



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

NÁVRH ŘÍZENÍ VÝROBNÍ LINKY S KONTROLOU ROZMĚRŮ VÝROBKŮ

DESIGN OF CONTROL PRODUCTION UNIT WITH PRODUCT DIMENSION VERIFICATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ROMAN JANOUŠEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL HOUŠKA, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Roman Janoušek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902R001)**

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:

Návrh řízení výrobní linky s kontrolou rozměrů výrobků

v anglickém jazyce:

Design of control production unit with product dimension verification

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá návrhem řízení výrobní linky osazené pneumatickým manipulátorem pro manipulaci s výrobkem a digitální kamerou pro kontrolu rozměru výrobku. Cílem práce je, aby manipulátor na základě výsledků kontroly rozměrů třídil dobré a vadné výrobky.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznamte se řešenou výrobní linkou a základy zpracování obrazu pro analýzu rozměrů;
2. Řešte problematiku uspořádání scény a instalace kamery na výrobní lince;
3. Řešte senzorickou soustavu linky a řízení pneumatického manipulátoru;
4. Navrhněte řídicí systém linky včetně kontroly rozměrů;
5. Navržené řešení zhodnoťte.

Seznam odborné literatury:

- [1] Ďaďo S., Kreidl M.: Senzory a měřicí obvody, Skriptum ČVUT, 1999
- [2] Fraden, J.: Handbook of Modern Sensors, 2004, Springer-Verlag, ISBN 0-378-00750-4
- [3] Noskievič, P.: Modelování a identifikace systémů, Montanex a.s., Ostrava 1999, ISBN 80-7225-030-2
- [4] National Instruments: LabVIEW Control Design User Manual[online], 2010, 371057, dostupné z URL:<<http://www.ni.com>>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Houška, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 21.11.2012

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce řeší problematiku návrhu řídicího systému výrobní linky se strojovým viděním pro získání polohy a rozměrů výrobků. Součástí řešené linky je digitální kamera, delta robot a pneumatické manipulátory.

V úvodu jsou nastíněny cíle práce, následuje výklad problematiky třídících linek včetně příkladu třídící linky v praxi. Hlavní částí práce je analýza a řešení problematiky strojového vidění pro použití na výrobní lince a jeho integrace do řídicího systému. Výsledkem této práce je jak navržený řídicí systém pro řízení popsané linky, tak funkční určování polohy a rozměrů výrobků procházejících výrobní linkou. V závěru práce jsou zhodnoceny dosažené cíle práce.

ABSTRACT

This thesis solves the issue of design of control system for production line with machine vision to obtain the position and size of products. Part of the line is a digital camera, a delta robot and pneumatic manipulators.

The introduction outlines the objectives of the thesis, followed by a discussion of sorting lines, including an example of a sorting line in practice. The main part of the thesis lies in the analysis and solution of problems relating to the machine vision and its use on the production line as well as its integration into the control system. The result of this work is a control system for management of the line and functional positioning and dimensions checking of the product passing through the production line. The conclusion of the thesis reviews the outcomes of the thesis.

KLÍČOVÁ SLOVA

Strojové vidění, kamera, pneumatický manipulátor, LabVIEW.

KEYWORDS

Machine vision, camera, pneumatic manipulator, LabVIEW.

PROHLÁŠENÍ O ORIGINALITĚ

Tímto prohlašuji, že předkládaná bakalářská práce je mojí původní autorskou prací, kterou jsem vypracoval pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím uvedené odborné literatury.

Brno 22. 5. 2013

.....

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANOUSEK, R. *Návrh řízení výrobní linky s kontrolou rozměrů výrobků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 43s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Houška, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu Ing. Pavlu Houškovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, čas a také za veškerou pomoc, kterou mi v průběhu tvorby práce ochotně poskytoval.

Obsah:

	Abstrakt	5
	Prohlášení o originalitě.....	7
	Poděkování	9
1	Úvod	13
2	Problematika třídění výrobků.....	15
2.1	Aplikace třídící linky.....	15
2.2	Řešená výrobní linka.....	16
3	Strojové vidění.....	19
3.1	Osvětlení.....	20
3.1.1	Světlo.....	20
3.2	Zdroje světla	20
3.2.1.1	Použití zdrojů bílého světla	21
3.2.1.2	Použití zdrojů IR světla	21
3.2.2	Techniky osvětlování scény	21
3.2.2.1	Přední osvětlení s jasným zorným polem.....	22
3.2.2.2	Přední osvětlení s tmným zorným polem.....	23
3.2.2.3	Zadní osvětlení.....	23
3.2.3	Volba osvětlovače.....	24
3.3	Objektivy	24
3.3.1	Typy objektivu.....	25
3.3.2	Parametry objektivu	26
3.3.2.1	Clona.....	26
3.3.2.2	Ohnisková vzdálenost.....	27
3.3.2.3	Chyby objektivů.....	27
3.3.2.4	Perspektivní zobrazení.....	27
3.3.2.5	Geometrické zkreslení objektivu.....	28
3.3.3	Volba objektivu	29
3.4	Kamery.....	29
3.4.1	Kamery pro strojové vidění.....	29
3.4.1.1	Rozlišení kamery	30
3.4.1.2	Rozlišovací schopnost kamery	30
3.4.2	Rychlost snímání kamery.....	30
3.4.3	Volba kamery	30
3.5	Zpracování obrazu.....	31
3.5.1	Digitální obraz	31
3.5.2	Histogram.....	31

3.5.3	Segmentace obrazu.....	31
3.5.3.1	Segmentace prahováním.....	32
3.5.4	Detekce hran.....	32
4	Řešení třídící linky	33
4.1	Popis funkce linky.....	33
4.2	Návrh řídicího systému	34
4.3	Modul řízení pneumatických manipulátorů.....	34
4.3.1	Senzory modulů pneumatických manipulátorů	35
4.3.2	Modul řízení ventilů a snímačů	36
4.3.3	Testování modulu řízení pneumatických manipulátorů.....	37
4.4	Modul vyhodnocení výrobku.....	37
4.4.1	Testování obrazu modulu vyhodnocení výrobku	38
4.4.2	Umístění kamery pro modul vyhodnocení výrobku	39
4.4.3	Testování modulu vyhodnocení výrobku	40
4.5	Modul rozhraní linka – delta robot	40
5	Závěr.....	41
	Seznam použité literatury	43

1 ÚVOD

Automatické třídící linky slouží k třídění produktů podle různých parametrů. Parametry pro třídění mohou být například váha, barva, jakost povrchu anebo rozměry výrobku. Práce se zabývá tříděním výrobků podle rozměru s použitím strojového vidění, které bylo aplikováno a testováno na poskytnuté třídící lince. Výhodou automatických třídících linek je úspora lidských zdrojů, nárůst efektivity produkce a výrobních kapacit ale také možnost nasazení v automobilovém průmyslu, kde je nutná stoprocentní kontrola výrobků přicházejících na výrobní linky.

Další možností využití strojového vidění je výběr neorientovaných výrobku z přepravního boxu, tzv. „Bin picking“. „Bin picking“ je aplikace, která nám umožňuje zjištění pozice neorientovaných součástí a její úchopné plochy v přepravním boxu, manipulaci s výrobkem a například založení výrobků do obráběcího stroje, nebo již orientované vložení na výrobní linku. Pro aplikaci „Bin Picking“ se většinou používají dvě průmyslové kamery pro získání 3D scény a průmyslového robotu pro manipulaci s výrobkem. Tato aplikace šetří práci operátorů, stačí pouze založit přepravní box na předem stanovenou pozici a tím práce operátora končí.

V této práci řešená výrobní linka slouží ke třídění výrobků na dobré a špatné, byla vyrobena jako výuková a demonstrační ukázka systému využívajících strojové vidění.

Cílem této práce je navrhnout řídicí systém pro řešenou výrobní linku včetně kontroly rozměrů a návrh způsobu řízení pneumatických manipulátorů, kterými je linka osazena, včetně senzorické soustavy linky. Dále zpracovanou problematikou je řešení optické soustavy kamery včetně jejího umístění na výrobní lince a seznámení se zpracováním obrazu pro analýzu rozměrů.

Navržený řídicí systém řeší zpracování obrazu z digitální kamery včetně kontroly rozměru výrobku a následné třídění na dobré a špatné výrobky. Návrh algoritmu pro třídění byl vytvořen pomocí programu Vision Assistantu od firmy National Instrument a následně převeden do programovacího prostředí LabVIEW. Řídicí systém poté řeší ovládání pneumatických manipulátoru pomocí propojovacího zařízení cDAQ a karty pro digitální vstupy a výstupy na základě získaných signálů ze senzorické soustavy výrobní linky.

2 PROBLEMATIKA TŘÍDĚNÍ VÝROBKŮ

Třídění výrobků je proces, při kterém dochází k rozdělování na výrobky dobré (OK) a špatné (NOK). Výrobky se třídí dle různých parametrů, například podle rozměrů, váhy, materiálu a povrchové úpravy, za pomoci k tomu určených snímačů. Po vyhodnocení informací ze snímačů řídicím systémem jsou výrobky roztrženy na OK/NOK výrobky. V dnešní době je tento proces již zcela automatický. V nedávné době probíhalo třídění výhradně činností operátorů přímo u dopravníkového pásu, na kterém jsou výrobky dopravovány konstantní rychlostí před stanoviště operátora, který následně výrobky třídí dle výše zmíněných parametrů. Tento způsob třídění začal být značně neefektivní a ekonomicky nevýhodný a bylo nutné nalézt nové východisko z problému třídících linek. Novým řešením problému se staly automatické třídící linky, které mají více principů, na kterých je založeno třídění výrobků, jako například využití snímačů typu optických závor a indukčních snímačů. Hojně používané jsou způsoby třídění pomocí systémů využívajících průmyslové kamery, které jsou schopny během třídění výrobek změřit a rozhodnout, jestli se jedná o OK nebo NOK výrobek, a to i při vysokých rychlostech zaznamenávání výrobků na dopravníkovém páse. Pro odebrání výrobků z třídící linky jsou použity různé způsoby, mezi nejmodernější patří použití průmyslových robotů, robotů typu delta, ale také pneumatických manipulátorů. Pro názornější představu o třídící lince bude níže uveden příklad třídící linky od výrobce ABB Robotics. Protože řešení třídící linky ze zadání mé závěrečné práce probíhalo za pomoci průmyslové kamery a strojového vidění, je této problematice věnována celá následující kapitola s názvem Strojové vidění.

Během hledání zdrojů o problematice třídících linek jsem narazil na aplikace zabývající se vybíráním neorientovaných výrobků z boxů (Bin picking). Tyto aplikace kombinují použití průmyslových robotů a průmyslových kamer, jsou to tedy aplikace využívající strojové vidění. Mezi aplikace tohoto typu patří většinou aplikace balení a paletizace výrobků, vybírání výrobků z krabic a zakládání polotovarů do obráběcího stroje, kde během vybírání výrobků ze stroje může docházet i k měření výrobku. Při výše zmíněných aplikacích se využívá průmyslových kamer ke zjištění správného potisku na obalu, kontrole čárového kódu a orientace výrobku v boxu. Pro zjištění výrobku vhodně orientovaného pro uchycení se používají informace z minimálně dvou průmyslových kamer. Informace o orientaci výrobku jsou vyhodnoceny a průmyslový robot je natočen do požadované polohy. Následně může být vybrán výrobek z boxu a může s ním být manipulováno. Tyto aplikace využívají 3D strojového vidění. Aplikace 3D strojového vidění jsou složité, už jen pro hledání jednoho stejného bodu na snímcích ze dvou a více kamer a vyhodnocování hloubky obrazu. Problematice 3D strojového vidění nebude nadále v práci věnována pozornost.

