	USB 3.0
Vstupy a výstupy	1x DI, DO a obecný I/O	+ 2 obecné I/O	Stejně u acA640	+ 2 obecné I/O

Tab. 9: Basler Ace U [7]

verze	acA4096-11gm	acA4096-40um	acA4112-20uc	acA4112-30uc
Senzor formát	1" CMOS	1" CMOS	1,1" CMOS	1,1" CMOS
snímání barev	Mono	Mono	Barva	Barva
4096 x 2160	ano	ano	ne	ne
4096 x 3000	ne	ne	ano	ano
Osvětlení	Externí			
Variace osvětlení	----			
Rychlost snímání	12 fps	42fps	23 fps	30 fps
Komunikace	GigE	USB 3.0	GigE	USB 3.0
Vstupy a výstupy	1x DI, DO a obecný I/O	+ 2 obecné I/O	+ 2 obecné I/O	+ 2 obecné I/O

Tab. 10: Basler Ace L [7]



Obr. 16: Verze basic, U a L [7]

Série Basler Boost

Rozlišení těchto kamer se pohybuje od 9MP až po 44,7 MP, kde při tomto maximu dosahují rychlosti 15 snímků za vteřinu. Tyto vysoké hodnoty jsou dosahovány díky podpoře standardu CoaXpress, který je speciálně navržen pro vysokorychlostní přenos obrazových dat. Zástupce série na obr. 17 vlevo. [7]

verze	boA4096-93cc	boA4112-68cc	boA6500-36 cm	boA8100-16cc
Senzor formát	1" CMOS	1,1" CMOS	APS-C CMOS	35 mm" CMOS
snímání barev	Barva	Barva	Mono	Barva
4096 x 2168	ano	ne	ne	ne
4096 x 3000	ne	ano	ne	ne
6580 x 4935	ne	ne	ano	ne
8192 x 5460	ne	ne	ne	ano
Osvětlení	Externí			
Variace osvětlení	----			
Rychlost snímání	93 fps	68fps	35 fps	15 fps
Komunikace	CoaXPress			
Vstupy a výstupy	1x DI a 2 obecné I/O			

Tab. 11: Basler Ace Boost [7]

Série Basler Beat

Vybaveny CMOS senzory s globální závěrkou pouze s variantou rozlišení 12MP a rychlostí 61 snímků za vteřinu. Komunikace je realizována pouze standardem CameraLink. Zástupce série na obr. 17 vpravo. [7]

verze	beA4000-62kc	beA4000-62km
Senzor formát	1,75" CMOS	1,75" CMOS
snímání barev	Barva	Mono
4088 x 3070	ano	ne
4096 x 3072	ne	ano
Osvětlení	Externí	
Variace osvětlení	----	
Rychlost snímání	62 fps	62fps
Komunikace	CameraLink	
Vstupy a výstupy	-----	

Tab. 12: Basler Ace Beat [7]



Obr. 17: Basler Boost a Beat [7]

3.3 Kamery firmy Datalogic

Italský výrobce kamerových systémů strojového vidění.

Impact Software

Software pro kamerové systémy Datalogic. Zaměřuje se na jednoduchost tvorby pracovní aplikace kontroly bez zkušeného uživatele. Kromě zpracování obrazu a knihovny s funkcemi pro inspekci zajišťuje také připojení a komunikaci s kamerami. Programování je velice podobné EasyBuilderu v In-sight Exploreru, kde si uživatel vybírá funkce do bočního panelu a určuje oblasti zájmu a parametry funkcí. [8]

Série P2X

Rozsah rozlišení se pohybuje do 2MP s CMOS senzorem a rychlostí 60 snímků za vteřinu ve variantách s barevným nebo černobílým snímáním. Kamery jsou vybaveny LED diody indikující stav programu. Je zde možný výběr z velké řady osvětlení připojených přímo ke kameře pomocí LED diod ve variantě osvětlení červené modré a bílé barvy. Množství diod je ovlivněno vybranou variantou osvětlení, která je v počtu 14 a 36 ovladatelnými LED diodami. K osvětlení je možné doplnit polarizační krytí. Velikost pracovního programu je omezena velikostí paměti 380 MB. SDRAM paměť je o velikosti 1 GB. [8] Zástupce série na obr. 18.

verze	P20M	P20C	P22M	P22C
Senzor formát	CMOS (5.6 μm^2)		CMOS (2.8 μm^2)	
snímání barev	Mono	Barva	Mono	Barva
960x 540	ano	ano	ne	ne
1920x1080	ne	ne	ano	ano
Osvětlení	Provedení 14 a 36 LED diod v kruhovém uspořádání			
Variace osvětlení	červená, modrá, bílá LED, s filtry a polarizačním krytem			
Rychlost snímání	60 fps			
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, Modbus, TCP/IP a RS-232			
Vstupy a výstupy	1 Spoušť 1 DI + 3DO			

Tab. 13: Datalogic P2X [8]



Obr. 18: P2X Datalogic [8]

Série P1X

Kompaktní série kamer s CMOS senzorem o velikosti rozlišení 640 x 480 a 1280 x 1024 pixelů. Možnost výměny osvětlení a objektivů je zde opět velká. Světlo je ve variantě bílé, modré, červené a IR. Paměť programu a SDRAM mají hodnotu 256 MB. Počet snímků za vteřinu u varianty s rozlišením 640x480 je 120 fps a 60fps u 1280 x 1024 MP varianty. Zástupce série na obr. 19. [8]

verze	P10	P12	P16	P17
Senzor formát	1/4" CMOS (5.3 μm^2)		1/1.8" CMOS (5.3 μm^2)	
snímání barev	Mono	Mono	Barva	Mono
640 x 480	ano	ano	ne	ne
1280 x 1024	ne	ne	ano	ano
Osvětlení	Provedení 14 a 36 LED diod v kruhovém uspořádání			
Variace osvětlení	červená, modrá, bílá LED, s filtry a polarizačním krytem			
Rychlost snímání	120 fps		60 fps	
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, Modbus, TCP/IP a RS-232			
Vstupy a výstupy	1 Spoušť 1 obecný DI + 3 obecný DO			

