

Klasifikace výrobků pomocí robotického manipulátoru a kamery

Tadeáš Buriánek

Bakalářská práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

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

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Tadeáš Buriánek**
Osobní číslo: **A21391**
Studijní program: **B0714A150006 Aplikovaná informatika v průmyslové automatizaci**
Specializace: **Inteligentní systémy s roboty**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Klasifikace výrobků pomocí robotického manipulátoru a kamery**
Téma práce anglicky: **Product Classification Using a Robotic Manipulator and Camera**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Zvolte vhodnou pozici, orientaci a případné osvětlení pro kameru umístěnou v chapadle robota.
3. Vytvořte program řízený robotem pro klasifikaci a třídění kusů podle barvy a tvaru zvolených objektů.
4. Navrhněte postup detekce alespoň 3 barev pomocí černobílé kamery, který implementujte.
5. Vytvořte pohybový program v robotu IRB 14000 pro manipulaci se zvolenými objekty.
6. Vytvořte HMI na ovládacím panelu pro ovládání navržené aplikace, výběr produktů, jejich kombinaci a správné seřazení.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Integrated Vision. Application Manual. 3HAC044251-001. ABB, 2023.
2. BALÁŽ, Vladimír; VAGAŠ, Marek; SEMJON, Ján a RUSNÁK, Rudolf. Camera Systems of Industrial Robots. Online. Applied Mechanics and Materials. 2016, roč. 844, s. 68-74. ISSN 1662-7482. Dostupné z: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.844.68>.
3. SUKOP, Marek; HAJDUK, Mikuláš; BALÁŽ, Vladimír; SEMJON, Ján a VAGAŠ, Marek. Increasing Degree of Automation of Production Systems Based on Intelligent Manipulation. Online. Acta Mechanica Slovaca. 2011, roč. 15, č. 4, s. 58-63. ISSN 13352393. Dostupné z: <https://doi.org/10.21496/ams.2011.041>.
4. ZOHDY, Bassem S. M.; MAHMOOD, Mahmood A.; DARWISH, Nagy Ramadan a HEFNY, Hesham A. Machine Vision Application on Science and Industry. Online. In: RIVAS-LOPEZ, Moises; SERGIYENKO, Oleg; FLORES-FUENTES, Wendy a RODRÍGUEZ-QUIÑONEZ, Julio Cesar (ed.). Optoelectronics in Machine Vision-Based Theories and Applications. Advances in Computational Intelligence and Robotics. IGI Global, 2019, s. 233-254. ISBN 9781522557517. Dostupné z: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5751-7.ch008>.
5. COGNEX CORPORATION. In-Sight® Explorer Help. Cognex Support [online]. 2019. Dostupné z: https://support.cognex.com/docs/is_574/web/EN/ise/Content/GettingStarted/GettingStarted.htm

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ľuboš Spaček, Ph.D.**
Ústav řízení procesů

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

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



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

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

Ve Zlíně dne 8. prosince 2023

Prohlašuji, že

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

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne

Tadeáš Buriánek, v.r.
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je vytvoření programu pro robota IRB 14000 YuMi pro klasifikaci a třídění kusů podle barvy a tvaru. Hlavní částí práce bylo navržení způsobu detekce alespoň tří barev pomocí černobílé kamery integrované v koncovém efektoru robota a vytvoření uživatelského rozhraní HMI v ovládacím panelu pro ovládání celé aplikace. Teoretická část práce se zabývá popisem a historií strojového vidění a kolaborativních robotů v průmyslu. Dále jsou zde popsány inspekční nástroje pro strojové vidění od společnosti Cognex a uživatelské rozhraní HMI. Praktická část se zabývá řešením detekce objektů pomocí černobílé kamery, programem a ovládáním aplikace.

Klíčová slova: Strojové vidění, HMI, Cognex, ABB, Kolaborativní robot

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is to create a program for the IRB 14000 YuMi robot for the classification and sorting of pieces according to color and shape. Main part of this thesis was to design a method for detecting at least three colors using a black and white camera integrated in the robot's end effector and to create an HMI user interface in the control panel for controlling the entire application. The theoretical part of the thesis deals with the description and history of machine vision and collaborative robots in the industry. Furthermore, inspection tools for machine vision from Cognex and the user interface HMI are described. The practical part deals with the solution of object detection using a black and white camera, the program and application control.

Keywords: Machine vision, HMI, Cognex, ABB, Collaborative robot

Poděkování

Touto formou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce Ing. Lubošovi Spačkovi, Ph.D., za čas a ochotu při vedení práce, jeho pomoc a odborné rady. Taktéž bych chtěl poděkovat své rodině, kamarádům a přítelkyni za podporu během celého studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 STROJOVÉ VIDĚNÍ V PRŮMYSLU	12
1.1 HISTORIE STROJOVÉHO VIDĚNÍ	12
1.2 VÝROBCI PRŮMYSLOVÝCH KAMER.....	13
1.2.1 Cognex	13
1.2.2 Keyence.....	14
1.2.3 Basler.....	15
1.2.4 OMRON.....	15
1.3 OSVĚTLENÍ.....	16
1.3.1 Typy osvětlení.....	17
1.3.2 Výrobci osvětlení	20
1.4 TYPY STROJOVÉHO VIDĚNÍ	23
1.4.1 Lokalizace	23
1.4.2 Inspekce.....	24
1.4.3 Čtení QR/DMC	24
1.4.4 Rozpoznání barev	25
1.5 KAMERY COGNEX A IN-SIGHT EASYBUILDER.....	26
1.5.1 Kamery Cognex	26
1.5.2 In-Sight EasyBuilder	27
1.6 ABB INTEGRATED VISION	28
2 KOLABORATIVNÍ ROBOTI V PRŮMYSLU.....	29
2.1 HISTORIE KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ.....	29
2.2 VÝROBCI KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ	30
2.2.1 ABB.....	31
2.2.2 KUKA	32
2.2.3 Universal Robots	33
2.2.4 Fanuc	34
2.2.5 Doosan.....	35
2.2.6 Techman Robot	36
2.3 TYPY KOLABORATIVNÍCH ROBOTŮ	37
2.3.1 Bezpečnostní monitorované zastavení	37
2.3.2 Dynamické monitorování rychlosti a separace	38
2.3.3 Omezení výkonu a síly.....	38
2.3.4 Ruční navádění.....	38
3 KOLABORATIVNÍ ROBOT IRB 14000 YUMI	39
3.1 BEZPEČNOST	39
3.2 VLASTNOSTI.....	40