2.1 Aplikace třídící linky

Při vytváření této podkapitoly byly informace čerpány ze zdroje [1]. Jedná se o aplikaci, v níž jsou tři palačinky skládány do dvou sloupců těsně vedle sebe. Takto poskládané palačinky jsou následně baleny na jiné lince. Tato linka musí splňovat hygienické standardy pro práci s potravinami. Část linky je vidět na Obr. 1. Linka se skládá ze tří dopravníkových pásů, čtyř delta robotů ABB Flexipicker

s namontovanými podtlakovými úchopnými hlavice a čtyř průmyslových kamer. Zakrytovanou linkou procházejí tři dopravníkové pásy: dva běží nižší rychlostí a jsou na nich umístěny palačinky před přemístěním do balícího seskupení, prostřední pás je rychlejší. Zakrytovaná linka je rozdělena na čtyři pracoviště, každé pracoviště je osazeno průmyslovou kamerou před delta robotem. Řídicí systém vyhodnocuje polohu palačinky ze získaného obrazu z kamery. Po zjištění polohy palačinky ji delta robot odebírá pomocí podtlakové hlavice z pomaluběžného pásu a vkládá ji na rychloběžný pás, další palačinku pokládá do těsné blízkosti k první palačince, dále následuje mezera a poté další balení palačinek. Na dalších pracovištích je postup stejný, jen jsou palačinky skládány na předchozí palačinky. Tato linka je zařazena do třídících linek z toho důvodu, že firma na výrobu palačinek používá stejnou linku i na jiné typy produktů, takže například můžou běžet dva produkty na lince a poté jsou tříděny. Díky aplikovanému softwaru přímo od ABB je možné velice rychle přeprogramovat linku na jiný typ výrobku. Čtyři delta roboty jsou schopny naskládat na rychloběžný pás 400 palačinek za minutu. Tato linka zvedla denní výrobu o 50 %.



Obr. 1. Vlevo ABB Flexipicker, vpravo část linky se třemi dopravníkovými pásy.[1]

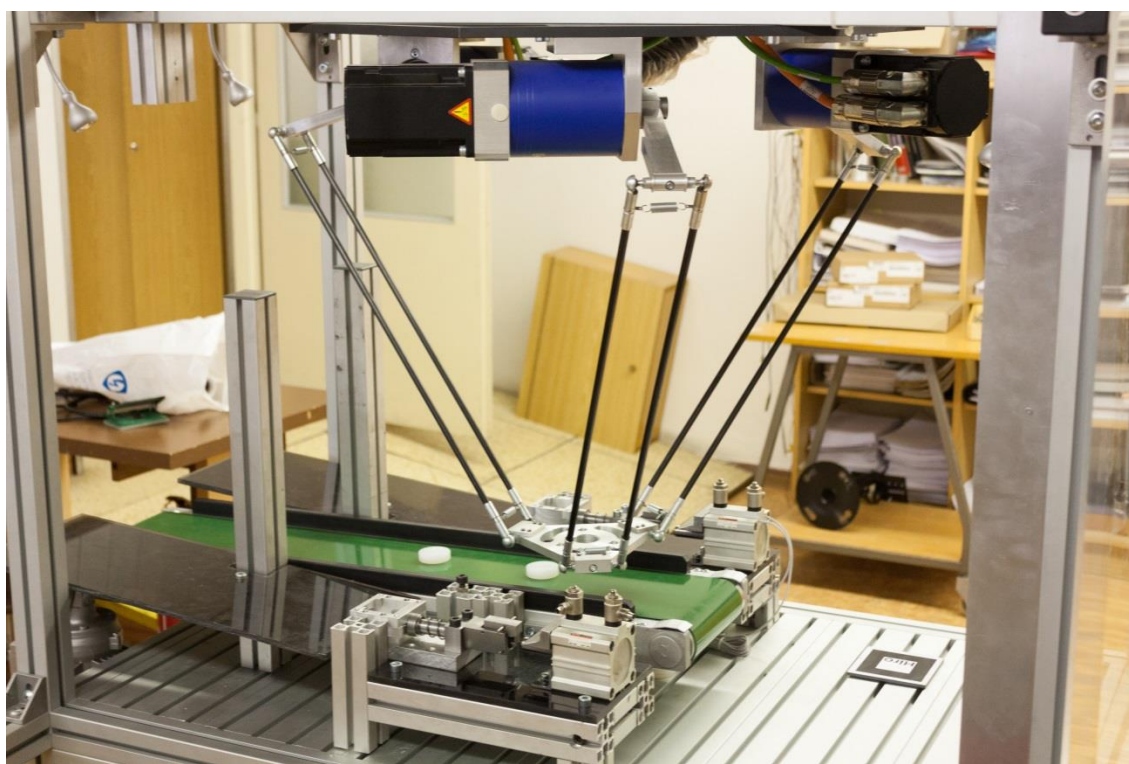
2.2 Řešená výrobní linka

Řešená výrobní linka má sloužit jako výuková a demonstrační pomůcka. Linku tvoří delta robot, pásový dopravník, zásobníky na správné (OK) a špatné (NOK) výrobky, pneumatické manipulátory, průmyslová kamera a podtlakové úchopné hlavice.

Pás dopravníku přemísťuje výrobky do pracovního prostoru delta robotu, který tyto výrobky uchopuje, snímá z pásu a zařazuje je do zásobníku na OK a NOK výrobky. Ze zásobníku jsou výrobky přemísťovány pomocí pneumatických manipulátorů zpět na dopravníkový pás. Během přepravy výrobků dopravníkem jsou tyto výrobky snímány digitální kamerou.

Na získaný digitální obraz z kamery jsou aplikovány algoritmy zpracování obrazu, tato technologie se nazývá strojové vidění a jejímu návrhu je věnována celá druhá kapitola práce. Ze zpracovaného obrazu získá řídicí systém informace

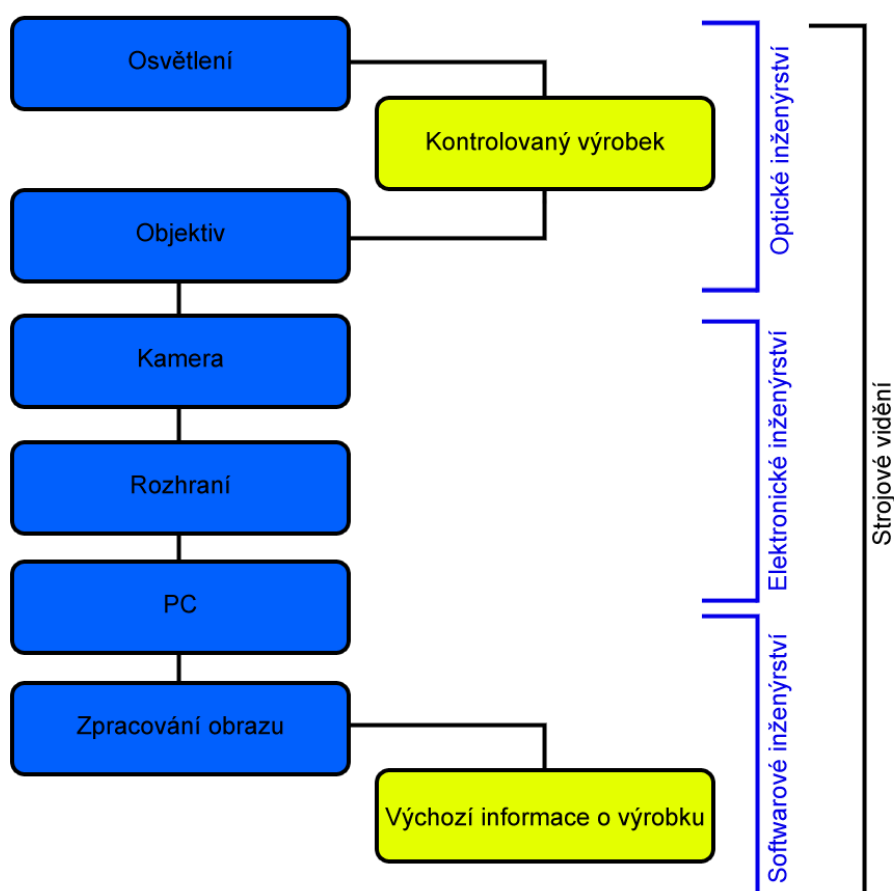
o velikosti výrobku a poloze výrobku na dopravníkovém páse v daném okamžiku. Řídicí systém linky vyhodnotí informace z kamery a pošle informace řídicímu systému delta robotu, který zadá polohu delta robotu pro sejmутí výrobku z pásu, získanou z předešlých informací. Uchopení výrobku probíhá pomocí jedné ze tří podtlakových úchopných hlavic. Delta robot najede na úchopnou plochu výrobku a k následnému zvednutí výrobku z pásu dojde díky vzniku podtlaku vlivem odsátí vzduchu v hlavici. Nyní řídicí systém delta robotu zašle delta robot s uchopeným výrobkem na souřadnici OK nebo NOK zásobníku. Souřadnice zásobníku, do kterého má být výrobek umístěn, je vyhodnocena na základě získané informace o velikosti výrobku. Vyhovující výrobky jsou umístěny do zásobníku na OK výrobky a naopak. Takto vypadá cyklus řešené výrobní linky. Cela výrobní linka je zobrazena na Obr. 2. Pro lepší představu o funkci řešené linky je na obrázku zobrazeno celé její uspořádání.



Obr. 2. Fotografie řešené výrobní linky.

3 STROJOVÉ VIDĚNÍ

Strojové vidění je inženýrská disciplína, která zahrnuje více odvětví, jmenovitě strojní, elektro, optické a softwarové inženýrství [2]. Podstatou strojového vidění je zejména kontrola strojních výrobků a jejich přesnost. Prostředkem pro inspekci výrobků jsou digitální kamery. Principem strojového vidění je získání snímku scény z digitální kamery, na níž je zobrazen výrobek, zpracování snímku a vyhodnocení potřebných informací, které jsou podstatné pro správnou funkci výrobků. Obr. 3 zobrazuje vývojový diagram získání informace o výrobku, dílčím částem řetězce jsou věnovány následující podkapitoly, ve kterých jsou popsány principy a vlastnosti dílčích částí diagramu pro strojové vidění.



Obr. 3. Zobrazení procesu strojového vidění.[2]

Strojní vidění se začalo rozvíjet vlivem zvýšených nároků zejména automobilního průmyslu na kvalitu výrobků. V automobilovém průmyslu začal být velký tlak na téměř stoprocentní a efektivní kontrolu všech výrobků od subdodavatelů. Z toho důvodu jsou lidské zdroje nahrazovány systémy strojového vidění, které jsou mnohem efektivnější, umožňují nepřetržitý provoz a zamezují selhání vlivem lidského faktoru při kontrole součástí [2].

3.1 Osvětlení

Osvětlení regionu zájmu kamery je rozhodující pro úspěšné zavedení metody strojového vidění, a to z toho důvodu, že snímaný objekt musí být dobře vidět na snímku a nejlépe mít co největší kontrast ve srovnání s okolím. Také je vhodné, aby osvětlení bylo celistvé na celé ploše regionu zájmu kamery. Díky osvětlení jsou zaručeny stabilní světelné podmínky po celou dobu cyklu, ale také v každém ročním období. Roční období jsou zmíněna, aby bylo jasné, že přirozené světlo není vhodným osvětlením pro strojové vidění. Světelné podmínky jsou každé roční období velmi odlišné, proto je vhodné, pokud je to možné, odstínit veškeré rušivé světlo a používat pouze zvolený zdroj světla. Vysoký kontrast je výhodný pro zpracování obrazu, umožňuje snadné použití prahování k oddělení pozadí (nedůležitých informací) od snímaného objektu (této problematice bude věnována kapitola 3.5). V literatuře je uváděno, že správné volbě osvětlení by měla být věnována největší pozornost při sestavování aplikace strojového vidění [3].