Tab. 14: Datalogic P1X [8]



Obr. 19: P1X Datalogic [8]

Série A

Kamery v této sérii jsou určeny k horším podmínkám, ale jsou k dispozici pouze ve variantě rozlišení 640x480 pixelů s CCD senzorem. Paměť pro pracovní program je 256 MB a SDRAM velikosti 512 MB. Počet snímků za vteřinu je 60. Zástupce obr. 20. [8]



Obr. 20: A série Datalogic [8]

Série T

Opět série vybavena CCD senzory s rozlišením od 640 x 480 do 2448 x 2048 pixelů, kde se počet snímků za vteřinu pohybuje od 60 do 15. Paměť programu SDRAM je stejná jako u série A. Zástupce série na obr. 21. [8]



Obr. 21: T série Datalogic [8]

verze	A30	T40	T47	T49
Senzor formát	1/3" CCD (7.4 μm^2)		1/1.8" CCD (4.4 μm^2)	2/3" CCD (3.4 μm^2)
snímání barev	Mono + Barva			
640 x 480	ano	ano	ne	ne
1600 x 1200	ne	ne	ano	ne
2448 x 2048	ne	ne	ne	ano
Osvětlení	Provedení 14 a 36 LED diod v kruhovém uspořádání			
Variace osvětlení	červená, modrá, bílá LED, s filtry a polarizačním krytem			
Rychlost snímání	60 fps		60 fps	
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, Modbus, TCP/IP a RS-232			
Vstupy a výstupy	1 Spoušť 1 DO, 1 obecný DI + 2 obecné DO			

Tab. 15: Datalogic A, T [8]

Komunikace

Všechny kamerové systémy podporují komunikaci skrze Ethernet a RS-232

3.4 Kamery firmy Keyence

Japonská firma, která se podobně jako ostatní kromě dalších senzorů věnuje i systémům strojového vidění.

CV-X Software

Slouží pro připojení a ovládání řídicích jednotek CV-X. Nabídka funkcí tohoto softwaru je poněkud menší než u In-sight Exploreru, hlavním důvodem je, že většina funkcí se skládá z více částí, jako detekce blobu a zároveň filtrování v jedné funkci. Tvorba aplikace je opět zaměřena na jednoduchost a rychlost, podobně jako EasyBuilder mód. [9]

Série IV2

Vybavena umělou inteligencí pro rozpoznání natrénovaných produktů a jejich variací. Rozlišení je v jedné variantě 752 x 480 pixelů. Model G600Ma je vybaven infračerveným osvětlením zbytek je vybaven bílým LED osvětlením. Kamera je sice kompaktní, ale jejím doplňkem je zesilovač s algoritmem pro učení. Ten je vybaven 16 funkcemi pro snímání obrazu a standartními funkcemi jako tvorba barevného, černobílého histogramu atd. Zesilovač si dokáže uložit kolem 1000 snímků na zpracování, ale jeho celková paměť, kterou lze rozšířit SD kartou nebo počet snímků kamery za vteřinu v technické dokumentaci uvedené nejsou. Zástupce série na obr. 22. [9]



Obr. 22: IV2 Keyence [9]

verze	IV2-G500CA	IV2-G150MA	IV2-G300CA	IV2-G600MA
Senzor formát	1/3" CMOS			
snímání barev	Barva	Mono	Barva	Mono
752 x 480	ano	ano	ano	ano
Osvětlení	Bílé LED			IR LED
Variace osvětlení	Možnost přepnutí do střídavého		Pouze střídavé osvětlení	
Rychlost snímání	N/A – pouze záznam na zesilovací jednotku v počtu 1000 snímků			
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, FTP, PROFIBUS, RS-232 C			
Vstupy a výstupy	Zesilovač: 1 spoušť 7 obecných DI + 8 DO			

Tab. 16: Keyence IV2 [9]

Série IV

Kompaktní kamerové senzory s vestavěným osvětlením, který se s délkou 44 mm pohybuje mezi nejmenšími zmíněnými. Senzory jsou vybaveny barevným nebo černobílým 1/3" CMOS senzorem o rozlišení 752 x 480. Varianty ve vybavení osvětlení jsou opět červené, modré nebo IR LED osvětlení. Senzor je opět doplněn zesilovačem s 16 nástroji pro detekci. Stejně jako předchozí varianta podporuje HDR a počet snímků k uložení je omezen na 300. Zástupce série na obr. 23. [9]

verze	V-HG500CA	IV-HG500MA	IV-HG300CA	IV-HG600MA
Senzor formát	1/10" CMOS		1/3" CMOS	
snímání barev	Barva	Mono	Barva	Mono
752 x 480	ano	ano	ano	ano
Osvětlení	Bílé LED			IR LED
Variace osvětlení	Možnost přepnutí do střídavého		Pouze střídavé osvětlení	
Rychlost snímání	N/A – pouze záznam na zesilovací jednotku v počtu 100 a 300 Mono			
Komunikace	EtherNet/IP, PROFINET, FTP			
Vstupy a výstupy	Zesilovač: 1 spoušť 5 obecných DI + 8 DO			