4	COGNEX IN-SIGHT INSPEKČNÍ A LOKALIZAČNÍ NÁSTROJE.....	43
4.1	TYPY NÁSTROJŮ	43
4.1.1	PatMax Pattern	43
4.1.2	Circle	43
4.1.3	Brightness.....	43
4.1.4	Edge.....	44
4.1.5	Blobs	44
4.1.6	Read 1D Code	44
4.1.7	Read 2D Code	44
4.1.8	Contrast	45
5	HUMAN MACHINE INTERFACE	46
5.1	VYUŽITÍ HMI.....	46
5.1.1	Použití HMI v průmyslovém prostředí	46
5.2	TYPY HMI.....	47
5.2.1	Grafické uživatelské rozhraní (GUI).....	47
5.2.2	Dotykové obrazovky	47
5.2.3	Fyzické ovládací panely	47
5.2.4	Webové HMI.....	48
II	PRAKTICKÁ ČÁST	49
6	VYTVOŘENÍ APLIKACE STROJOVÉHO VIDĚNÍ	50
6.1	NASTAVENÍ KAMERY A POZICE.....	50
6.1.1	Výběr pozice kamery	50
6.1.2	Nastavení kamery	51
6.2	PŘÍPRAVA STROJOVÉHO VIDĚNÍ.....	52
6.2.1	Kalibrace kamery	52
6.3	DEFINICE SOUŘADNÝCH SYSTÉMŮ ROBOTA.....	54
6.3.1	Tool Frame	54
6.3.2	Workobject Frame.....	55
6.4	NASTAVENÍ INSPEKČNÍCH NÁSTROJŮ	56
6.4.1	Nástroje pro nalezení objektů.....	56
6.4.2	Nástroje pro přesnou identifikaci objektů	57
7	IMPLEMENTACE PROGRAMU PRO KLASIFIKACI A TŘÍDĚNÍ KUSŮ PODLE BARVY A TVARU	59
7.1	ZÍSKÁNÍ DAT Z KAMERY	59
7.2	LOGIKA PROGRAMU	60
8	NÁVRH HMI APLIKACE.....	62
9	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	63
9.1	POROVNÁNÍ DÍLŮ	64
	ZÁVĚR	68

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	69
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	74
SEZNAM OBRÁZKŮ	75
SEZNAM TABULEK.....	77

ÚVOD

Průmyslové kamery a strojové vidění v průmyslu jsou klíčovými trendy moderní výroby, které významně přispívají ke zvyšující se efektivitě procesů, zlepšování kvality produktů a snižování provozních nákladů. Tato technologie umožňuje robotům provádět komplexní práce, jako je kontrola kvality, sběr dat, autonomní navigace, klasifikace a třídění objektů podle specifických kritérií. Tímto posledním příkladem se zabývá tato práce, která se zaměřuje na návrh a implementaci systému pro klasifikaci a třídění kusů podle barvy a tvaru s využitím robota IRB 14000 a kamery umístěné v jeho chapadle.

Teoretická část práce se v kapitole 1 zabývá principem strojového vidění, historií strojového vidění v průmyslu, výrobci průmyslových kamer, následně různými typy osvětlení a jejich výrobci, typy strojového vidění, kamerami Cognex a In-Sight EasyBuilder a nakonec ABB Integrated Vision. Kapitola 2 popisuje kolaborativní roboty, jejich historii, výrobce kolaborativních robotů a následně typy kolaborativních robotů. Kapitola 3 se přesněji zaměřuje na kolaborativního robota IRB 14000 YuMi. Kapitola 4 popisuje různé typy inspekčních a lokačních nástrojů společnosti Cognex. Kapitola 5 následně popisuje HMI systémy, jejich využití a typy.

Praktická část práce začíná od kapitoly 6, ve které je popsán celý postup vytvoření programu a aplikace strojového vidění, kde se prvně popisuje nastavení kamery a výběr její pozice, následně kalibrace kamery s tím spojená definice nových souřadných systémů robota, a nakonec nastavení inspekčních nástrojů. Kapitola 7 popisuje, jak se předávají informace získané z kamery robotovi a následně logika celého programu. Kapitola 8 popisuje návrh HMI aplikace pro ovládání aplikace. Kapitola 9 uzavírá praktickou část vyhodnocení výsledků a porovnání fotek objektů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 STROJOVÉ VIDĚNÍ V PRŮMYSLU

Počítačové vidění využívané v průmyslových aplikacích se označuje jako strojové vidění. Tyto názvy označují systémy, které pracují automaticky na základě informací, které byly získány z pořízených obrazů zkoumaného předmětu z kamery, ale jako strojové vidění se považuje i využití počítačového vidění v automatizaci. Strojové vidění získává informace bezkontaktně a je charakterizováno jeho implementací do výrobního procesu spojeného i s jeho řízením. Velkou výhodou strojového vidění je jeho jednoduchá integrace do výrobního procesu, a také jeho flexibilita při změně konfigurace výrobní linky změnou vyhodnocovacího algoritmu programu, nebo posunutím kamery a osvětlení. [1][2]

Cílem strojového vidění je, aby naučilo počítač vidět, rozumět a orientovat se ve svém okolí. Pro správnou funkčnost je důležité, aby kamera a osvětlení bylo přizpůsobeno okolním podmínkám. Objekt musí být správně osvětlen a vyfocen, aby docházelo k minimálním odchylkám při získávání snímku zkoumaného objektu. [1][2]

Strojové vidění má uplatnění v mnoha různých oblastech průmyslu jako například v potravinářském, lékařském, automobilovém a zemědělském. Také otevírá možnosti výzkumným studiím a aplikacím pro lepší pochopení procesů a operací. Využívá se převážně v kontrole kvality, rozpoznávání objektů, autonomní navigaci, sběru dat a k dalším úkolům, které se objevují ve výrobních procesech, kde zlepšují bezpečnost a snižují náklady. [1][2][3]

1.1 Historie strojového vidění

Historie strojového vidění se začala psát na přelomu padesátých a šedesátých let minulého století, ale začala se rozvíjet až v sedmdesátých letech minulého století, kdy došlo k rozvoji technik zpracování obrazu a výpočetní techniky, která byla schopna zpracovávat potřebné množství obrazových informací. Díky tomuto pokroku vznikl nový obor, který se začal označovat pod názvem počítačové vidění. První systémy se strojovým viděním využívaly jednoduchých technologií jako fotočlánky, první počítače, jednotky pro zpracování a základní software pro zpracování snímků, které sloužili ke zpracování a zaznamenání vstupních informací. Vznikl také SRI Vision Module, což je zařízení určené pro identifikaci průmyslových dílů pomocí natrénovaného algoritmu rozhodovacího stromu. V osmdesátých a devadesátých letech došlo k pokroku v této oblasti díky rozvoji a představení několika algoritmů strojového učení. Tyto algoritmy umožňovaly učit systém

strojového vidění pomocí dat, díky kterým systém dokázal zlepšovat své výstupní informace. [1][2][4][5]

1.2 Výrobci průmyslových kamer

Jednou z hlavních součástí strojového vidění jsou průmyslové kamery. Používají se v mnoha průmyslových aplikacích pro kontrolu kvality, monitorování výroby, robotice a 3D měření. V současné době jsou kamery důležitou součástí vybavení robotů pro zlepšení jejich periferních schopností. [6][7]

Průmyslová kamera je typ odolnější kamery, která musí zvládnout obtížnější pracovní prostředí, kde může být vysoká teplota, vysoká vlhkost a prach. [6]

1.2.1 Cognex

Společnost Cognex Corporation, kterou v roce 1981 založil Dr. Robert J. Shillman, je jedním z předních světových výrobců a dodavatelů systémů vidění, softwaru, senzorů a průmyslových čteček čárových kódů používaných v automatizaci výroby. Společnost sídlí ve městě Natick ve státě Massachusetts v USA a zaměstnává více jak 2400 zaměstnanců napříč svými kanceláři v Americe, Evropě a Asii. [8]

V roce 1982 společnost přišla na trh se svým prvním produktem, DataMan, který byl průkopnickým systémem v oblasti průmyslového optického rozpoznávání znaků (OCR) na světě. Dokázal číst, ověřovat a kontrolovat kvalitu čísel, textu a symbolů přímo na dílech a součástkách. [8]

Dnes společnost Cognex vyrábí produkty pro 2D a 3D vidění, software pro vidění a čtečky čárových kódů, kterými stále inovuje a rozšiřuje své portfolio produktů. [8][9]

The image shows the logo for Cognex, which consists of the word "COGNEX" in a bold, black, sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slightly irregular, industrial feel.