3.1.1 Světlo

Světlo je tvořeno elektromagnetickým vlněním, podle viditelnosti rozdělujeme světlo do tří skupin, které spadají do spektra elektromagnetického vlnění od 15nm do 1mm. Skupiny jsou definovány jako:

- Ultrafialové světlo (UV) 15 - 380 nm
- Viditelné světlo (VIS) 380 - 780 nm
- Infračervené světlo (IR) 780 - 2 000 nm

Dále rozlišujeme bílé světlo, které je případem viditelného světla obsahujícího v rovnoměrném zastoupení celou VIS oblast [2].

3.2 Zdroje světla

Jako zdroje světla pro strojové vidění se používají tyto typy provedení [2]:

- LED (Light emitting diode)
- Halogenové lampy
- Fluorescenční lampy
- Xenonové lampy
- Laserové diody
- Žárovky

V dnešní době se pro osvětlení scény primárně používají zdroje světla typu LED, a to z důvodů malé cenové náročnosti, životnosti, možnosti použití, vyvíjení menšího tepla, krátké doby reakce, údržby a hlavně pomalého stárnutí LED prvků. Výhodou LED diody je možnost jejího použití ve spektru viditelného světla, tedy v rozsahu elektromagnetického záření o vlnových délkách od 400nm do 750nm [4].

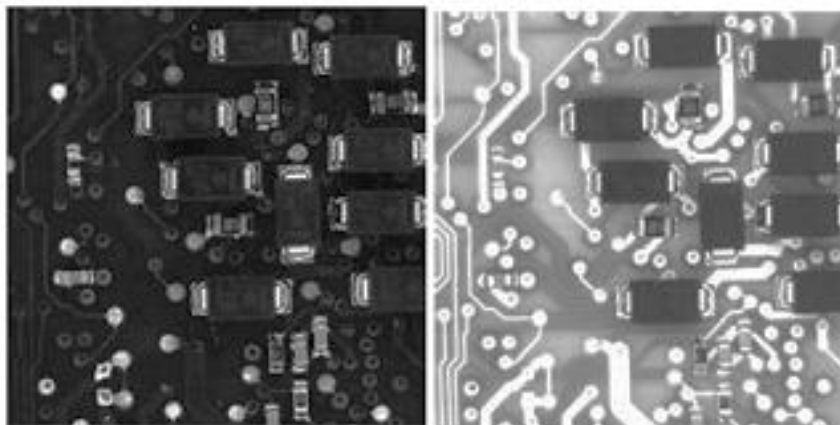
V oblasti počítačového vidění se obvykle používají buď zdroje bílého světla, nebo zdroje IR světla, ostatní typy světla se používají pouze okrajově.

3.2.1.1 Použití zdrojů bílého světla

Nejpřirozenější je „bílé světlo“, které je směsí všech vlnových délek viditelného spektra. Bílé světlo se používá v systémech strojového vidění, při kontrole barevných výrobků, při použití černobílé kamery, nebo pro barevné zpracování obrazu. Jediným možným způsobem zjištění všech barevných výrobků různé barvy na lince při použití černobílé kamery je osvětlení linky pomocí bílého světla. Zde se využívá vědomostí o schopnosti výrobku pohlcovat jiná barevná spektra, než jakou barvu spektra má výrobek, což se projeví v kontrastu. Pokud je svíceno bílým světlem na stejně barevně sytý výrobek modré a červené barvy, bude kontrast stejný. Bílé světlo je využíváno ve všech aplikacích, kde je použita barevná kamera, a je nutné realistické zobrazení barev [2].

3.2.1.2 Použití zdrojů IR světla

Infračervené světlo je používáno v aplikacích, kde bílé světlo není vhodné. Tam, kde je při použití bílého světla sledovaná součást tmavá, je nasazováno světlo infračervené pro lepší zobrazení detailů pro zpracování obrazu. Tohoto jevu si můžeme všimnout na Obr. 4. Na obrázku vlevo je plošný spoj osvětlený pomocí červených led diod. Vpravo je zobrazen pořízený obrázek pod IR osvětlením. Z obrázku je patrné, že více detailů získáme při osvětlení pomocí IR osvětlení. Objektiv musí být bez IR filtru, aby bylo možné použít tento druh světla [2].



Obr. 4. Deska plošného spoje osvětlena vlevo červenými led vpravo IR led [2].

3.2.2 Techniky osvětlování scény

V této podkapitole je dobré mít stále na paměti jednu z nejdůležitějších pouček pro strojové vidění: „Je lepší řešit déle osvětlení než psát software pro kompenzaci špatného osvětlení“. Nejpodstatnějšími body pro osvětlení scény jsou [2]:

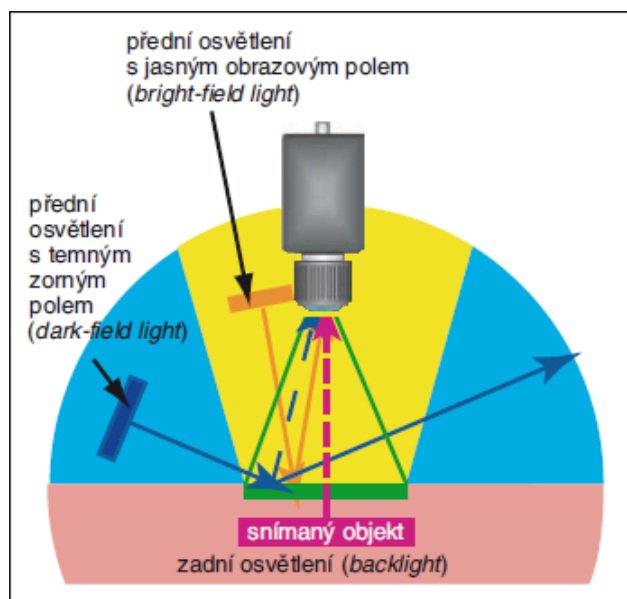
- maximalizování kontrastu sledovaných prvků,
- minimalizování kontrastu všech ostatních prvků,
- minimalizování vnějších vlivů.

Použitelné nastavení osvětlení se může lišit od poznatků získaných z experimentu a použité teorie. Ne všechny nalezené typy osvětlování jsou

použitelné pro osvětlení aplikací. To vše závisí na požadavcích, které má aplikace strojového vidění splňovat.

Pro aplikace strojového vidění se používají 3 typy geometrie osvětlení, které můžete vidět na Obr. 5. Jmenovitě jsou to [4]:

- Přední osvětlení s jasným zorným polem.
- Přední osvětlení s tmným zorným polem.
- Zadní osvětlení.



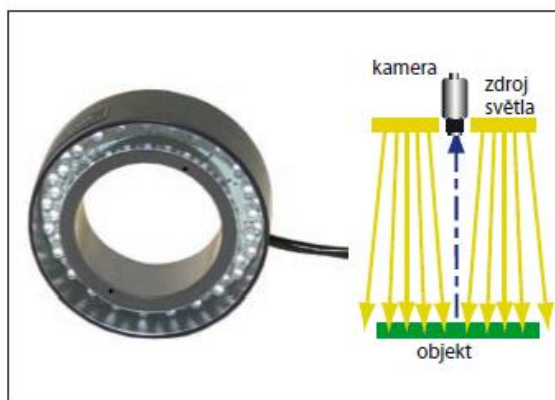
Obr. 5. Zobrazení geometrických typů osvětlení [4].

O výše zmíněných typech osvětlení pojednávají tři následující podkapitoly, v nichž je věnována pozornost praktickým možnostem použití a výhodám daných metod osvětlování výrobku.

3.2.2.1 Přední osvětlení s jasným zorným polem

Geometrie osvětlení pro jasné zorné pole je uspořádána tak, aby paprsky zdroje světla dopadaly na povrch výrobku a následně se odrážely do objektivu a skrze něj na senzor kamery. Při použití typu osvětlení s jasným zorným polem vzniká jasný odraz na ploše výrobku a také kontrast vůči okolí, nebo naopak. Jakým způsobem bude výrobek na snímku zobrazen, záleží na vlastnostech absorpce světelných paprsků sledovaným objektem nebo pozadím.

Nejčastěji se používají zdroje rozptýleného světla pro vznik kontrastu na snímku. Méně často se používá bodové světlo, a to v případech vytváření kontrastu na lesklých plochách. Přední osvětlení s jasným zorným polem je vhodné pro aplikace snímání obrazu, kde je třeba potlačit malé vlivy obrábění, při vzniku malého kontrastu v okolí lesklých hran [2]. Na Obr. 6 je zobrazen kruhový osvětlovač s použitými LED diodami, který je jedním z typů osvětlovačů založených na principu osvětlení s jasným zorným polem. Dále se používají telecentrické osvětlovače, plošná osvětlovací pole, DOAL(COAL) osvětlovače a kopulové osvětlovače.

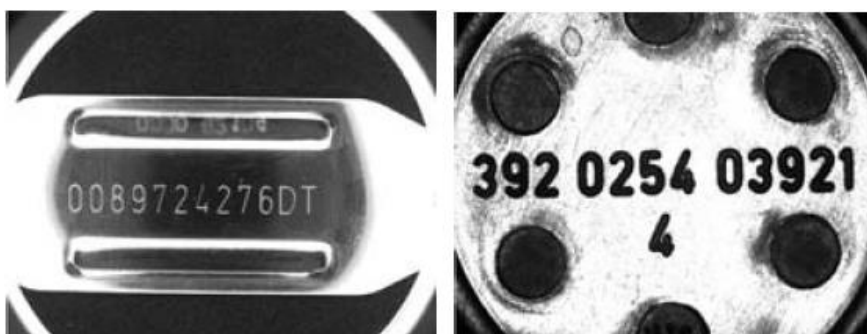


Obr. 6. Kruhový osvětlovač se schématem osvětlení scény [4].

3.2.2.2 Přední osvětlení s tmavým zorným polem

Geometrie tohoto typu osvětlení je uspořádána tak, že světlo ze zdroje se neodráží od sledovaného objektu přímo na senzor kamery. To znamená, že dokonalý nepoškozený výrobek je na snímku zobrazen jako tmavý a pouze poškození povrchu se jeví jako světlé. Je tomu tedy naopak než u světlého zorného pole. To, že se povrch výrobku jeví jako tmavý, je způsobeno tím, že světlo na povrchu se pouze rozptýlí a neodráží se přímo na světlo citlivý senzor a rozptýlené světlo vytváří menší kontrast než světlo odražené. Na Obr. 7 je zobrazeno využití tohoto principu osvětlení pro kontrolu vygravírovaných sériových čísel.

Tohoto typu uspořádání se využívá například pro zjištění kvality povrchové úpravy, zjištění porušení a nedostatků povrchu výrobku, pro detekci správně vyleptaného nebo vygravírovaného označení. Pro typ zobrazování s tmavým zorným polem se používají speciální kruhové osvětlovače, plošná osvětlovací pole, a bodová světla [4].

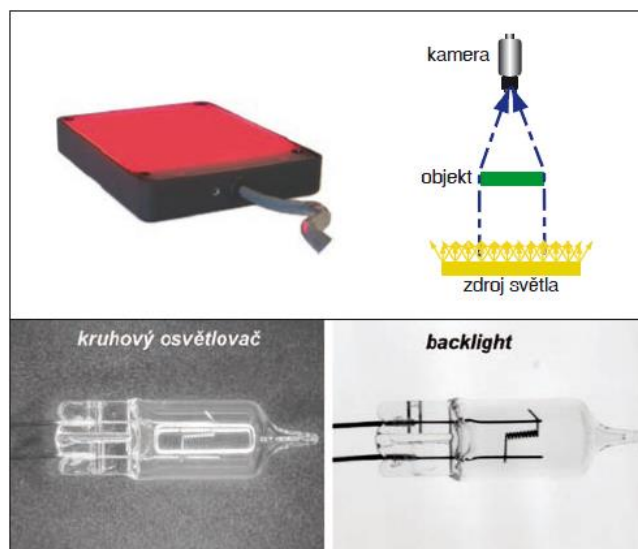


Obr. 7. Vlevo osvětlený leštěný plech, vpravo plastový výrobek [2].