Tab. 17: Keyence IV [9]



Obr. 23: IV Keyence [9]

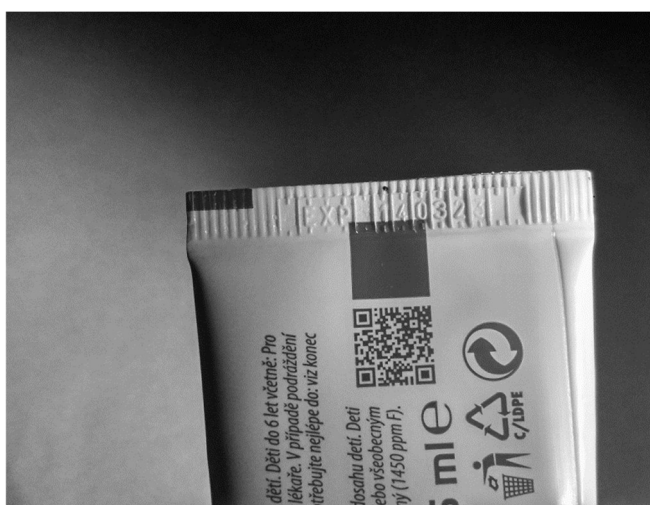
Komunikace

Je zde podporován Ethernet/IP, PROFINET.TCP/IP. Další jsou PROFIBUS, RS-232 C, které však podporuje pouze série IV2.

4 NÁVRH PARAMETRŮ PRO KONTROLU

4.1 Předmět kontroly

Definované součásti, pro které má být provedena kontrola vybraných parametrů, jsou plastové tuby. Tyto tuby mají jeden ze svých konců zakončené svařem, který se pro různé tuby může zcela lišit, jak barvou, materiálem, tvarem a vzorem vytvořeným při jeho uzavření, tak i celkovou kvalitou, jenž může záviset na použité technologii a nastavení svařovacího zařízení. Pro omezení variací je návrh omezen pouze na jeden typ svarů tuby, který je doplněn QR kódem na obalu (obr. 24).



Obr. 24: Předmět kontroly svar plastové tuby.

Po definování předmětu je nutné určit co na něm vlastně kontrolujeme. Kontrola svaru by měla obsahovat hledání kritických vad, ale také kontrolu vad méně závažných. Tyto méně závažné vady správnou funkci svaru neohrožují, ale jejich přítomnost může značit vznik problémů na svařovací jednotce, což může vézt k vadám kritickým. Při návrhu systému a výběru vzorových kusů pro jeho trénink, je tedy nutné vybrat jak vadné a bezchybné kusy, tak i kusy na pomezí mezi těmito dvěma stavy. Zde jsou uvedeny některé možné vady dle zdroje [10].

Kritické vady

- Protrhnutí svaru
- Špatný tvar krčku svaru

Závažné vady

- Špatná kvalita znaků na svaru
- Odchylky barvy plastu svaru
- Menší deformace okrajů svaru
- Vznik promáčknutí na povrchu

4.2 Obecný postup inspekce

Obecně lze říct, že inspekce objektu se skládá z několika částí, které slouží pro kontrolu parametrů daných objektem. Kroky inspekce jsou od sebe odděleny a mohou kontrolovat zcela jiné části objektu, avšak jejich většina inspekce spadá do následujícího modelu.

- 1) Pořízení snímku
- 2) Předzpracování obrazu
- 3) Definování oblasti zájmu
- 4) Segmentace objektu
- 5) Výpočet parametrů objektu
- 6) Zhodnocení segmentovaného objektu

4.3 Snímek předmětu

4.3.1 Zorné pole a rozlišení

V zorném poli kamery by měl být umístěn celý svar tuby, případně QR kód, pokud je součástí kontroly. Dále je nutné zvětšit okraj pole, aby se na snímku vyskytovalo i pozadí pro možnost segmentace objektu. Přijatelný referenční kus má šířku svaru tuby 43 mm a pro přítomnost QR kódu je nutná výška aspoň 25 mm. K těmto rozměrům je přidána tolerance pozice před kamerou, 3 mm a okraj pro segmentaci 2 mm. Suma v horizontálním a vertikálním směru je tedy 48 mm a 30 mm. Jak již bylo zmíněno rozměry zorného pole se upravují dle poměru stran senzoru kamery, zde je použitý 4:3. Po úpravě dostaneme 64 mm v horizontálním směru a 30 mm ve vertikálním. Pro výpočet rozlišení z (6) a (7) přiřazujeme nejmenšímu prvku 1 pixel s velikostí 0.1 mm.

$$Rch = FOV \cdot \frac{Nf}{Sf} = 64 \cdot \frac{1}{0.1} = 640 \text{ pixelů} \quad (15)$$

$$Rcv = FOV \cdot \frac{Nf}{Sf} = 30 \cdot \frac{1}{0.1} = 300 \text{ pixelů} \quad (16)$$

Výsledek z rovnic (15) a (16) je upraven k nejbližšímu standartu, což je 640 x 480 pixelů.