Obrázek 1: Logo společnosti Cognex [8]



Obrázek 2: Kamera Cognex In-Sight 8000 řada [8]

1.2.2 Keyence

Společnost KEYENCE je jedním z předních dodavatelů senzorů, měřících systémů, laserových značkovačů, mikroskopů a systémů strojového vidění. Společnost založil v roce 1974 Takemitsu Takazaki v Japonsku ve městě Ósaka. Dnes má společnost 230 poboček v 46 zemích světa a zaměstnává více jak 10 000 zaměstnanců. [10]



Obrázek 3: Logo společnosti Keyence [10]



Obrázek 4: Kamerový systém Keyence s umělou inteligencí řady VS [10]

1.2.3 Basler

Společnost Basler je jedním z předních výrobců vysoce kvalitních kamer a příslušenství, které se využívají v mnoha odvětvích průmyslu v aplikacích automatizované výroby, lékařství, dopravy a v dalších oblastech průmyslu. Společnost byla založena v roce 1988 v Německu ve městě Ahrensburg, kde také sídlí. Dnes skupina Basler zaměstnává více jak 1000 zaměstnanců napříč Evropou, Severní Amerikou a Asií, z čehož 560 zaměstnanců pracuje v hlavním sídle společnosti.[11]



Obrázek 5: Logo společnosti Basler [11]



Obrázek 6: Kamera Basler ace 2 X [11]

1.2.4 OMRON

OMRON Corporation je globálním lídrem v oblasti automatizace pokrývající široké spektrum odvětví jako je průmyslová automatizace, zdravotnictví, sociálních systémů, elektronických komponentů a datových řešení. Společnost založil v roce 1933 v Japonsku Kazuma Tateisi. V dnešní době společnost zaměstnává 28 000 zaměstnanců po celém světě, z čehož je 10 000 zaměstnanců v Japonsku a poskytuje své produkty a služby ve více jak 130 zemích světa. [12]



Obrázek 7: Logo společnosti OMRON [12]



Obrázek 8: Kamera OMRON FH-SMX03 [13]

1.3 Osvětlení

Osvětlení je další z důležitých součástí strojového vidění společně s kamerou a inspekčním softwarem. Úkolem osvětlení v aplikaci strojového vidění je zajištění maximálního kontrastu a detailů částí snímaného objektu, které pro danou aplikaci vyžadujeme a jsou klíčové pro konzistentnost procesu inspekce a minimální kontrast částí objektu, které nejsou součástí dané inspekce. [14]

Osvětlení musí být přizpůsobeno okolnímu prostředí, které nesmí ovlivňovat jeho reprezentaci v obraze. Toho lze dosáhnout použitím správného typu osvětlení pro daný typ úlohy nebo použitím polarizačního filtru. Polarizační filtry umožňují lepší zobrazení objektů se zrcadlovým povrchem. Díky polarizačnímu filtru je možné propustit pouze část elektromagnetického vlnění, které kmitá pouze v jednom směru a zbytek vlnění, které nekmitá v tomto směru filtr zachytí. Je nutno podotknout, aby filtr nejlépe potlačil oslnění musí být polarizátor zdroje světla otočen vůči čočce o 90°. [14][15][16]

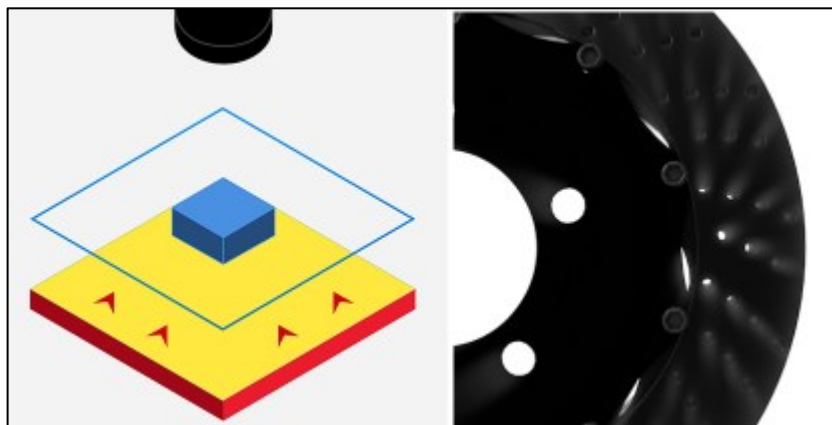
Dalším způsobem, jak minimalizovat vliv okolí na předmět je použití uzavřeného prostoru, do kterého neproniká okolní světlo. [14]

1.3.1 Typy osvětlení

Existuje mnoho typů osvětlení, které se používají v průmyslu. V dnešní době se téměř ve všech aplikacích využívají typy osvětlovačů s LED jako hlavním zdrojem světla. LED mají mnoho výhod jako je snadná regulace světelného toku, pracují s nízkým napětím, mají dlouhou životnost a jejich vyzařovací vlastnosti se téměř nemění. [14]

1.3.1.1 Zadní podsvícení

Zadní osvětlení neboli backlight rovnoměrně osvětluje objekt ze zadní strany a tímto zvýrazňuje jeho obrys. Tento typ osvětlení se používá ke kontrole přítomnosti nebo nepřítomnosti otvorů nebo mezer, měření nebo ověřování obrysů objektu, zvýraznění prasklin, bublin a škrábanců na průhledných částech objektu, ale při použití tohoto osvětlení se ztrácejí detaily na povrchu. [14][17]



Obrázek 9: Zadní podsvícení [17]

1.3.1.2 Pruhové osvětlení

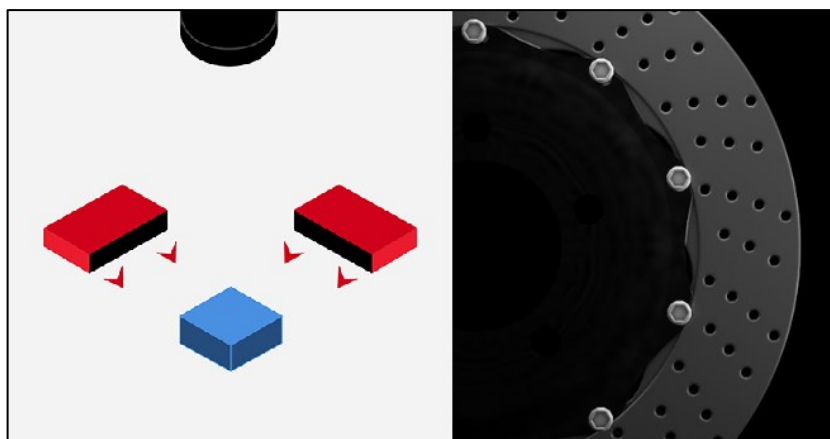
Tento typ osvětlení poskytuje rovnoměrný světelný pruh na objektu, nebo podél jeho okraje. Při přidání dalších pruhových světél lze pokrýt celý cíl z více směrů. V závislosti úhlu světla a kamery může pruhové osvětlení zvýraznit anebo potlačit zrcadlový odraz. Pruhové osvětlení má mnoho využití jako přidání kontrastu matným povrchům, kdy může zdůraznit strukturu povrchu, zvýraznit hrany objektu a ke zvýraznění povrchových prvků, jako jsou textury nebo rýhy. [17]