3.2.2.3 Zadní osvětlení

Při použití zadního osvětlení vytváří sledovaná součást nebo její část na senzoru kamery stín, tedy je na snímku zobrazena tmavě. Při zadním osvětlování se používá rozptýlené světlo. Zadního osvětlení se využívá při měření obrysů neprůhledných součástí, popřípadě při inspekci vložených, nebo chybějících částí v průhledném obalu.

Pro zadní osvětlení se používají plošné osvětlovací pole s difuzorem. Osvětlovacího pole si můžeme všimnout spolu se schématem osvětlení a porovnáním osvětlení pomocí kruhového a zadního osvětlení na Obr. 8. Porovnáním dvou způsobů osvětlení žárovky během kontroly žhavicího drátu je již na první pohled patrné, že pro tuto aplikaci je vhodnější použití zadního osvětlení, které nám zaručuje vyšší kontrast a lepší viditelnost žhavicího drátu [4].



Obr. 8. Osvětlovací pole, schéma scény, porovnání kruhového a zadního osvětlení.[4]

3.2.3 Volba osvětlovače

Při volbě osvětlovače je nutné vědět, jaké uspořádání scény máme k dispozici. Pro vhodné umístění osvětlovače volíme takový způsob, aby nevznikal stín na snímané ploše a nejlépe byly odstraněny všechny rušivé vlivy okolního světla. Důležitými vlastnostmi při volbě osvětlení jsou odrazivost, absorpce světla výrobkem a okolím. Dle těchto vlastností následně volíme typ geometrie osvětlení a barvu osvětlení dle výše uvedených podkapitol. Při vytváření rychloběžné aplikace je vhodné použít světel blikajících, které vytváří stroboskopický jev a umožňují nám vytvářet ostrý snímek při vysokých rychlostech vytváření obrazů.

3.3 Objektivy

Objektivy jsou používány u fotoaparátu a kamer k soustředění světelných paprsků na CCD nebo CMOS senzor, popřípadě na kinofilm.[5] V této práci jsou pro nás zajímavé pouze objektivy pro průmyslové kamery, které se značí jako CCTV objektivy.

Objektivy ovlivňují přesnost měření strojového vidění. Vhodným zvolením objektivu můžeme zanedbat vlivy perspektivního zobrazení. Během návrhu strojového vidění musíme vždy uvažovat o koupi co nejvyššího objektivu, který nám poskytne požadované zobrazení součásti. Pokud použijeme v aplikaci kvalitní kameru a nekvalitní objektiv, nebude snímaná scéna v dostatečné kvalitě, oproti tomu při použití kvalitního objektivu a průměrné kamery můžeme dosáhnout kvalitnějšího zobrazení než v předchozím případě.

Při volbě objektivu je podstatný prostor pro umístění kamery, region zájmu kamery a velikost senzoru kamery.

3.3.1 Typy objektivu

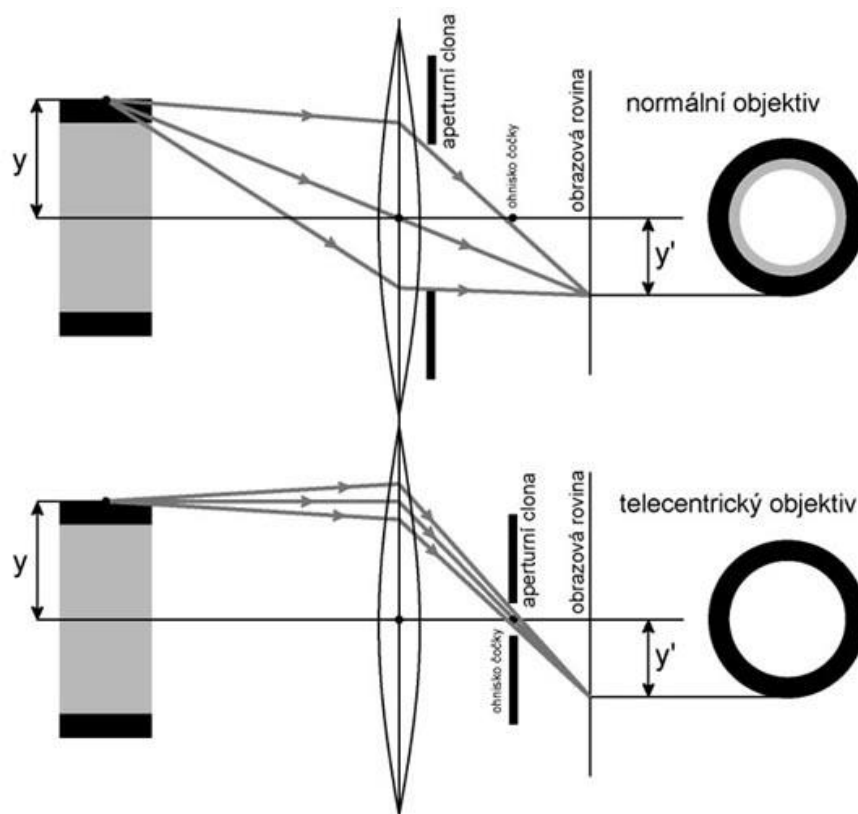
Nejhrubější dělení objektivů podle ohniskové vzdálenosti je [4][5]:

- Objektivy s pevnou ohniskovou vzdáleností.
- Objektivy s proměnnou ohniskovou vzdáleností.

Dále můžeme dělit objektivy dle ohniskové vzdálenosti a úhlu záběru na [5]:

- Rybí oka (8 - 15 mm)
- Super širokoúhlé (14 - 24 mm)
- Širokoúhlé (24 - 35 mm)
- Střední ohniska (30 - 100 mm)
- Normální objektiv (50 mm)
- Teleobjektivy (100 - 300 mm)
- Silné teleobjektivy (>300 mm)

Pro průmyslové aplikace se výhradně používají objektivy s pevným ohniskem. To z důvodů, že dosahují lepších kvalit a dokáží zajistit stabilitu parametrů, dále je vhodné, aby například operátor na lince nemohl zasáhnout do změny nastavení objektivu při použití objektivu s proměnnou ohniskovou vzdáleností. Pro aplikaci, kde je prováděno měření výrobku jako v případě této práce, je vhodné zvolit objektiv s minimálními geometrickými chybami a perspektivním zkreslením obrazu. Ideální je použití telecentrického objektivu, který je konstrukčně přizpůsoben tak, že skrze něj prochází pouze světelné paprsky rovnoběžné s optickou osou, paprsky nerovnoběžné s osou jsou odstíněny. Na Obr. 9. je vidět rozdíl v zobrazení trubky při použití telecentrického a normálního objektivu. Z obrázku je patrné, že telecentrický objektiv zobrazuje bez perspektivního zkreslení, kdežto normální objektiv zobrazuje trubku již s perspektivním zkreslením. Tedy telecentrický objektiv zobrazuje pouze požadovaný průměr trubky, naproti tomu normální objektiv zobrazuje i vnitřní stěnu trubky, to by mohlo vést při přesném měření ke zkreslení průměru trubky [5].



Obr. 9. Zobrazení trubky pomocí telecentrického a normálního objektivu [5].

3.3.2 Parametry objektivu

Kvalita zobrazení obrazu je také závislá na parametrech objektivu. V následujících podkapitolách jsou použity informace ze zdrojů [5][6][7]. Vhodné parametry objektivů se mohou lišit a to v závislosti na požadavcích aplikace, pro kterou objektiv volíme. Při volbě objektivů již vycházíme i z poznatků o použitém osvětlení. Dle osvětlené plochy volíme region zájmu kamery, protože je zbytečné snímat neosvětlenou část vyhodnocovací plochy. Pro daný region zájmu volíme ohniskovou vzdálenost objektivu a podle jasů volíme clonu. Tyto pojmy budou objasněny v následujících podkapitolách.

3.3.2.1 Clona

Clona funguje na podobném principu jako lidská zornice, tedy při snížené viditelnosti se otevře, aby byla schopná dále plnohodnotně snímat scénu [2]. Clona je tedy mechanismus s proměnlivým vnitřním průměrem díry, který můžeme měnit v závislosti na vnějších světelných podmínkách. Clonové číslo označené na objektivu je poměrem ohniskové vzdálenosti a průměru vstupní čočky. Clonové číslo je údajem o tom, kolik světla projde na snímač kamery a ovlivňuje i hloubku ostroty.

3.3.2.2 Ohnisková vzdálenost

Ohnisková vzdálenost je vzdálenost čočky objektivu od jejího ohniska, značí se f . Pomocí ohniskové ovlivňujeme šířku záběru kamery. Čím je ohnisková vzdálenost větší, tím je úhel záběru menší a tím i menší snímaná plocha. Objektivy s malou ohniskovou vzdáleností poskytují velmi zkreslenou informaci, například rybí oko má velmi malou ohniskovou vzdálenost a na snímku při použití tohoto objektivu je zobrazen snímáný obraz o šířce záběru až 180° a velkém perspektivním a geometrickém zkreslení. Oproti tomu telecentrické objektivy, které mají velkou ohniskovou vzdálenost 100 - 300 mm snímají pouze tak velkou plochu, jak velký je průměr vstupní čočky.

Ohniskové vzdálenosti uvedené na objektivu se podle velikosti čipu a činitele oříznutí přepočítávají na ekvivalentní ohniskovou vzdálenost f_{ekv} pro políčko kinofilmu, aby byly porovnatelné různé objektivy s použitím odlišných čipů. Tedy pokud známe ohniskovou vzdálenost f a činitel ořezu n , můžeme přepočítat ekvivalentní ohniskovou vzdálenost zobrazení na kinofilmu a to tak, že vynásobíme ohniskovou vzdálenost našeho objektivu činitelem ořezu, viz vzorce 1.

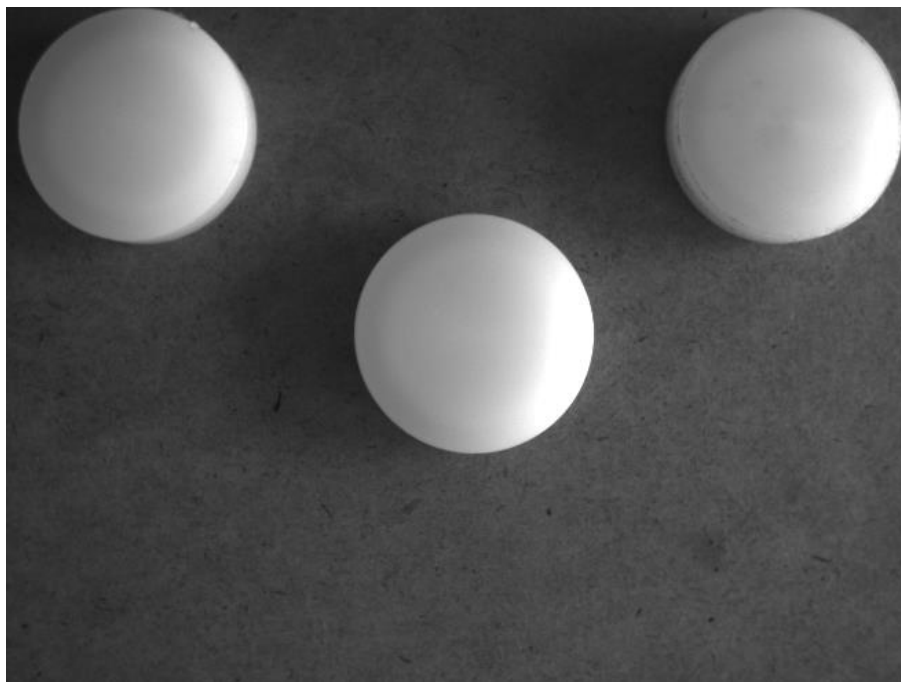
$$f_{ekv} = f \cdot n \quad (1)$$

3.3.2.3 Chyby objektivů

Při výběru objektivů musíme brát v potaz různé chyby zobrazení objektivů, které zkreslují požadovaný obraz. Některým základním typům bude věnováno několik následujících podkapitol. Zmíněny jsou pouze vady, které se projevíly během testování objektivů při vytváření práce.