Parametry kamery

Omezujeme se zde pouze na výběr dle rozlišení a dostupnosti. Kamery v sérii Cognex In-Sight 7000 jsou v tomto ohledu zcela dostačující. Tato kamera snímá horní část tuby a dle potřeby jí lze vybavit vlastním osvětlením nebo využít externího zdroje. Více parametrů kamery jsou dostupné v uvedeném zdroji [6]. Objektiv LCC-67709 s 6 mm ohniskovou vzdáleností nám při velikosti zorného pole 64 x 30 mm dává pracovní vzdálenost okolo 139 mm. Dle (3, 4)

$$\beta = -\frac{Vs}{FOV} = -\frac{640 \cdot 0,0045}{64} = -0,045 \quad (17)$$

$$a = f' \cdot \frac{1 - \beta}{\beta} = 6 \cdot \frac{1 + 0,045}{-0,045} = -139 \text{ mm} \quad (18)$$

4.3.2 Návrh osvětlení

Hlavní kritériem osvětlení je dostatečný kontrast pro všechny části, které mají být kontrolovány, a to za co nejvíce stálých podmínek osvětlení. V tomto ohledu předmět není ideální, jelikož kromě bílé barvy a lesklého povrchu, se může objekt lehce deformovat pouhým naplněním tuby, a tvořit tak nechtěné variace v jasu.

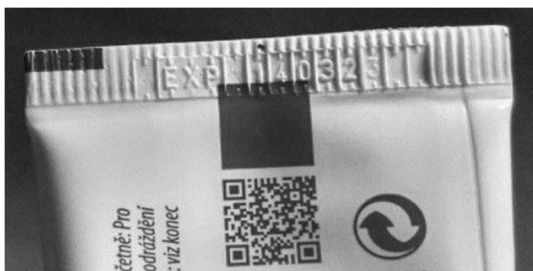
Při směrovaném osvětlení nad objektem, obr. 25, znaky na svaru vynikají, zatímco profil svaru ve směru světla ne. Toto by nemělo bránit kontrole, jelikož jakákoliv odchylka od profilu svaru bude tvořit tmavé místo. Nevýhodou je, že při naplnění tuby dochází k její deformaci, a tedy vznikají nechtěná tmavá místa a odlesky, které už kontrolu narušují.

Směrované boční osvětlení, obr. 26, je vhodná varianta, pokud by kontrolovaná tuba měla na svaru pouze profil svaru bez znaků. Vtisknutý profil má výborný kontrast, vhodný pro kontrolu, díky snadně kontrolovatelným tmavým místům. Nevýhodou ale je fakt, že tyto stíny v některých přídech znemožňují kontrolu přítomných znaků.

Navrhnuté rozptýlené osvětlení nad objektem, obr. 27, poskytuje dostačující kontrast pro kontrolu svaru a QR kódu. Rozptýlení bílého světla 3 W LED osvětlení plastovým difusorem způsobuje menší počet tmavých míst a nežádoucích odlesků, ale přesto minimální variace v tmavosti přetrvávají.



Obr. 25: Směrované horní osvětlení



Obr. 26: Směrované boční osvětlení



Obr. 27: Rozptýlené horní osvětlení

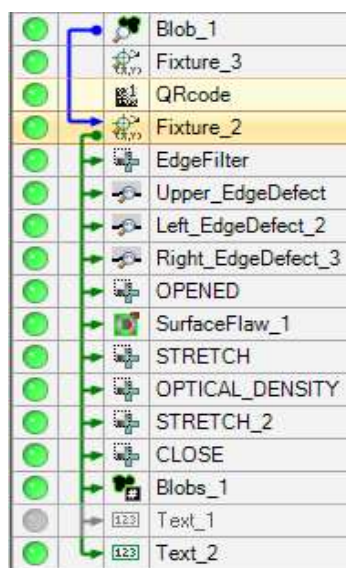
4.4 Návrh aplikace

Aplikace je realizována v programu In-sight Explorer od společnosti Cognex. Při prvním pohledu je pro člověka zcela jasné, kde se tuba nachází. Aplikace strojového vidění v tomto ale nemusí mít jasno. Malé změny polohy a tvaru tuby mohou způsobovat problémy s tímto hledáním, až do té míry, že některé kroky v aplikaci nelze provést. Pro účely snadného nalezení tuby na snímku lze výhodně použít již přítomný tmavě modrý čtverec, který vyniká svým kontrastem na těle tuby i na snímcích v odstínech šedi. Oblast zájmu určená k hledání je zeleně označený čtverec na obrázku 28. Poloha čtverce je určena podle pevně daného referenčního bodu, tvořeného nástrojem programu Compute fixture. Bod se nachází ve středu snímku.



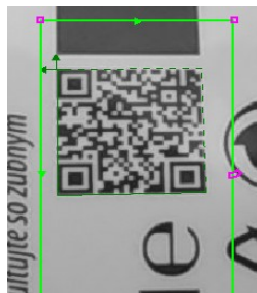
Obr. 28: Hledání referenčního čtverce pomocí hledání blobů.

Během tisku nebo uzavírání tuby svarem, ale může dojít k posunu či změně velikosti a celistvosti tohoto čtverce. Pokud je takový tvar použitý jako referenční, dojde ke změně X a Y souřadnic středového bodu současně. Protože některé další kroky v kontrole vyžadují posun pouze v jedné ze dvou os, je mnohem výhodnější vytvoření referenčních bodů (obr.29), které mění svou pozici jenom s jednou souřadnicí středového bodu tmavého čtverce.