Obrázek 10: Pružové osvětlení [17]

1.3.1.3 Dark-field osvětlení

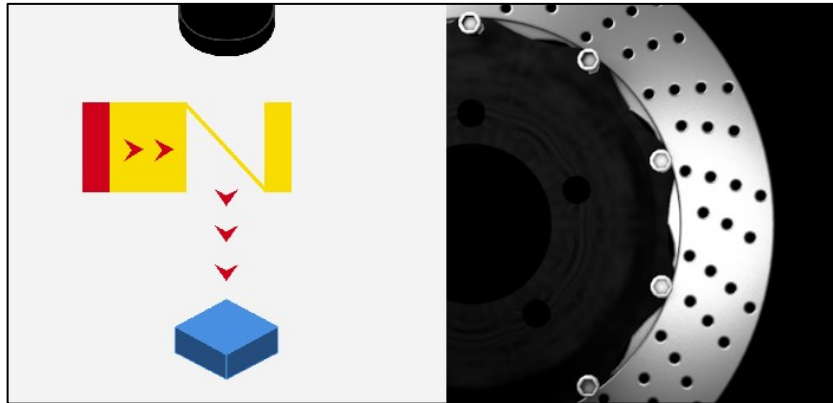
Tento typ osvětlení poskytuje světlo pod malým úhlem na objekt. Toto způsobí, že povrch bude na kameře matný a veškeré škrábance, hrany, otisky a zářezy odrazí světlo do kamery, takže se budou jevit jako světlé. Toto osvětlení lze vytvořit s jakýmkoliv typem osvětlení, které umožňuje, aby světlo bylo pod úhlem k povrchu objektu. Lze použít například pružové, kružové nebo bodové osvětlení. [14][17]



Obrázek 11: Dark-field osvětlení [17]

1.3.1.4 Koaxiální osvětlení

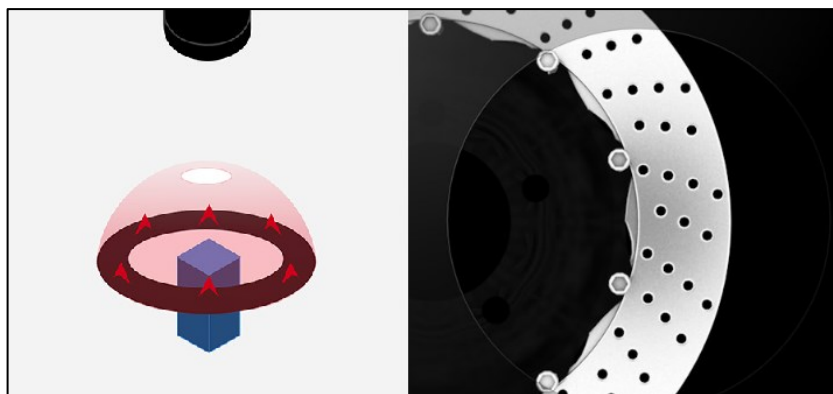
Koaxiální osvětlení, neboli sousé osvětlení, je technika, při které se světlo vysílá kolmo k objektu a pomocí polopropustného zrcadla se odráží pod úhlem 90° na objekt. Pomocí této techniky se zvýrazní zrcadlové povrchy, které jsou kolmo ke kameře, a ty které jsou pod úhlem, budou tmavé. Využívají se při zjišťování vad na lesklých, rovných površích nebo při kontrole průhledných obalů. [14][17]



Obrázek 12: Koaxiální osvětlení [17]

1.3.1.5 Kupulové osvětlení

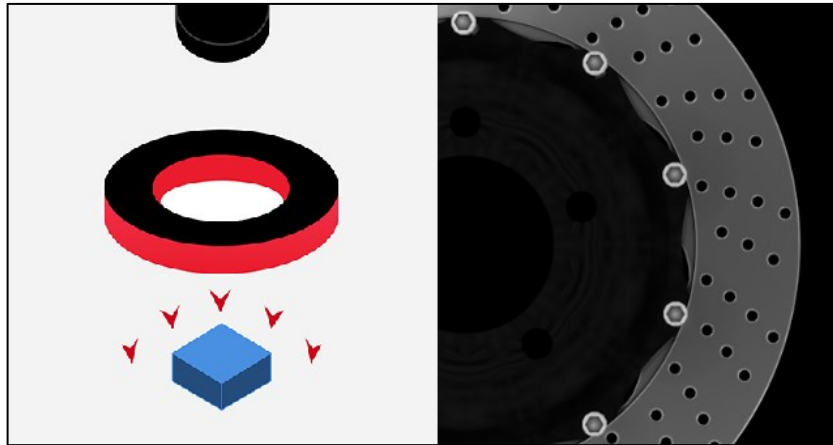
Kupulovité osvětlení poskytuje rovnoměrné osvětlení objektu z různých úhlů, takže nedochází k oslnění, a to ani na zrcadlových objektech. Odstraňuje nerovnoměrné osvětlení, jako odrazy a stíny a rovnoměrně osvětluje povrch celého objektu. Využívá se ke kontrole lesklých, zakřivených nebo hrbolatých povrchů. Tento typ osvětlení avšak vyžaduje, aby byl objekt umístěn co nejbližší zdroji světla.[14][17]



Obrázek 13: Kupulové osvětlení [17]

1.3.1.6 Kruhové osvětlení

Tento typ osvětlení poskytuje více rozptýlené světlo směrem od objektivu a poskytuje osvětlení bez stínů s dobrým kontrastem obrazu. Výrobci často přidávají tento typ osvětlení okolo objektivu kamery. Jeho nevýhodou je, že může způsobovat zrcadlové odlesky na reflexních částech objektu. [14][17]



Obrázek 14: Kruhové osvětlení [17]

1.3.1.7 Adaptivní osvětlení

Inteligentní světla, která se dokážou dynamicky přizpůsobit specifickým výrobkům v reálném čase. Tyto typy osvětlení jsou navrženy k co nejdetailnější detekci těch nejmenších detailů. Každý osvětlovací systém může obsahovat až 4 LED o různých barvách, mezi které patří červená, zelená, modrá, limetková, bílá, červená a ultrafialová. Správná kombinace barev zajišťuje minimální dobu expozice a rozmazání.[18]



Obrázek 15: Adaptivní osvětlení [18]

1.3.2 Výrobci osvětlení

V oblasti strojového vidění je mnoho společností, které vyvíjejí speciální typy osvětlení, které jsou klíčové pro zajištění kvalitního obrazu a správné funkčnosti celého výrobního procesu.