3.3.2.4 Perspektivní zobrazení

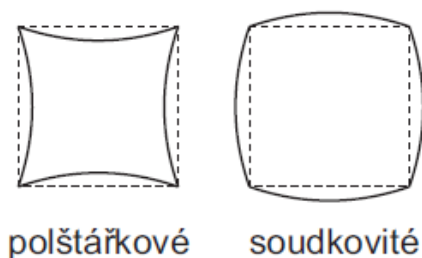
Perspektivní zobrazení vzniká při zobrazení 3D scény na 2D obrazovou rovinu. Perspektivním zobrazením vzniká zkreslení obrazu, tento jev je pro přesné měření pomocí strojového vidění nežádoucí. Vlivem perspektivního zobrazení je obraz stejného objektu v jiných polohách ve scéně zobrazen odlišně. Malý objekt se středem v optické ose bude zobrazen zcela ve 2D, kdežto tento stejný objekt zobrazený mimo optickou osu bude již zobrazen perspektivním zobrazením, tedy budou vidět například boky hran. Tohoto jevu si můžeme všimnout na Obr. 10. Na Obr. 10. je vidět perspektivní zobrazení dvou koleček v horních rozích v porovnání kolečka zhruba ve středu optické osy. Obr. 10 byl pořízen kamerou AVD Manta G-033B s použitým objektivem Pentax C30811KP [8].



Obr. 10. Perspektivní zobrazení kuleček z kamery AVD Manta G-033B.

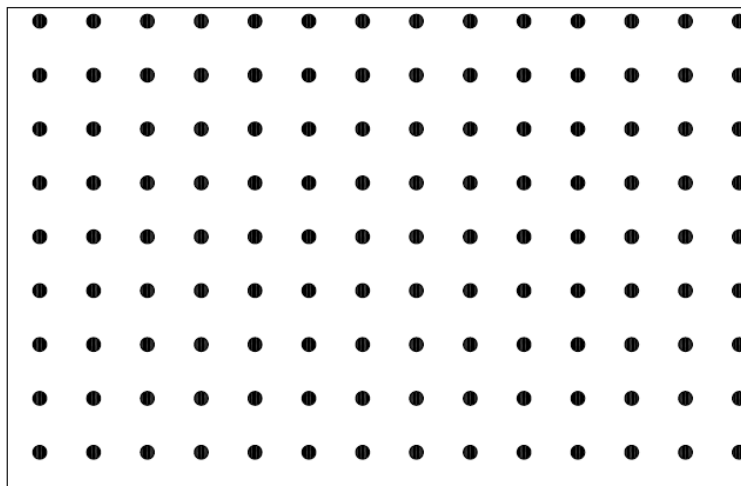
3.3.2.5 Geometrické zkreslení objektivu

Nejznámějšími typy zkreslení jsou soudkovité a polštářkovité. Tyto dva typy zkreslení jsou nazvány podle vlivů, které mají na vytvořený obraz. Geometrické zkreslení soudkovitého typu je způsobeno vlastností širokoúhlých objektivů, kde širokoúhlé objektivy mají vyšší hodnotu zvětšení ve středu obrazu, než u krajů obrazu. Polštářkový efekt je opakem soudkovitého zkreslení, tedy zvětšení má vyšší hodnotu u krajů obrazu než ve středu obrazu viz Obr. 11 [9].



Obr. 11. Geometrické zkreslení objektivů.

Zkreslení můžeme odstranit softwarově, většinou se k tomu používá metod kalibrace, kdy kamerou vytvoříme obraz kalibračního obrazce. A následně se dají použít různé softwarové knihovny, které provedou srovnání kalibračních bodů do linií. Například software LabVIEW má pro kalibraci připravenou metodu, kterou lze rychle a efektivně nasadit pro kalibrování. Kalibrační obrazec může vypadat jako na Obr. 12. Jako kalibrační obrazec se používají například, jako v tomto případě, tmavé body s konstantními vzdálenostmi bodů v řádcích a sloupcích na bílém pozadí.



Obr. 12. Kalibrační obrazec.

3.3.3 Volba objektivu

Správná volba objektivu je podstatná pro celou aplikaci strojového vidění. Dle zvoleného objektivu známe vzdálenost, do jaké musíme kameru nainstalovat, jak velká bude zobrazovaná plocha objektivem, což je následně důležité i pro volbu rozlišení kamery. Zvolením kvalitního objektivu se můžeme vyhnout kalibraci obrazu a tím ušetřit čas softwarových inženýrů.

3.4 Kamery

V dnešní době se pro aplikace strojového vidění používají výhradně digitální kamery. Proto je tato část práce zaměřena výhradně na digitální kamery pro strojové vidění. Kamery slouží pro digitální zaznamenání obrazu a obraz je nejpodstatnější pro aplikace metod zpracování obrazu. Nadále bude věnována pozornost průmyslovým digitálním kamerám, které jsou mírně odlišné od běžných domácích digitálních kamer, nejen konstrukcí, ale i možnosti zpracování obrazu přímo kamerou.

3.4.1 Kamery pro strojové vidění

Pro strojové vidění se používají jak digitální kamery, které poskytují pouze obrazovou informaci, tak i chytré digitální kamery, které již poskytují vyhodnocení obrazové informace a které na rozdíl od ostatních mají v sobě implementován postprocesing obrazu.

Při výběru řešení mezi inteligentní kamerou a digitální kamerou připojenou k PC není rozhodující cena, ale zejména možnost přizpůsobení aplikace. Chytrá kamera nemá takovou modulárnost jako digitální kamera připojená k PC, ale dá se využít pro mnoho jednoduchých aplikací a vyhneme se přitom programování složitých metod, které jsou již součástí Inteligentní kamery a stačí je jen nastavit. Nastavení chytrých kamer probíhá většinou pomocí rozhraní Ethernet, USB nebo pomocí Firewire.

Kamery propojené s PC mají velkou výhodu ve flexibilitě při přizpůsobení pro danou aplikaci. Můžeme využít pro řešení více kamer a navíc nám vhodné zvolené programovací prostředky umožní vytvořit složitější řešení. Možnost řešení

složitějších aplikací jsou dány větším výpočetním výkonem, než je u Inteligentních kamer možné získat s ohledem na soustředění celého výpočetního výkonu integrovaného do inteligentní kamery.

3.4.1.1 Rozlišení kamery

Rozlišení kamery se udává v obrazových bodech (pixelech) a udává počty pixelů na výšku a na šířku, kterými bude obraz reprezentován v digitální podobě. Průmyslové kamery se na trhu objevují s velkou škálou rozlišení. Zatím se v průmyslu nejčastěji uplatňují kamery s rozlišením VGA(640x480px) pro malý datový tok a možnost zpracování VGA rozlišení přímo inteligentní kamerou. Rozlišení průmyslové kamery je podstatné při aplikacích pro kontrolu rozměrů, kdy jeden obrazový bod by měl být nejmenší rozlišitelný rozměr. Pixel tedy udává přesnost měření. Rozlišení kamer jsou dána použitým senzorem a mřížkou pixelů. Velikost senzoru je podstatná pro volbu objektivu.

3.4.1.2 Rozlišovací schopnost kamery

Rozlišovací schopnost průmyslových kamer je dána počtem obrazových bodů, kterými je digitální obraz reprezentován, a prostorem, který je kamerou zobrazen na snímku dle vzorce 2, kde R_s udává prostorové rozlišení v mm/px, FOV udává šířku nebo výšku obrazu v mm a R_c značíme rozlišení kamery v px. Dle doporučení National Instruments by měl být nejmenší hledaný rozměr výrobku reprezentován dvěma pixely, aby bylo měření dostatečně přesné [2][10].

$$R_s = \frac{FOV}{R_c} \quad (2)$$

3.4.2 Rychlost snímání kamery

Rychlost snímání kamery je udávána jako počet snímků, které je schopna kamera zachytit za jednu sekundu (FPS). Rychlost snímání ovlivňuje celkovou rychlost aplikace strojového vidění. Například počet snímku, který je kamera schopna zajistit za vteřinu, může být počet výrobků, který jsme schopni zkontrolovat za vteřinu, ale musíme být schopni měnit výrobky rychleji než je FPS kamery. Při použití kamer s vyššími FPS, můžeme sledovat pohybující se objekty. Pro přesné sledování a vytváření kontroly pohybu daného prvku se v kombinaci s vyšším FPS používají kamery s progressive scan CCD technologií, která umožňuje získat celý obraz najednou, nejedná se tedy o prokládaný obraz, který by mohl být rozmazaný. Pro představu výše zmíněná kamera Manta G-033B je schopna snímat s rychlostí FPS 88 [11][2].

3.4.3 Volba kamery

Vhodná volba kamery je nejdůležitějším krokem při vytváření systému obsahující strojové vidění. Je důležité mít v tomto bodě při navrhování systému již ujasněno, co přesně bude systém měřit a s jakou přesností. Dále by mělo být ujasněno umístění kamery, v jaké výšce od měřené oblasti bude kamera umístěna a jak velký bude region zájmu kamery. Důležitá je náročnost datového toku kamery a možnost datového připojení kamery k řídicímu systému, který data z kamery

zpracuje. Na Obr. 13 je zobrazena kamera, která je použita v praktické části závěrečné práce [12].



Obr. 13. Digitální kamera Allied vision technologies Manta G-033B [11].

3.5 Zpracování obrazu

Zpracování obrazu je metoda, kterou jsme schopní získat z digitálního obrazu pro nás důležité informace o ději na lince a rozměrech výrobku. V práci byl zvolen pro zpracování obrazu software LabVIEW od firmy National Instruments, která nabízí knihovny pro zpracování obrazu a Vision Assistant, který umožňuje přímo do LabVIEW exportovat zdrojový kód. Z důvodu implementovaných metod zpracování obrazu v softwaru budu dále v této kapitole zmiňovat pouze obecný popis metod zpracování obrazu.

3.5.1 Digitální obraz

V kapitole o digitálním obraze a jeho zpracování je čerpáno z literatury [8]. Digitální obraz je reprezentován maticí pixelů závislou na rozlišení kamery. Digitalizaci obrazu je možno provést pomocí vzorkování a kvantování. Vzorkování se provádí v matici pixelů a musí být splněna Shannonova věta, tedy zvolený interval pro vzorkování musí být minimálně o polovinu menší než nejmenší detail v obraze. Kvantováním musíme jasovou funkci rozdělit do kvantovacích intervalů, kterými reprezentujeme jasovou digitální funkci. U 8 bitové monochromatické kamery je pixel reprezentován hodnotou 0-255, kde hodnota 0 je černá barva a 255 bílá barva. Pixel má své konečné rozměry a je chápán jako nejmenší část obrazu pro zpracování. Mřížka reprezentovaného obrazu může být čtvercová nebo hexagonální, ale v praxi se nejvíce používá mřížka čtvercová.