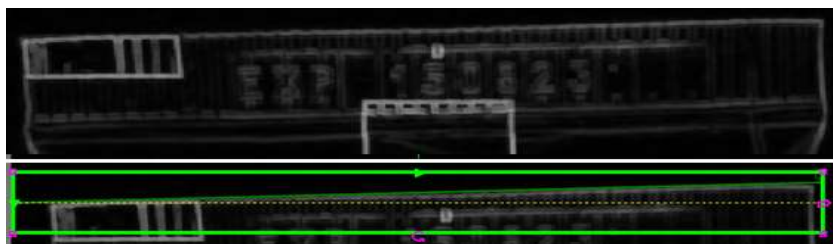
Obr. 29: Závislostí referenčního bodu, měnící Y souřadnici (Fixture_2)

Dalším krokem po nalezení čtverce a výpočtů referenčních bodů, je nalezení a přečtení QR kódu tuby (obr. 30). Ten může určovat kde dál tubu poslat po kontrole. Každopádně pokud kód není nalezen nebo nelze přečíst aplikace bude hlásit chybu.



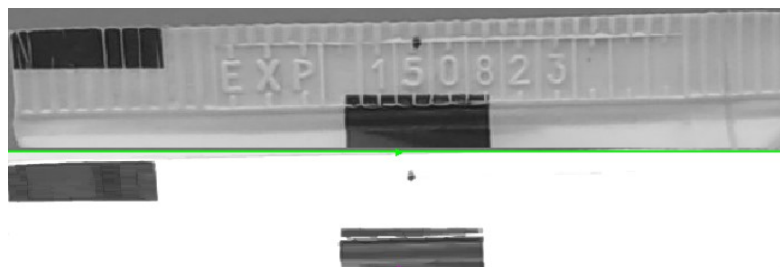
Obr. 30: Nalezený QR kód

Nejobsáhlejší část kontroly tvoří kroky související s hledáním defektů na svaru tuby. Ve dvou částech, kontroly okrajů a plochy svaru, se aplikace pokouší hledat více, či méně závažné defekty s pomocí vybraných filtrů aplikovaných na místo kontroly (obr. 31). Postup při kontrole hran je následující. První je na oblast svaru podle referenčního bodu aplikován hranový filtr. V další části se zkontrolují dvě boční a horní hrana svaru. Pokud jsou nalezeny defekty aplikace hlásí neúspěch kontroly.



Obr. 31: Hranový filtr horní část, Oblast zájmu nástroje pro defekty hran.

To samé se děje pro plochu svaru, ale v několika etapách. Pro hledání defektů, jako jsou protržení, je zde použita kombinace filtrů operace otevření. Tento filtr způsobí vyčnívání tmavě šedých míst o určitém počtu pixelů. Další je filtr roztažení, který v nastaveném rozmezí pixely „roztáhne“ (obr. 32) do krajních hodnot 255 a 0 a vzniká tak lepší kontrast. Následně se na oblast použije nástroj pro hledání povrchových vad.



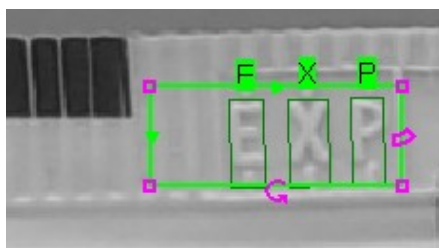
Obr. 32: Před a po aplikaci otevření a roztažení

Poslední část hledání defektů je hledání tmavých míst, které na tubu nepatří. Jednat se může o únik z tuby v případě protržení nebo jiný druh nečistoty. Aplikované filtry vylepšují kontrast tmavých míst na objektu, což umožňuje jejich přesnější nalezení nástrojem pro hledání blobů. První filtr mění oblasti obklopené světlou částí dle rozdílu šedi na světlejší nebo tmavší. Světlemísta vznikají z tmavých míst, jako je referenční čtverec a tmavý roh tuby (obr. 33). Účinek je stejný i pro další tmavé místa na tubě. Na takto vytvořený obraz jsou aplikovány dva další filtry. Filtr roztažení zlepšuje kontrast a filtr uzavření redukuje příliš malá tmavá místa. Výsledný filtrovaný obraz je použitý pro hledání blobů. Jejich počet určuje, zda nástroj hlásí chybu nebo ne.



Obr. 33: Výsledný obraz po aplikaci filtrů Optical density, roztažení a uzavření

Závěrečná část kontroly je kontrola textu na tubě. Kontroluje se, jestli je text přítomen a čitelný (obr.34). Nástroj pro hledání textu a jeho čtení je aplikován na dané místo bez dalšího filtrování. Pro správnou funkci klasifikátoru je tento nástroj nutný trénovat na hledaných referenčních znacích, aby je uměl správně segmentovat a identifikovat. K tomuto je nástroj vybaven funkcí automatického tréninku, což celý proces velice urychluje. Závěrečné rozhodnutí, jestli tuba prošla kontrolou, je pouze logická funkce, která hlásí true, pokud jsou všechny předešlé kroky bez hlášení chyby (obr. 35).



Obr. 34: Segmentace a čtení znaků expiračního data.