Tyto společnosti mají v nabídce základní druhy osvětlení, které se liší geometrií osvětlení, vlnovou délkou, velikostí a způsobem řízení. [14]

1.3.2.1 Smart View

Smart View s.r.o. byla založena v roce 2012. Je to česká společnost, která zaměstnává 22 zaměstnanců mezi dvěma kanceláři v Praze a Otrokovicích. Specializuje se v oblasti strojového vidění a automatizace. Společnost se aktivně podílí na distribuci, technické

podpoře, poradenství, školení a servisu v oblasti kamerových a ID systémů od společnosti Cognex. Zabývá se také vývojem a výrobou vlastního osvětlení pro strojové vidění. [19]



Obrázek 16: Logo Smart View s. r. o. [19]



Obrázek 17: Kruhový osvětlovač firmy Smart View [19]

1.3.2.2 B&R Industrial Automation

B&R Industrial Automation je výrobcem automatizační techniky a součástí společnosti ABB a její divize pro automatizaci strojů a továren. Společnost založili v roce 1979 Erwin Bernecker a Josef Rainer a sídlí ve městě Eggelsberg v Horním Rakousku. B&R je lídrem v poskytování průlomových řešení v oblasti automatizace strojů a továren, pro které vyvinula vlastní komplexní systém osvětlení pro řešení aplikací strojového vidění, jehož řízení je synchronizováno s řídicím systémem. B&R v roce 2017 zakoupila společnost ABB a stala se součástí její divize Robotics & Discrete Automation. Společnost zaměstnává přibližně 3000 zaměstnanců mezi svými 168 pobočkami po celém světě. [20][21]



Obrázek 18: Logo Společnosti B&R Industrial Automation [20]



Obrázek 19: Inteligentní osvětlení společnosti B&R [20]

1.3.2.3 Banner Engineering

Společnost Banner Engineering je jedním z předních světových výrobců průmyslového osvětlení, senzorů, bezpečnostních výrobků a dalších průmyslových zařízení. Společnost byla založena v roce 1966 a sídlí ve státě Minnesota v USA. [22]

Společnost je světově uznávaná pro své inovativní výrobky a technologická řešení v oblasti senzorů a osvětlení, které se používají v široké škále průmyslových aplikací. V jejím portfoliu výrobků lze nalézt LED osvětlení, signalizační zařízení, bezpečnostní lampy, různé druhy senzorů a více. [22]



Obrázek 20: Logo společnosti Banner Engineering [22]



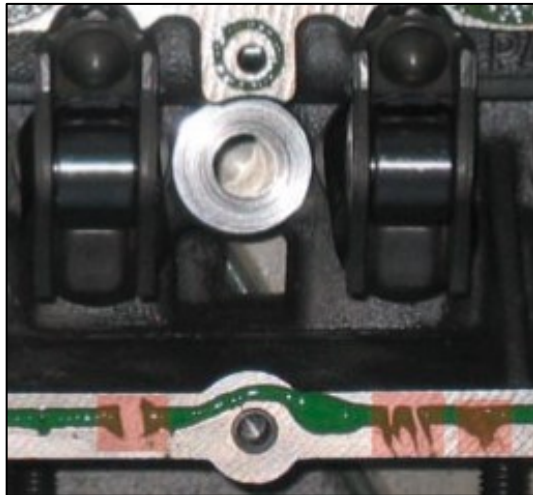
Obrázek 21: Osvětlení Banner Engineering řady WLA [22]

1.4 Typy strojového vidění

Strojové vidění se v průmyslu využívá k provedení široké škály aplikací. Ve výrobních procesech většinou zajišťuje kontrolu produktů, zda byla zaručena bezchybná kvalita výrobků při výstupu z výrobního procesu. Mezi základní využití patří řízení procesů, kontrola, lokalizace, měření, identifikace a rozpoznávání barev daných objektů. [9]

1.4.1 Lokalizace

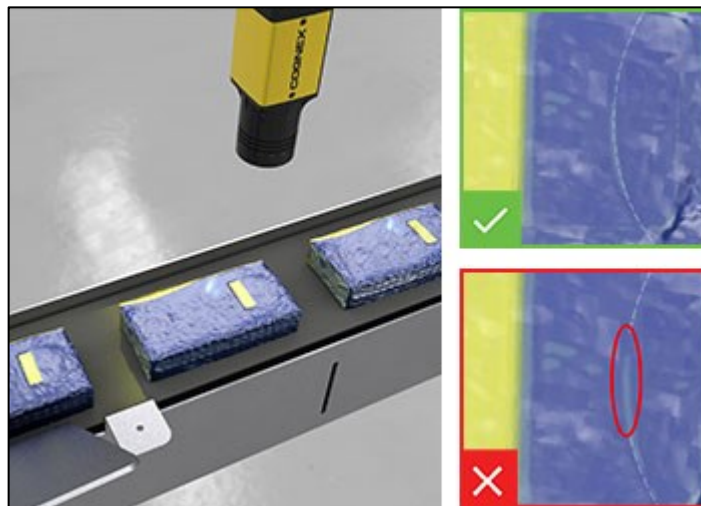
V tomto typu úlohy se nejčastěji zjišťuje, zda je správný objekt na správném místě. Například před závěrečnou montáží výrobku, jsou všechny potřebné díly na svých místech a zároveň je potřebná kontrola, zda byly všechny díly osazeny na správná místa. Může se jednat i o poškozený kus, špatné nanesení teplovodivé pasty, kontrole počtu dílů anebo nevyvrtaného otvoru. [23]



Obrázek 22: Příklad špatného nanesení těsnícího tmelu [23]

1.4.2 Inspekce

Inspekce se ve výrobě převážně zaměřuje na kontrolu kvality výrobků, které ze získaných snímků porovnávají a rozeznávají odlišnosti výrobků od předem definovaných vzorů. Může se jednat o kontrolu povrchu výrobků, zda jsou nějakým způsobem poškozeny, nebo zda byl výrobek správně vyroben. Například jsou balíčky kapesníků, které mají na jedné straně perforovaný půlkruh pro snadné otevření balíčku. Pokud není perforace dostatečně hluboká, nebo nesprávně umístěná, může vést k obtížnějšímu otevírání balíčku. [9][24]



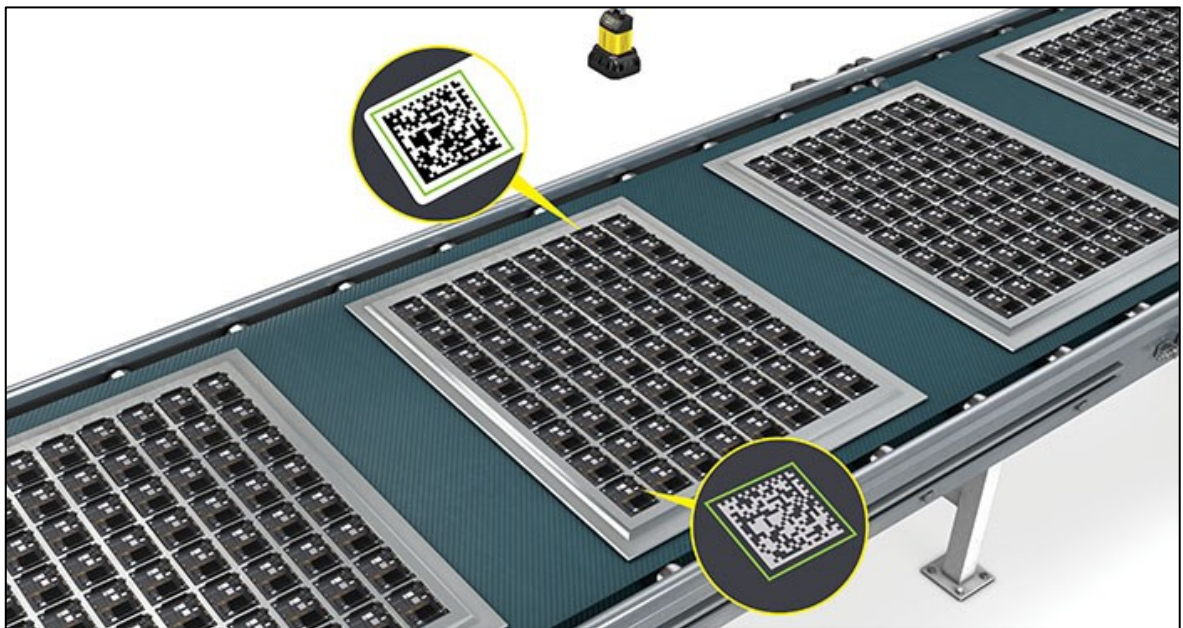
Obrázek 23: Inspekce balíčku kapesníků [9]