3.5.2 Histogram

Histogram se používá pro zjištění správnosti expozice. Pomocí histogramu se dá zjistit, zda je obraz přeexponován nebo podexponován. Tedy histogramem můžeme zjistit kvalitu obrazu. Histogramem je většinou sloupcový diagram, který udává počet pixelů s danou jasovou úrovní. Také nám přináší plnohodnotnou informaci o kontrastu obrazu pro využití metody segmentace obrazu prahováním.

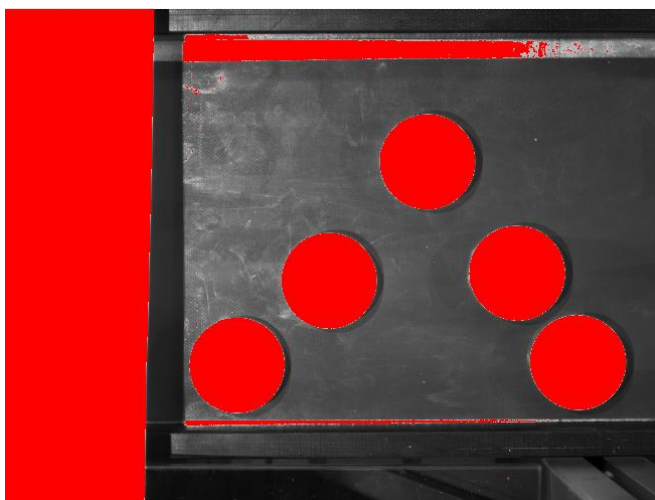
3.5.3 Segmentace obrazu

Segmentace obrazu je jednou z nejdůležitějších metod, která nám následně umožní analýzu rozměrů součástí. Pomocí segmentace obrazu jsme schopní rozdělit obraz na pro nás zajímavé objekty a nezajímavé pozadí. Na řešené výrobní lince dosahujeme velkého kontrastu mezi objekty a pásem dopravníku, díky tomu

je možné dosáhnout úplné segmentace obrazu, tedy rozdělení obrazu na objekty a pozadí. Další výhodou segmentace obrazu je zmenšení datového toku, protože dále můžeme pracovat pouze s objekty. V praktické části je použita metoda segmentace pomocí prahování.

3.5.3.1 Segmentace prahováním

Segmentace prahováním je považována za jednu z prvních metod segmentace vůbec. Výstupem prahové segmentace je binární obraz. Prahová segmentace je metoda, která provádí zjištění hodnot jasu všech pixelů obrazu a jejich porovnání s prahem, který volíme. Pokud hodnota jasu pixelu má menší hodnotu než prah, je pixel prohlášen za bod pozadí, v jiném případě pixel náleží objektu. Za velkou výhodu segmentace prahováním je považována rychlost a možnost nasazení v aplikacích reálného času. Na Obr. 14 je zobrazen příklad segmentace obrazu prahováním na obrázku z řešené výrobní linky, kde červeně označené plochy splňují prahovací podmínku.



Obr. 14. Výsledek segmentace prahováním.

Pro segmentaci prahováním musíme určit hodnotu prahu tak, aby výsledkem segmentace byly oddělené objekty od pozadí, při špatné volbě prahu může být výsledkem segmentace obrazový šum, který výrazně zkresluje hledané objekty. Ve většině příkladů hodnotu prahu určujeme při testování obrazu na přímo řešené aplikaci.

3.5.4 Detekce hran

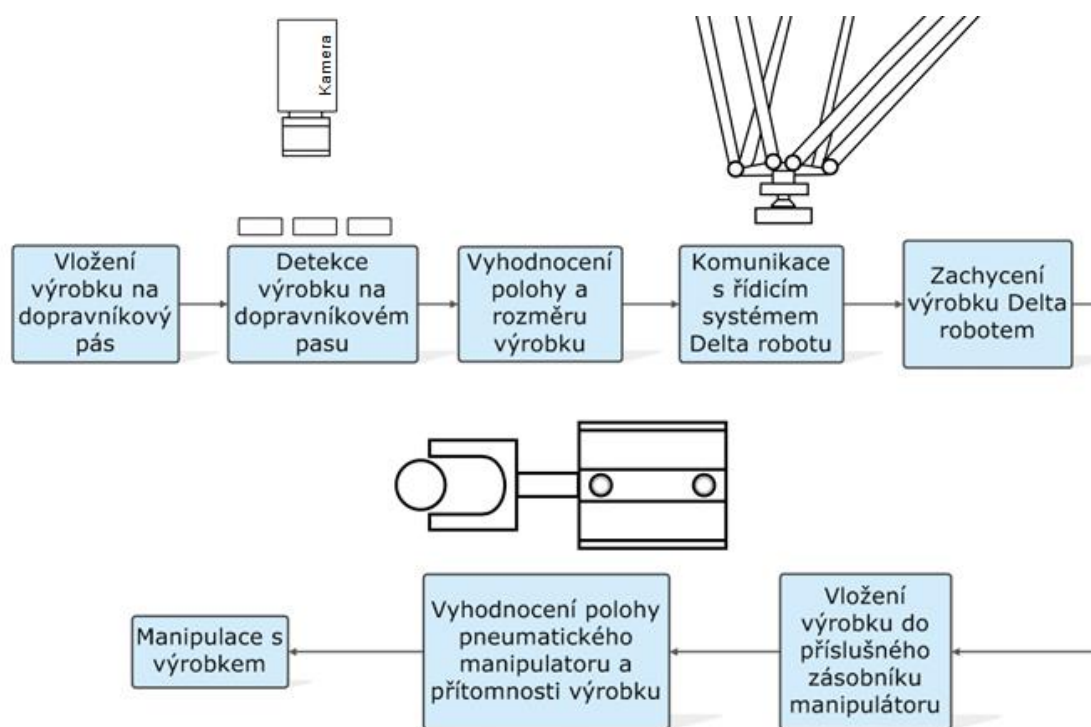
Detekce hrany v obraze je klíčem k určení rozměrů výrobku a k jeho měření. Hrana je vektorovou veličinou a je určena velikostí a směrem. Velikost a směr určující hranu můžeme získat pomocí gradientních metod. Gradientní metody jsou popsány v již zmiňovaném zdroji [8]. Ve většině případů se po hledání hran v obrazu aplikují metody segmentace obrazu. Dále již gradientním metodám nebude věnována pozornost z důvodu používání již připravených metod v LabVIEW, kde pro detekci hran výrobků na dopravníkovém páse je použita metoda „find shape“.

4 ŘEŠENÍ TŘÍDICÍ LINKY

Pro správný chod třídící linky bylo nutné na lince řešit umístění kamery tak, abychom z kamery získávali potřebné množství informací pro třídění výrobků a následné testování kamery s algoritmem vyhledávání výrobků na lince. Byl navržen řídicí systém aplikace, dále bylo řešeno řízení pneumatických manipulátorů za pomoci signálů získaných ze snímačů polohy pneumotoru a snímačů přítomnosti výrobků. Těmto bodům budou věnovány následující podkapitoly.

4.1 Popis funkce linky

Řešená výrobní linka má sloužit pro třídění výrobků na OK a NOK výrobky. Jeden pracovní cyklus výrobní linky je zobrazen pomocí blokového diagramu na Obr. 15.



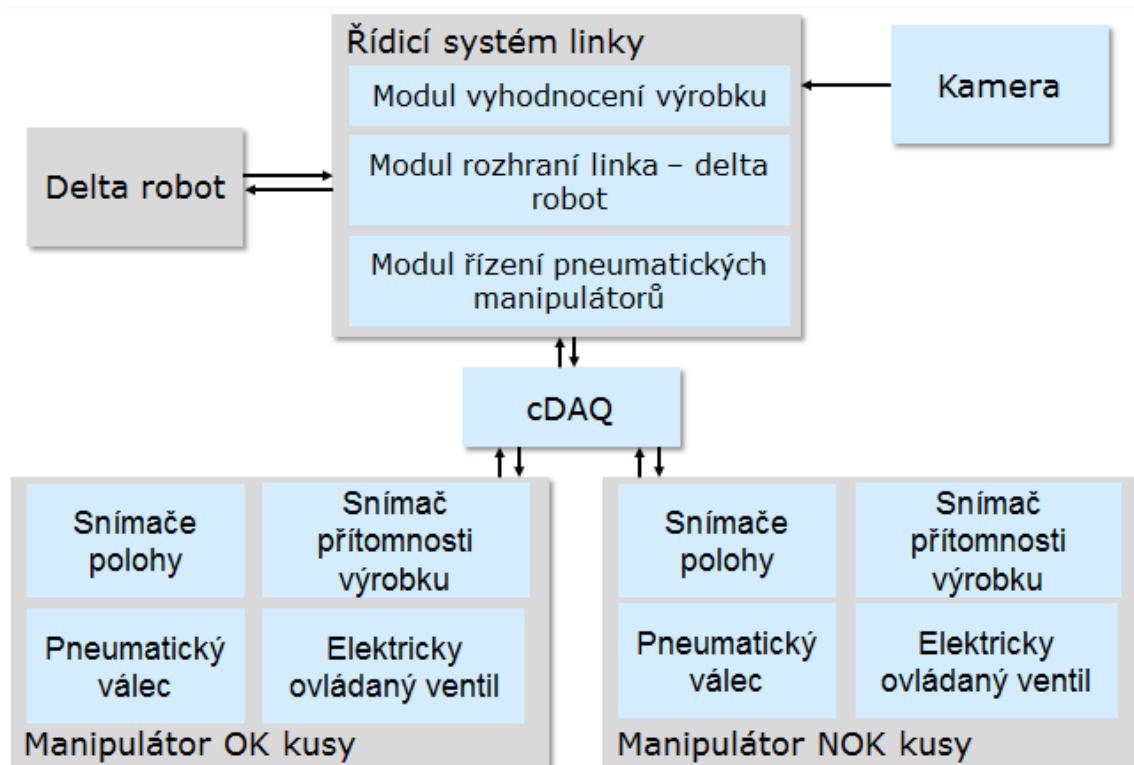
Obr. 15. Blokový diagram popisující funkci linky.

Prvním krokem výrobního cyklu je vkládání výrobků na dopravníkový pás pohybující se konstantní rychlostí. Výrobek se konstantní rychlostí dopravníkového pásu dostane do zorného pole digitální kamery. Digitální kamera snímá obraz a na vyžádání zasílá snímky s výrobkem řídicímu systému linky, který vyhodnocuje polohu a rozměry výrobku. Na základě rozměrů výrobku vyhodnoceno, zda se jedná o OK nebo NOK výrobky. Řídicí systém výrobní linky zasílá informace o OK nebo NOK výrobku a jeho pozici řídicímu systému Delta robotu. Díky tomu může Delta robot za pomoci podtlakové úchopné hlavy odebírat výrobky z linky a zakládat je do zásobníku pneumatického manipulátoru na OK nebo NOK výrobky. Následně je vyhodnocována poloha pneumatického manipulátoru a také přítomnost výrobku v zásobníku, toto vyhodnocení provádí

opět řídicí systém linky. Následně díky těmto informacím může být sepnut pneumatický manipulátor do potřebné polohy a tím je výrobek uveden do pohybu.