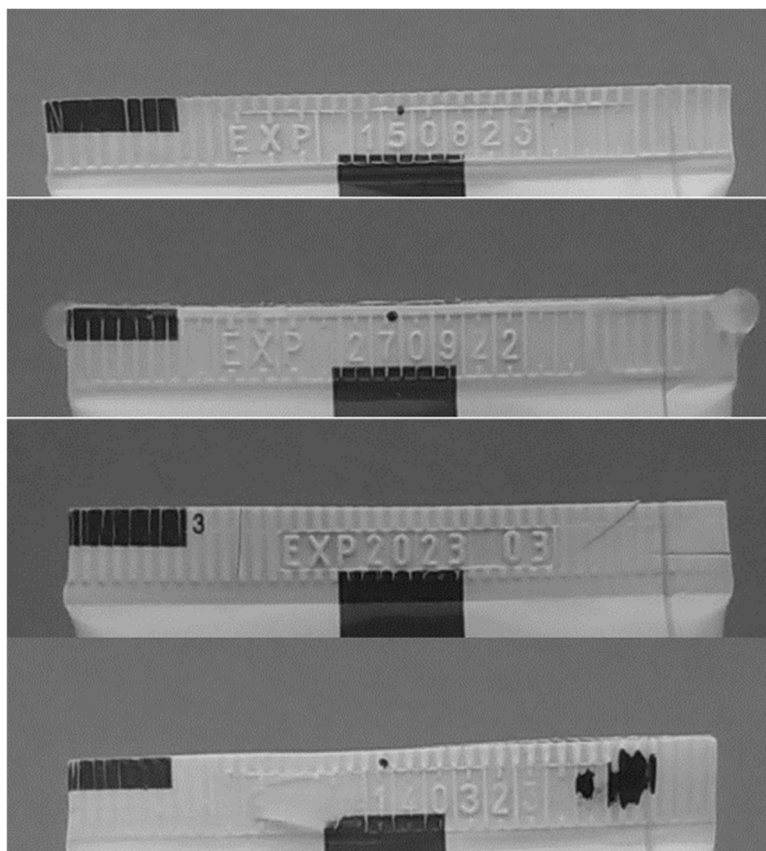


Obr. 35: Poslední část aplikace AND všech výsledků předcházejících kroků

4.5 Testování a rozhodnutí

4.5.1 Testovací vzorky

Pro testování byla zvolena sada tub, která z části reprezentuje některé z možných defektů vzniklé při výrobě, obr.36 [10]. Snímky jsou pořízené za různých úrovní jasu, za účelem otestovat chování jednotlivých kroků aplikace pro kontrolu se zhoršujícím kontrastem částí. Důvodem je fakt, že stálost osvětlení je jedním z hlavních požadavků na zdroje světla. Některé snímky mají zároveň minimální variaci v pozici před kamerou. Jak se aplikace bude chovat při této variaci je další část testu.



Obr. 36: Od shora vzorek bez vad, vady hran, protržení, špatné zbarvení a žádný text.

4.5.2 Výsledky testování

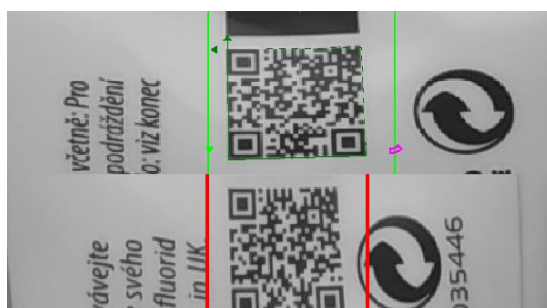
První krok aplikace, hledání referenčního čtverce, proběhl bez problémů jak při variacích jasu, tak i polohy. Variace jasu nečiní v tomto případě žádný problém, jelikož kontrast tmavého čtverce na bílé tubě je tak vysoký, že i při nejhorším testovaném kontrastu jsou odstíny šedi čtverce a tuby dostatečně rozdílné, obr. 37.

Variace polohy na tuto část nemá příliš velký efekt, hlavně díky její malé hodnotě a velikosti oblasti zájmu, která je kompenzuje. Nástroj hledá pouze celistvou oblast pixelů o určité hodnotě šedi, tudíž situace, kdy se část čtverce nachází mimo oblast zájmu, by neměla zabránit hledání, ale pouze ovlivnit výpočet pozice středového bodu čtverce, a toto je již kompenzováno zmíněnými referenčními body, fixture 3 a 2 z obrázku 29.



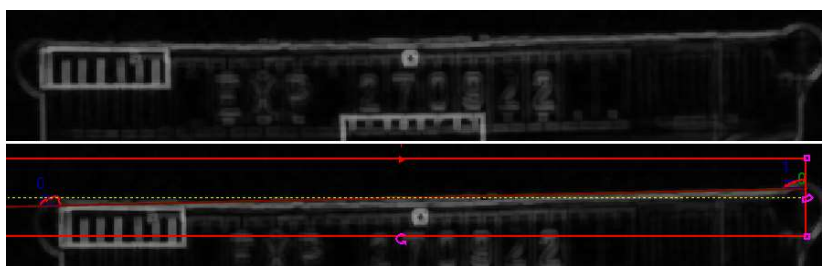
Obr. 37: Výsledky hledání referenčního čtverce.

Nalezení a čtení QR kódu se opět neprojevovalo jako problematické s měnícím se jasnem, díky jeho kontrastu. Problém s variací polohy je už větší, hlavně z toho důvodu, že QR kód musí být celý v zorném poli kamery a zároveň v oblasti zájmu nástroje pro jeho hledání. Pokud jsou tyto dvě podmínky dodrženy nevzniká žádná chyba. Příklad obr.38.



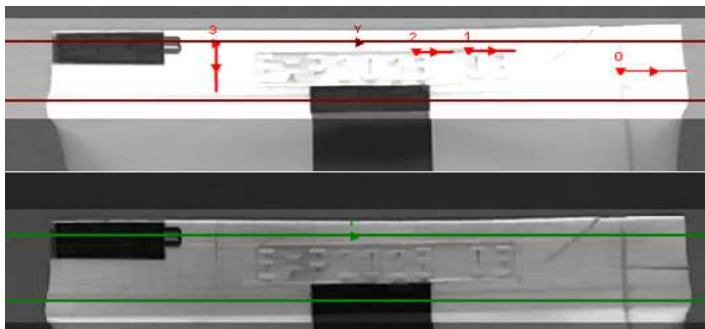
Obr. 38: QR kód přečtený bez problémů, horní část a QR kód mimo oblast zájmu, dole

Kontrola hran proběhla nejlépe z části kontroly, která hledá defekty. Hlavním důvodem je hranový filtr, který vylepšuje kontrast hran a vhodně zvolená velikost tohoto filtru. Oblast zájmu je dostatečně velká pro šířku celého snímku a s jeho změnou, dojde k posunu pouze u Y souřadnice, takže nenastává problém s posunutím filtru nebo případem, kdy oblast zájmu zasahuje mimo snímek, což způsobuje hlášení chyby, obr.39.