1.4.3 Čtení QR/DMC

Jedná se o 2D maticové kódy, které se využívají pro označování a identifikaci dílů ve výrobě. Ve výrobním procesu se hlavně čtou na začátku, kde se zjistí, zda je správný díl

připraven na správném místě. Po skončení výrobní operace se většinou přidělí dílu nový kód, pomocí kterého se na konci výroby kontroluje jeho správnost. [9][23]

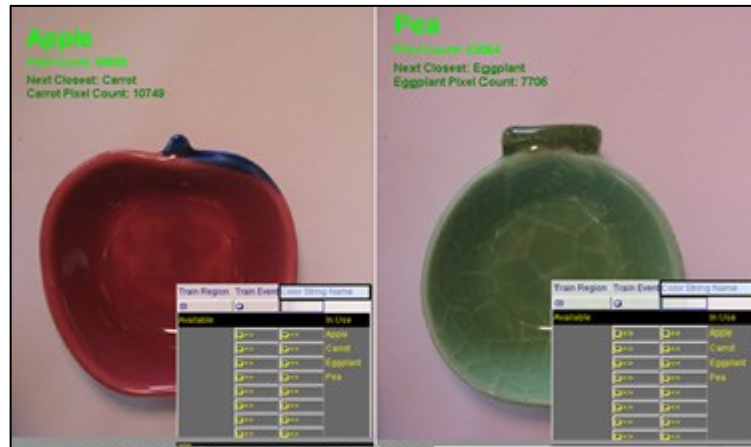
Používání těchto kódů v průmyslu má mnoho výhod. Umožňují rychlé a efektivní čtení informací, což přispívá ke zlepšení procesů strojového vidění. DMC kód je navržen tak, že dokáže být přečten, i když byl až z 30 % poškozen, a to díky jeho zabudované schopnosti korekce. Oba kódy jsou velmi důležité v automatizaci pro skenování a kontrolu zásob, identifikaci a sledovatelnost výrobků a mnoho dalších využití. [9]



Obrázek 24: Čtení QR a DMC kódů [9]

1.4.4 Rozpoznání barev

Rozpoznávání barvy je důležité při vstupní nebo při výstupní kontrole, například se může jednat o jeden ze znaků typu materiálu při jeho identifikaci. Rozpoznávání barev se využívá v mnoha odvětvích průmyslu jako je například potravinářský, farmaceutický a automobilový průmysl. Využití rozpoznávání barev v potravinářském průmyslu, kde může barva potravin signalizovat, že může mít produkt na vstupu sníženou kvalitu. V jiných odvětvích se podle barvy kontroluje kvalita ve výrobních aplikacích, které identifikují barvy dílů na správných pozicích, podle předem naučené barvy pixel po pixelu nebo detekují, zda je objekt přítomný nebo nepřítomný na základě počtu pixelů vzorového barevného modelu. [9][23]



Obrázek 25: Rozpoznávání barev [9]

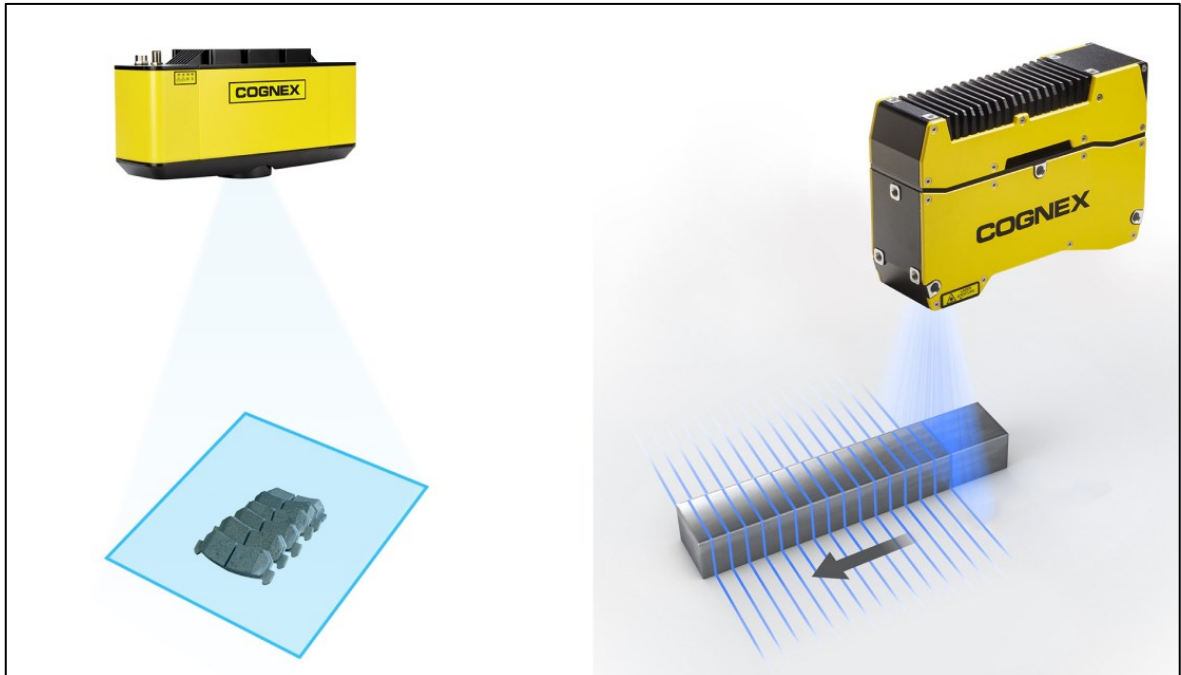
1.5 Kamery Cognex a In-Sight EasyBuilder

1.5.1 Kamery Cognex

Společnost Cognex má v oblasti strojového vidění dva hlavní typy kamerových systémů, a to 2D a 3D. [9]

2D systémy strojového vidění jako je Cognex In-Sight je na trhu jedničkou ve schopnosti kontroly, identifikace a lokalizace dílů. Tyto průmyslové kamery kombinují vysokorychlostní snímání a zpracování obrazu s knihovnou kamerových nástrojů. Díky velkému množství modelů těchto kamerových systémů, do kterých patří i řádkové skenery a barevné kamery, dokážou splnit většinu požadavků daných aplikací. [9]