4.2 Návrh řídicího systému

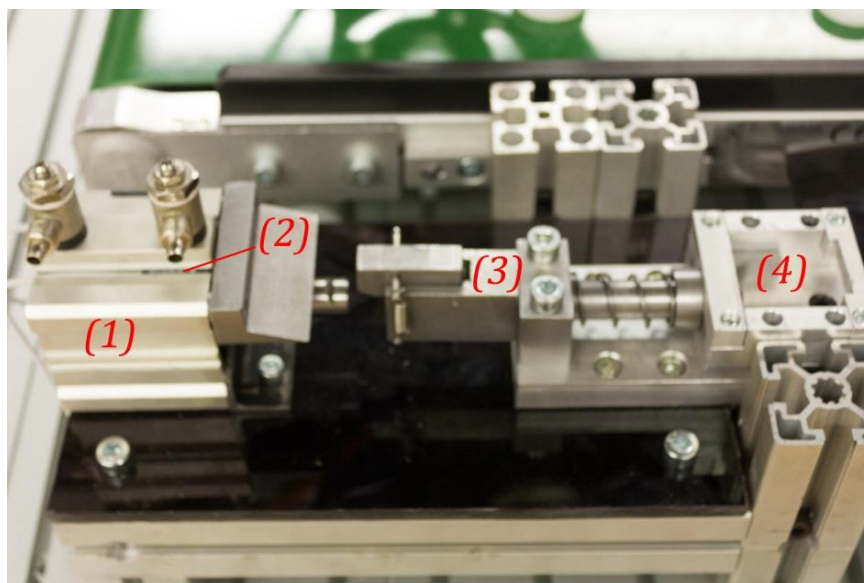
Pro řízení linky bylo nutné navrhnout řídicí systém. Blokový diagram navrženého systému je na Obr. 16. Je tvořen třemi základními moduly. Modulem vyhodnocení výrobku, který obsluhuje kameru, provádí zpracování obrazu a vyhodnocení polohy a rozměrů výrobků. Komunikačního modulu s řídicím systémem delta robotu, který zajišťuje výměnu dat mezi robotem a řídicím systémem. Třetí modul řeší ovládání pneumatických manipulátorů pro zatřídění OK a NOK výrobků.



Obr. 16. Schéma navrženého řídicího systému.

4.3 Modul řízení pneumatických manipulátorů

Jak bylo již výše zmíněno, řešená třídící linka používá pro vrácení zpět na dopravníkový pás dva pneumatické manipulátory, jeden vrací zpět na dopravníkový pás dobré výrobky a druhý špatné výrobky. Jelikož se jedná o výukovou linku, je řešeno vrácení výrobků na dopravníkový pás, v praxi by byli výrobky tříděny do boxů na dobré výrobky a špatné výrobky. Pneumatický manipulátor je zobrazen na Obr. 17. Pneumatický manipulátor se skládá ze 4 částí. Na pozici (1) je umístěn pneumatický válec, (2) jazýčkové relé, (3) mechanická část manipulátoru, (4) místo pro zakládání výrobků do manipulátoru.



Obr. 17. Pneumatický manipulátor řešené linky.

Princip funkce manipulátoru je následující: Řídicí systém linky dostane informaci od řídicího systému delta robotu o založení výrobku do jednoho z manipulátorů. Řídicí systém zjistí, v jaké poloze se pneumotor nachází. Pokud se nachází v pozici zasunut, vysune pneumotor a následně zasune, pneumotor se připojí k mechanické části a přitáhne ji směrem k tělu pneumotoru, dojde ke stlačení pružiny. Při dosažení polohy zasunut se mechanická část odpojí od pneumotoru najetím na náběžnou hranu, které si můžeme všimnout na Obr. 15. Tím se uvolní energie pružiny, která dá pohybový impuls výrobku, ten je svou energií přenesen po skluzné ploše a při interakci s přepážkou je odražen zpět na dopravníkový pás. K mechanickému spojení dochází tímto způsobem: Ve válci je vyfrézována drážka a na mechanické části manipulátoru je západka tlačaná pružinou, ke spojení dochází při přesunutí válce do polohy vysunut, kde působením tlaku pneumatického válce na západku je přetlačena pružina západky. Následně dojde ke tvarovému spoji západky a drážky, západka má zkosenou hranu, která umožní při najetí válce do polohy zasunut uvolnění mechanického spoje přetlačení pružiny západky.

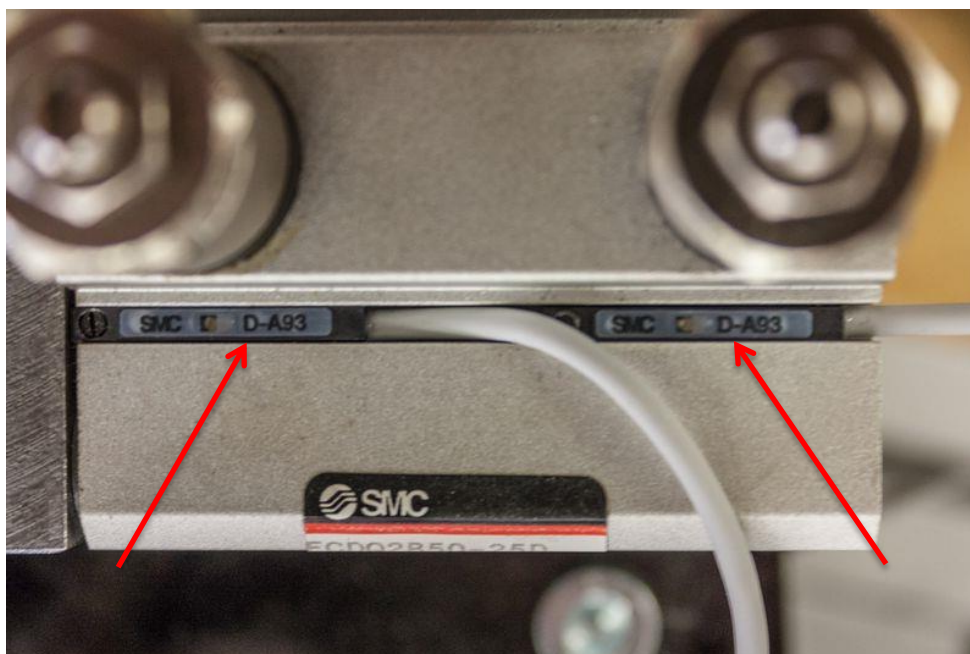
4.3.1 Senzory modulů pneumatických manipulátorů

Jako senzory pro zjištění polohy pneumatických válců byla zvolena čtyři jazýčková relé. Tato volba je odůvodněna možností přímé montáže do drážky na pneumatický válec. Navíc pneumatický válec obsahuje permanentní magnet, proto je možné jazýčková relé z magneticky měkkého materiálu použít, a také byla dostupná v laboratoři.

Na pneumatickém manipulátoru jsou v koncových polohách pneumatického válce umístěna dvě jazýčková relé, která signalizují polohu pneumatického válce. Přítomnost válce v koncové poloze se projeví sepnutím relé. Pokud je relé sepnuto, prochází jím proud. Pneumatický válec dosahuje tří stavů a to v pohybu, vysunut a zasunut, těmito stavům pneumotoru odpovídají stavy jazýčkových relé. Stavy jazýčkových relé jsou následující: Vysunut-vypnuto/sepnuto, zasunut-sepnuto/vypnuto, v pohybu-vypnuto/vypnuto, jazýčková relé mohou dosáhnout

také poruchového stavu, tento stav se projeví sepnutím obou relé. Na Obr. 18 můžeme vidět umístění jazýčkových relé na pneumatickém válci.

Nadále jsou na manipulátorech snímače přítomnosti výrobků, které nabývají stavů vypnuto, pokud je výrobek přítomný a sepnuto v případě nepřítomnosti výrobku.

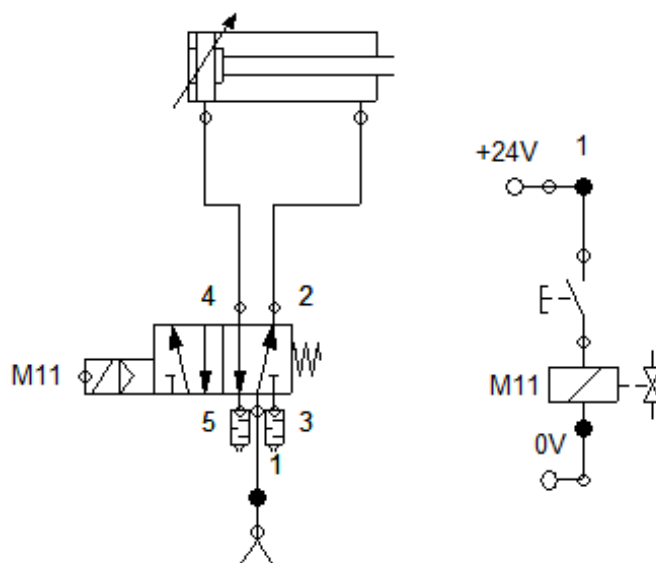


Obr. 18. Umístění jazýčkových relé v koncových pozicích.

4.3.2 Modul řízení ventilů a snímačů

Řízení pohybu pneumatických manipulátorů je řešeno pomocí bistabilních elektromagnetických ventilů 5/2, které jsou připojeny na přívod stlačeného vzduchu. Ventily jsou ovládány řídicím systémem linky a to na základě vyhodnocení vstupů z výše zmíněných snímačů a vyhodnocení polohy delta robotu. Polohu delta robotu získáváme z řídicího systému delta robotu. Na Obr. 19 je zobrazeno elektropneumatické schéma zapojení manipulátoru. Pro řízení vstupů a výstupů řídicím systémem linky jsme zvolili NI cDAQ-9171 a NI 9375. NI cDAQ-9171 je šasi, které připojujeme USB kabelem k řídicímu systému linky a do něho vkládáme kartu NI 9375. NI 9375 je karta pro 16 digitálních vstupů a 16 digitálních výstupů, kterou používáme v tomto modulu pro získávání signálů ze snímačů a ovládání elektromagneticky ovládaných ventilů.

Snímače a elektromagneticky ovládané ventily jsou připojeny přímo ke kartě pro digitální vstupy a výstupy. Modul zpracovaný ve vývojovém prostředí LabVIEW může díky této kartě zpracovávat signály ze snímačů a na základě vytvořené logiky ovládat ventily.



Obr. 19. Schéma elektro pneumatického zapojení jednoho z manipulátorů.

Ve schématu je naznačeno řízení elektromagnetických ventilů pomocí spínače, ale v reálné aplikaci jsou ventily spínány pomocí již výše zmiňované karty, která přepíná ventil do polohy ovládané elektromagneticky, stejnosměrným napětím 24V. Ventil je připojen k přívodu upraveného stlačeného vzduchu a průchodem stlačeného vzduchu přes ventil je řízena poloha pneumatického válce. V případě zobrazeného schématu na Obr. 18 se nachází pneumatický válec v poloze zasunut vždy, když není elektromagneticky ovládaný z řídicího systému výrobní linky. V poloze zasunut se nachází v případě, kdy ventil není ovládaný z důvodu stabilní polohy zajištěné pružinou.

4.3.3 Testování modulu řízení pneumatických manipulátorů

Kompletní testování neproběhlo z důvodu, že nebyly od zadavatele poskytnuty snímače přítomnosti výrobků, elektromagneticky ovládané ventily a jazýčkové relé. Také nebyl na straně zadavatele dořešen program pro zapisování hodnot polohy výrobků a rozměrů. Tedy nebyla vyřešena ze strany zadavatele komunikace mezi řídicím systémem delta robotu a řídicím systémem linky.

Z těchto důvodů jsme se rozhodli otestovat modul řízení pneumatických manipulátorů na pneumatickém manipulátoru přístupném v laboratoři. Testování modulu proběhlo na pneumatickém kyvném pohonu SMC MSQB na který byly připevněny 2 jazýčkové relé v koncových polohách pneumatického motoru a byl použit bistabilní elektromagneticky ovládaný ventil 5/2. Pro testování modulu jsme použili stejné prvky, které byly navrženy pro řízení pneumatických manipulátorů. Modul na základě navržené logiky fungoval korektně.