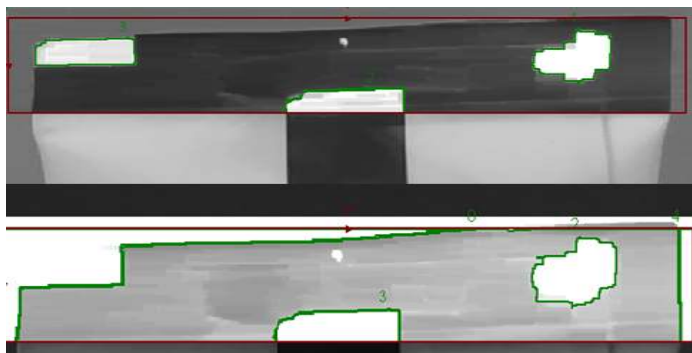
Obr. 39: Nalezení defektu na horní hraně tuby

Asi nejhůř dopadlo hledání protržení na ploše svaru, jelikož tento nástroj je vysoce závislí na rozdílu odstínu šedi povrchu a defektu, tudíž při změně jasu je kontrast změněn do takové míry, že v některých případech nelze nalézt žádný defekt, obr. 40.



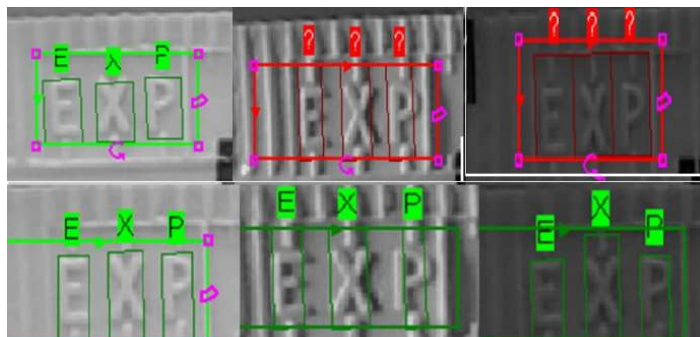
Obr. 40: Hledání defektů na ploše svaru

Situace je o něco lepší při hledání tmavých zbarvení na povrchu svaru, důvodem je fakt, že mezi vybraným kusem a černou kaňkou vzniká dobrý kontrast, který dovoluje nástroji toto zbarvení nalézt i při horším kontrastu, obr.41.



Obr. 41: Hledání kaněk jako počet blobů na snímku

U hledání a čtení textu segmentace znaků funguje i bez použití filtrů na oblast zájmu pro kompenzaci variace kontrastu. Nástroj ale nedokázal přiřadit písmena s jiným kontrastem než natrénovaným k referenčnímu textu „EXP“. Toto šlo ale vyřešit funkcí nástroje, která umožňuje provést automatický trénink znaků pro všechny možné kontrasty. Segmentace sice není dokonalá, ale po několikanásobném opakování tréninku aplikace dokázala přiřadit písmena ve většině případů i k snímkům s horším kontrastem, obr 42.



Obr. 42: Čtení textu před tréninkem, nahoře a po tréninku se všemi snímky, dole

5 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Navrhnuté zorné pole a rozlišení se při testu projeví pouze minimálně. Variace v poloze tuby jsou malé, tudíž zorné pole nemusí být zvětšeno. Zvolený detail na nejmenší dílek a počet pixelů jemu věnovaný kontrolu negativně neovlivnily. Co se týče výběru kamery v rámci neomezených možností při výběru, tak vzhledem k minimálním nárokům a nevyužití funkcí vzdáleného přístupu a dalších vylepšení z druhé generace série kamer 7000, by zřejmě šlo použít i předchozí generaci Cognex 5000. Při takové změně je ale možné narušení kompatibility s existujícími aplikacemi.

Variace v jasnosti se projeví celkem očekávaným způsobem a jejich efekt šlo do jisté míry kompenzovat použitím vhodně zvolených filtrů či jejich kombinací. Tímto se jenom potvrzuje důležitost zvoleného osvětlení a vzniklého kontrastu objektu pro správnou funkci systému. Vylepšení v této oblasti by určitě šlo dosáhnout větším počtem experimentů s osvětlením. Zároveň by výběr osvětlení musel být proveden znovu při změně prostředí, například pro samotnou výrobní linku, kde by honí varianta osvětlení nemusela být použitelná nebo vhodná, ať už z důvodu toho, že se daný zdroj osvětlení nevejde do prostorů linky nebo na ní existují povrchy, které by odrazily světlo a narušovali jeho celistvost na tubě. Možnost předního osvětlení tuby sice produkuje nechtěné odlesky, ale spolu se zdrojem polarizovaného světla a polarizačním filtrem na senzoru by tento problém šel odstranit. Světlo by tak bylo rovnoměrné po celé tubě bez odlesků.