3D systémy strojového vidění se v průmyslové automatizaci využívají k zachycení a analýze trojrozměrných obrazů objektů a prostoru. Tyto typy kamer se dělí na dva druhy, a to kamery pro plošné skenování a pro řádkové skenování. Rozdíl mezi těmito kamerami je ten, že kamery plošné zachycují obraz v jednom snímku, tedy jsou vhodné ke snímání stacionárního objektu. Naproti tomu kamery řádkové vytvářejí obraz řádek po řádku k čemuž vyžadují pohyb, tedy jsou vhodné pro kontrolu válcových a souvislých materiálů. Současný výzkum v oblasti 3D vidění se zaměřuje na vytváření trojrozměrných modelů v jednom z klíčových sektorů robotiky. Pokud jsou k dispozici alespoň dvě kamery, je možné vytvořit trojrozměrný obraz daného objektu. [9][25]



Obrázek 26: Kamera pro plošné snímání (vlevo) a kamera pro řádkové snímání (vpravo) [9]

1.5.2 In-Sight EasyBuilder

Cognex In-Sight EasyBuilder umožňuje rychlé, jednoduché a efektivní vytváření komplexních kamerových aplikací strojového vidění. Program uživateli poskytuje krok za krokem intuitivní návod k vytváření a integraci aplikací strojového učení pomocí kamerových systémů In-Sight. [26]

Program nabízí širokou škálu funkcí pro řešení problémů úkolů aplikací strojového vidění:

- Konfigurace zařízení – úprava nastavení zařízení, jako je zdroj obrazu nebo snímání obrazu.
- Přidávání a úprava nástrojů – rozšíření aplikace o nástroje pro hledání vzoru, hrany, měření a ViDi EL (ViDi EL je nástroj založený na edge learningu, který identifikuje a třídí díly na základně více vlastností a charakteristik).
- Nastavení připojení – nastavení připojení k FTP serveru a zápisu obrázků.
- Konfigurace vstupních a výstupních signálů.
- Vytvoření HMI pro snadné ovládání. [26]

1.6 ABB Integrated Vision

Hlavním účelem Integrated Vision od společnosti ABB je poskytnout robustní, snadno použitelný systém vidění pro širokou škálu aplikací robotiky řízené viděním (Vision Guided Robotics neboli VGR). Systém obsahuje kompletní softwarové a hardwarové řešení, které je integrováno do řídicí jednotky robota a programovacího prostředí RobotStudio. Celá funkčnost vidění je založena na rodině inteligentních kamer In-Sight od společnosti Cognex, které jsou vybaveny integrovaným zpracováním obrazu a komunikačním rozhraním Ethernet. [27]

RobotStudio je rozšířeno o programovací prostředí pro vidění, které nabízí širokou škálu funkcí Cognex EasyBuilder s robustními nástroji pro kontrolu, lokalizaci a identifikaci dílů, taktéž programovací jazyk RAPID je rozšířen o specializované instrukce a sledování chyb pro provoz kamery a jejího navádění. [27]

2 KOLABORATIVNÍ ROBOTI V PRŮMYSLU

Kolaborativní robot neboli kobot, otevírá dveře pro nové příležitosti pro automatizaci průmyslu. Jedná se o typ robotů, kteří jsou určeni pro širokou škálu operací v procesu výroby, díky čemuž je jejich spolupráce s pracovníkem ve výrobě velmi výhodná. Hlavní výhodou kolaborativních robotů je jejich rychlá implementace do výroby, snadné přemístění do jiného výrobního procesu, intuitivní programování, rychlé nastavení a bezpečnost při spolupráci s pracovníkem. [28][29][30]



Obrázek 27: Ukázka kolaborativního robota v průmyslu [29]

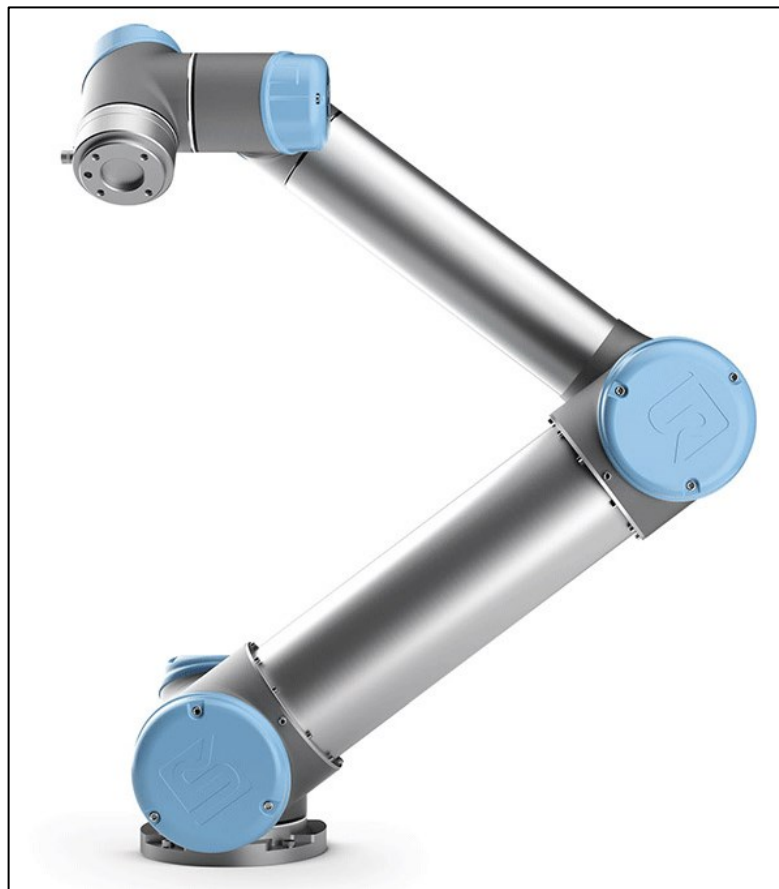
Zajišťují konzistentní kvalitu a přesnost při mnoha opakovaných cyklech v procesu. Kolaborativní roboti taktéž zvyšují přesnost procesů, snižují množství vyrobených zmetků a zároveň snižují množství nehod a úrazů na pracovišti spojených s těžkou prací, jako je instalace autobaterie při výrobě. Dále se v průmyslu využívají při montáži, svařování, kontrole kvality a při sestavování malých elektronických součástek a dílů. [29][30]

2.1 Historie kolaborativních robotů

První zmínky o definici kolaborativních robotů se objevili v patentu z roku 1999, ve kterém se psalo o přístroji a metodě přímé integrace mezi manipulátorem řízeným

počítačem a pracovníkem. Dnes by se tento popis spíše týkal inteligentního asistenčního zařízení (IAD), což je prakticky předchůdce dnešních kolaborativních robotů.[28]

V roce 2004 přišla německá společnost KUKA ve spolupráci s německým Ústředním leteckým a kosmickým institutem na trh s modelem LBR3, což byl první lehký kolaborativní robot s vlastním zdrojem energie pro pohyb. V roce 2008 vydala dánská společnost Universal Robots na trh robota UR5. [28][31]



Obrázek 28: Kolaborativní robot UR5 [32]

2.2 Výrobci kolaborativních robotů

Kolaborativní roboti jsou rychle se rozvíjející oblastí v průmyslové automatizaci. Na trhu je mnoho společností s různými typy robotů, kteří se liší nosností, dosahem, rychlostí, přesností a způsobem využití. [28][30][33]