4.4 Modul vyhodnocení výrobku

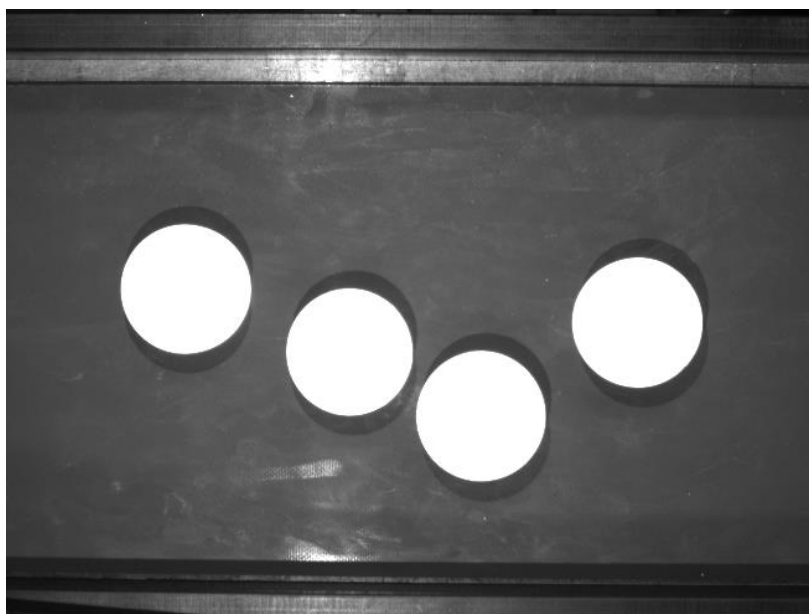
Modul vyhodnocení výrobku zpracovává obraz získaný z digitální kamery a na základě získaného obrazu řídicí systém linky vyhodnocuje polohu a rozměr výrobku v zorném poli kamery.

Pro aplikaci třídící linky nám byla poskytnuta digitální kamera společnosti Allied vision technologies typu Manta G-033B. Jedná se o černobílou digitální

kameru s VGA rozlišením, která komunikuje pomocí rozhraní GigE vision, které bylo standardizováno pro průmyslové digitální kamery a je založeno na Internetovém protokolu. Tento standart plně podporuje i vývojové prostředí LabVIEW, nebylo problémem zprovoznit komunikaci mezi kamerou a PC. K nastavování parametrů kamery byl použit software opět od firmy National Instruments a to Measurement & Automation Explorer. K bezproblémovému nastavení komunikace mezi PC a kamerou bylo zapotřebí povolit „Jumbo packets“ na síťové kartě PC a zakázat „firewall“ na kameře. Po nastavení parametrů kamery již nebyl problém získat obraz a následně bylo možné testování obrazu poskytovaného kamerou. Po otestování obrazu poskytovaného kamerou byl sestaven modul pro vyhledávání výrobků na lince, který byl také následně testován. Po otestování kamer bylo nutné vyřešit umístění kamery na lince. Testování obrazu kamery, testování algoritmu pro vyhledávání a měření výrobků na lince a umístění kamery na lince jsou věnovány následující podkapitoly.

4.4.1 Testování obrazu modulu vyhodnocení výrobku

Během testování obrazu kamery, které probíhalo v laboratoři, byly k dispozici dva objektivy od výrobce Pentax s různou ohniskovou vzdáleností. Jednalo se o objektiv s názvem C31630KP s ohniskovou vzdáleností 16mm a objektiv C30811KP s ohniskovou vzdáleností 8,5mm. Na Obr. 10 na straně 28 a Obr. 20 je vidět rozdíl mezi výše zmíněnými objektivy. Na Obr. 10 je snímek získaný z kamery při použití objektivu C30811KP, je zde vidět značné perspektivní zkreslení, které je pro naši aplikaci nežádoucí, následně se prokázalo při získání více snímků, že tento objektiv má značné geometrické zkreslení, které vytváří efekt „rybího oka“.



Obr. 20. Snímek z výrobní linky při použití objektivu C31630KP.

Na Obr. 20 okem nedokážeme zjistit perspektivní zobrazení výrobků na lince. Tento snímek byl získán přímo na třídící lince v posledních dnech testování třídícího programu při použití objektivu C31630KP. Perspektivní

zobrazení v tomto případě zkreslovalo rozměry výrobků pouze s rozdílem menším než 0,5px. Z toho důvodu byl zvolen právě tento objektiv pro výslednou aplikaci, i když poskytuje menší rozlišovací schopnost než předchozí objektiv. Rozlišovací schopnost objektivu C30811KP (8,5mm) je 0,245mm/px a rozlišovací schopnost objektivu C31630KP(16mm) je 0,367mm/px při vzdálenosti 670mm od sledované plochy.

Během testování obrazu bylo podstatné nasměrování bodových světél tak, abychom co nejvíce zamezili vlivům blikajících zářivek a také abychom nesvítili přímo na dopravníkový pás. Nasvítit přímo dopravníkový pás nebylo možné z důvodu vysoké odrazivosti světla od pásu, pokud bylo svíceno přímo na pás, nebylo možné rozeznat výrobky od odrazu světla. Tak jak je zobrazeno na Obr. 19, jsou nastaveny světelné podmínky přímo na třídící lince. Možnost zvolení kvalitnějšího osvětlení a méně odrazivého dopravníkového pásu nebyla možná z toho důvodu, že světlo bylo přímo propojeno již do elektroinstalace linky a nebyly další finanční prostředky pro třídící linku.

4.4.2 Umístění kamery pro modul vyhodnocení výrobku

Umístění kamery nebylo náročné, protože celá linka je sestavena ze stavebnicových hliníkových profilů a nejsou zde žádná konstrukční omezení, která by stínila nebo by omezovala obraz získaný z kamery. Bylo tedy možné kameru umístit do vzdálenosti 670mm nad střed dopravníkového pásu, kde nám kamera poskytuje již výše zmíněnou rozlišovací schopnost a zobrazovaná plocha je 241x180mm. Na Obr. 21 vidíme pomocí dvou šroubů přichycenou kameru na ocelový plech, který je pomocí pravoúhlého spojovacího materiálu přimontován ke stavebnicovému hliníkovému profilu.



Obr. 21. Umístění kamery na řešené lince.

4.4.3 Testování modulu vyhodnocení výrobku

Pro detekci a měření rozměrů výrobků ze získaného obrazu digitální kamerou byl vytvořen algoritmus ve vývojovém prostředí LabVIEW, které má knihovny přímo pro zpracování obrazu. Zhotovení algoritmu značně urychlil software Vision Assistant, který nám umožnil nastavit metody zpracování obrazu dle požadovaných parametrů a následné vygenerování kódu do LabVIEW. Byla použita metoda „find shape“, která používá právě již zmiňované gradientní metody a metody segmentace obrazu. Nastavení metody „find shape“ a jejích parametrů, nám umožnilo detekci výrobků na dopravníkovém páse, detekci polohy výrobků a také zjištění rozměru výrobku.

Program byl následně testován na výrobní lince. Bylo otestováno vyhledávání výrobků na lince včetně jejich měření a následného vyhodnocení na OK a NOK výrobek. Pro testování byly zhotoveny dva typy výrobků a to $\varnothing 38.7\text{mm}$ (OK) a $\varnothing 37.5\text{mm}$ (NOK). Modul funguje korektně, pouze pokud se dva výrobky těsně nedotýkají, dále také pokud výrobek není ve styku s hranou dopravníkového pásu. Na Obr. 22 je vidět výsledek testování obrazu z linky v programu Vision Assistant, kde je vidět, že všechny výrobky na pásu jsou detekovány a také jsou vyhodnoceny jejich rozměry, polohy a zda se jedná o OK nebo NOK výrobek.



Obr. 22. Snímek zpracovaný pomocí Vision Assistant

4.5 Modul rozhraní linka – delta robot

Tento modul řeší propojení řídicího systému linky se systémem delta manipulátoru. Základem tohoto modulu je dll knihovna TwinCAT.Ads od firmy Beckhoff. Do data odevzdávání této práce, zadavatel nedodal popis rozhraní a datových struktur pro výměnu dat v řídicím systému delta robotu, proto tento modul byl realizován pouze na simulační úrovni.

5 ZÁVĚR

Během vytváření bakalářské, byly zjišťovány informace o metodách, které se používají při zpracování obrazu pro analýzu rozměru výrobků. Na základě získaných informací o metodách zpracování obrazu, byl navržen algoritmus pro detekci výrobku na dopravníkovém páse včetně kontroly rozměru výrobků. Návrh algoritmu byl proveden v programu NI Vision Assistant a byl vyexportován do NI LabVIEW. Získaný algoritmus byl integrován do řídicího systému výrobní linky a následně byl na lince otestován a upraven tak, aby splňoval dané požadavky.

V další části práce bylo řešeno řízení pneumatických manipulátorů pro manipulaci s roztřízenými výrobky. Pro tyto manipulátory byla navržena senzorická soustava, ovládání pomocí bistabilních elektromagneticky ovládaných ventilů a DAQ modul pro připojení snímačů a ventilů. Následně byl proveden návrh řídicího systému linky, který integruje modul vyhodnocení výrobků, modul řízení pneumatických manipulátorů a modul rozhraní linka – delta robot. Vzhledem k absenci komunikačního rozhraní v řídicím systému delta robotu, nemohl být navržený systém plně realizován a odzkoušen.

Navržený řídicí systém linky řeší všechny požadavky, které byly stanoveny a jeví se jako použitelný pro řešenou linku. Poté co bude do systému delta robotu doplněno komunikační rozhraní, bych chtěl odladit modul rozhraní linka – delta robot a systém ověřit na řešené lince.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] How ABB robots are helping Honeytop Speciality Foods Ltd improve productivity and hygienic conditions. ABB [online]. [cit. 2013-03-30]. Dostupné z: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/7c5255c1e905f83dc12575ef0037acf4.aspx>
- [2] HORNBURG, Alexander. Handbook of machine vision. Chichester: John Wiley, distributor, 2006, 798 s. ISBN 978-352-7405-848.
- [3] FISCHER, Jan; Havle, Otto. Osvětlovače pro systémy strojového vidění. Automatizace [online]. 2005, č. 7-8 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/magazine.php?m=43> ISSN 0005-125x
- [4] HAVLE, Otto. Stojové vidění IV: Osvětlovače. Automa: časopis pro automatizační techniku [online]. 2008, č. 4 [cit. 2013-03-11]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36988 ISSN 1210-9592.
- [5] Objektív. Megapixel [online]. [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.megapixel.cz/objektiv>
- [6] MOTYČKA, Jakub. CCTV objektivy: Návod pro uživatele objektivů prodáváných společností Koukaam a.s. In: Koukaam [online]. [cit. 2013-04-01]. Dostupné z: http://www.koukaam.se/koukaam/downloads/MAN_CZ_Objektivy_uzivatelsky_manual.pdf
- [7] Clona. Megapixel [online]. [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.megapixel.cz/clona>
- [8] HLAVÁČ, Václav a Milan ŠONKA. Počítačové vidění. Praha: Grada, 1992, 272 s. ISBN 80-854-2467-3.
- [9] Optické chyby objektivov. LINDNER, Michal. Ephoto [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://www.ephoto.sk/fotoskola/clanky/objektivy-telekonvertory-predsadky/opticke-chyby-objektivov/>
- [10] NATIONAL INSTRUMENT. LabVIEW Machine Vision and Image Processing Course Manual. Austin, 2008.
- [11] Manta G-033. Allied vision technologies [online]. [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.alliedvisiontec.com/us/support/downloads/product-literature/manta.html>
- [12] CAGAŠ, Roman. Strojové vidění: několik úskalí návrhu systémů. Automa: časopis pro automatizační techniku [online]. Praha: FCC Public, 2010, č. 04 [cit. 2013-04-08]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40946
- [13] NI cDAQ-9171. National Instruments [online]. [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/209817>
- [14] NI 9375. National Instruments [online]. 2012 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/210842>