Po výkonové stránce se čas kontroly snímku pohybuje mezi 20 až 200 ms. Největší časové hodnoty se vyskytují u hranového filtru, který své okolí pixelů má oproti dalším filtrům velice malé, ale jedná se o složitější filtr, který zvýrazňuje hrany ve všech směrech, a potřebuje tak více času na zpracování. Tento krok může zabrat podle výsledků z programu klidně více jak 150 ms. Možným řešením se ukázalo zvětšení okolí pixelů do takové míry, aby neovlivňovalo správnou funkci kontroly hran svaru tuby. Tato změna sice měla způsobit delší časy této operace, ale nastal pravý opak.

Další dopad této změny, kterou bychom museli zvážit, je zvýšení nároků na osvětlení v důsledku zvětšení okolí filtru. Původní návrh kontroly hran fungoval u všech variant testovaného kontrastu. Při drastickém zvětšení okolí filtru by výsledky nemusely být tak dobré, jako předchozí a vznikly by větší nároky na celistvost a stabilitu osvětlení. Vracíme se tedy opět k interakcím a jejich dopadem na výkon z úvodu řešerše.

Druhým nejdelším krokem je identifikace a čtení QR kódu. Zde jsou časy podstatně menší, okolo 20 ms. Zbytek operací se pohybuje v jednotkách nebo desetinách ms a v porovnání s hranovým filtrem jsou skoro zanedbatelné.

Vybraná sada referenčních tub je pro test návrhu dostačující. Pro skutečný test systému by však referenční sada musela být rozšířena o mnoho více kusů s dalšími defekty, a hlavně stavy na pomezí mezi nepřijatelnou tubou a tubou, která kontrolou projde.

6 ZÁVĚR

Práce obsahuje úvodní rešerši systémů strojového vidění, jenž poskytuje teoretický obsah pro návrh systému ke kontrole a možnosti k výběru na trhu v kapitole 3. Další části jsou věnovány tomuto návrhu a jeho testování.

Na závěr jsou získané výsledky testu komentovány a na jejich bázi uvedeno zhodnocení návrhu a případné vylepšení, kritika a další možnosti v kapitole 5. Stručně shrnutí výsledků je následující. Návrh systému a aplikace fungoval pro normální podmínky jasu bez problémů. Variace v jasu a poloze tub na snímku jenom dokazují, jak je důležité tyto podmínky udržovat co nejvíce stále. Parametry pořízených snímků jsou zcela dostačující pro potřebný detail kontroly vybraných kusů plastových tub, a není jej třeba měnit.

Návrhy pro vylepšení jsou následující. Horní rozptýlené osvětlení má jisté malé odchylky v celistvosti na tubě. Při odrazu jsou odlesky mnohem menší než ty u směrovaného osvětlení, nicméně jsou stále přítomny. Bylo by vhodné otestovat přední polarizované osvětlení, které by dopady deformace tuby při plnění, jako tmavá místa a odlesky tuby použitím polarizačního filtru kamer zcela odstranily.

Další oblast vylepšení je v počtu a variacích testovací série plastových tub, která je velice ochuzena oproti možnostem skutečné výroby jak už ve variacích možných defektů [10], tak i stavů na pomezí u pouze vizuálních defektů, které funkci nebrání, ale je nutné rozhodnout, jestli takovou tuby vyřadit nebo se ještě nachází v toleranci.

Toto rozšíření sady referenčních tub by opět poskytlo možnost dalšího testu tentokrát za normálních podmínek jasu a polohy. Takový test by mohl ukázat mnohem závažnější nedostatky návrhu, které prostě nebyly před nasazením do skutečného provozu předpokládány. Řešení těchto nových problémů by se mohlo ukázat jako nutná změna částí, které byly označeny za dostačující, tedy osvětlení, parametry snímku a samotná aplikace kontroly.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Wiley-VCH. *Handbook of Machine and Computer Vision*. [ed.] Alexander Hornberg. Berlin : Wiley-VCH, 2017. ISBN 978-3-527-41339-3.
- [2] Christian Demant, Bernd Streicher-Abel, Carsten Garnica. *Industrial Image Processing*. Berlin : Springer, 2013. ISBN 978-3-642-33905-9.
- [3] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. *Image Processing, Analysis and Machine Vision*. Boston : Springer, 2015. ISBN 978-1-133-59360-7.
- [4] John C. Russ, F. Brent Neal. *The Image Processing Handbook*. Boca Raton : CRC Press, 2017. ISBN 978-1138747494
- [5] Cognex. Introduction to machine vision [online] 2018. [cit: 24.4.2021.] Dostupné z: <https://www.cognex.com/resources/white-papers-articles/introduction-to-machine-vision-17152>.
- [6] Cognex. www.cognex.com. [online]. ©2021 [cit. 3.5.2021.] Dostupné z: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems>
- [7] Basler. www.baslerweb.com [online]. ©2021 [cit. 10.5.2021] Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/>
- [8] Datalogic. www.datalogic.com [online]. ©2021 [cit. 10.5.2021] Dostupné z: <https://www.datalogic.com/eng/industrial-automation/machine-vision-pc-16.html>
- [9] Keyence. www.keyence.eu [online]. ©2021 [cit. 10.5.2021] Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/products/vision/vision-sensor>
- [10] Viva Healthcare. Hot Air Sealing Guidelines. [Online] 13.10.2015 [cit. 15.4.2021.] Dostupné z: <https://www.viva-healthcare.com/en/specifications.php>

8 SEZNAM PŘÍLOH

Model kontrolní stanice s kamerou a objektem vytvořený v Inventoru
Aplikace v programu Cognex In-sight Explorer 6.1.1