2.2.1 ABB

Ve Stockholmu v roce 1883 založil Ludvig Fredholm společnost Elektriska Aktiebolaget a v roce 1891 založili Charles Brown a Walter Boveri společnost BBC. V roce 1988 se tyto dvě společnosti sloučily a vytvořily společnost ABB se sídlem ve švýcarském Curychu. [30]



Obrázek 29: Logo společnosti ABB [30]

ABB je jedním z předních světových lídrů v oblasti kolaborativních robotů v průmyslové automatizaci. Portfolio společnosti disponuje širokou škálou robotických řešení pro průmyslové aplikace, představující průmyslové, mobilní a kolaborativní roboty. [30]

Společnost je také uznávaná za své inovace v oblasti elektrifikace a automatizace. Společnost se skládá z 20 divizí, jako jsou Elektrotechnika, Procesní automatizace, Robotika a Automatizace, mezi kterými zaměstnává více jak 105 000 zaměstnanců po celém světě. [30]

V Ostravě se nachází globální opravárenské centrum robotů ABB, které za svou existenci již repasovalo téměř 4000 robotů. Nevěnují se zde pouze repasováním robotů, ale také periferních zařízení jako jsou kontroléry, opravy a výroby části robotů. Jedná se o jediné centrum svého druhu v celé Evropě. [30]



Obrázek 30: Kolaborativní robot CRB 15000 GoFa [30]

2.2.2 KUKA

V roce 1898 založili Johann Joseph Keller a Jakob Knappich v německém Augsburgu společnost KUKA. Společnost jako první provozovala továrnu na výrobu acetylenu, který využívali k provozu domácího a pouličního osvětlení. [33]



Obrázek 31: Logo společnosti KUKA [33]

Dnes společnost KUKA stále sídlí v německém Augsburgu a zaměstnává přibližně 15 000 zaměstnanců po celém světě. Kuka představuje jednoho z předních světových dodavatelů inteligentních automatizačních řešení. Ze svého portfolia nabízí plně automatizované systémy, včetně robotů a buněk, a jejich propojení pro různé trhy, jako je automobilový průmysl, elektronika, spotřební zboží a zdravotnictví. [33]



Obrázek 32: Kolaborativní robot LBR iisy 3 R760 [33]

2.2.3 Universal Robots

Společnost byla založena v roce 2005, Esbenem Østergaardem, Kasperem Støymem a Kristianem Kassowem v Dánsku. V roce 2008 dodali prvního lehkého a flexibilního kolaborativního robota UR5. [28]



Obrázek 33: Logo společnosti Universal Robots [28]

Hlavními produkty společnosti jsou lehcí a flexibilní roboti určené k práci s lidskými pracovníky bez ochranných bariér. Tito roboti jsou známi svou lehkou integrací do mnoha průmyslových procesů, ale také jsou cenově dostupné pro menší a střední firmy, které nemají zkušenosti s robotikou a programováním robotů. [28]

Dnes je společnost jedním z předních dodavatelů kolaborativních robotů a na tomto trhu zastává 50% podíl. Společnost zaměstnává 740 zaměstnanců mezi svými 29 pobočkami, které lze najít ve 20 zemích světa. [28]



Obrázek 34: Kolaborativní robot UR30 [28]

2.2.4 Fanuc

Společnost FANUC byla založena v roce 1956 v Japonsku, když se její zakladatel Dr. Seiemon Inaba podílel na sestrojení první technologie číslicového řízení (NC). Vynález prvního elektrického pulzního motoru s možností programování číslicového řízení, který vyvinul Dr. Inaba, odstartoval průlomový vývoj vedoucí k automatizaci jednotlivých strojů až po automatizaci celých výrobních linek. [34]



Obrázek 35: Kolaborativní robot CRX-10iA [34]

Dnes je společnost předním světovým výrobcem v oblasti průmyslové automatizace s více jak 4.9 miliony řídicích jednotek CNC a více jak 810 tisíci instalovaných robotů po celém světě. Společnost má svých 271 poboček ve 109 zemích světa, mezi kterými zaměstnává více jak 8200 zaměstnanců. [34]

FANUC

Obrázek 36: Logo společnosti FANUC [34]

2.2.5 Doosan

Společnost Doosan je průmyslový konglomerát, který byl založen v roce 1896 v Korejské republice, kde má dnes sídlo ve městě Soul. Jedná se o společnost, která se specializuje na strojírenskou výrobu, stavebnictví, technologie a průmyslové podniky. Vyrábí jak turbíny, automatizační systémy, motory, těžké stavební stroje, palivové články, tak i kolaborativní roboty. [35]



Obrázek 37: Kolaborativní robot E0509 [35]

Dceřiná společnost Doosan Robotics byla založena v roce 2015 v Korejské republice, kde má také hlavní sídlo ve městě Suwon. Společnost je výrobcem průmyslových robotů a má ve své nabídce řadu kolaborativních robotů určených k mnoha aplikacím v průmyslu, jako jsou kontrola kvality, obsluha strojů, lepení a mnoho dalších. [35]

Doosan Robotics

Obrázek 38: Logo Společnosti Doosan Robotics [35]

2.2.6 Techman Robot

Společnost Techman Robot byla založena v roce 2015 a je jediným výrobcem kolaborativních robotů se sídlem na Tchaj-wanu. Jejich kolaborativní roboti s vestavěnými vizuálními systémy, softwarem a aplikacemi jsou díky jejich stovce distributorů dostupné jak v Asii, Evropě, Austrálii tak i v Severní a Jižní Americe. Společnost se za první 3 roky na trhu stala jednou z největších značek na trhu s kolaborativními roboty, a to díky silné podpoře své mateřské společnosti Quanta Group. [36]



Obrázek 39: Kolaborativní robot TM25S [36]



Obrázek 40: Logo společnosti Techman Robot [36]

2.3 Typy kolaborativních robotů

V současné době se rozlišují čtyři hlavní typy kolaborativních robotů, které jsou definovány podle normy ČSN EN ISO 10218–1 a ČSN EN ISO 10218–2. [37]

2.3.1 Bezpečnostní monitorované zastavení

Jedná se o typ kolaborativních robotů, kteří nejsou přímo integrováni do operací zahrnující kooperaci s člověkem. U těchto typů kolaborativních robotů se skutečně využívají

průmysloví roboti vybaveni řadou senzorů, které zastaví činnost robota, pokud se v blízkosti jeho pracovního prostoru nachází pracovník. [36][38]

2.3.2 Dynamické monitorování rychlosti a separace

Tento typ kolaborativních robotů se podobá kolaborativním robotům s bezpečnostním monitorovaným zastavením. Využívají taktéž průmyslové roboty, ale se sofistikovanějšími technologiemi vidění. Pokud se v jejich blízkosti nachází pracovník, jehož bezpečnost je ohrožena, robot zpomalí svůj pohyb. Pokud se v jeho bezprostřední blízkosti nachází pracovník, robot úplně zastaví svůj provoz. [36][38]

2.3.3 Omezení výkonu a síly

Jedná se o typ kolaborativních robotů, kteří jsou konstruováni v kompaktnějších rozměrech se zaoblenými rohy, řadou kolizních senzorů a omezením síly, díky čemuž jsou vhodné k práci vedle pracovníků. Ve srovnání s klasickými kolaborativními roboty jsou jejich pohyby předvídatelnější a díky kolizním senzorům rychle detekují kontakt s pracovníkem a zastaví tak svou činnost. [36][38]

2.3.4 Ruční navádění

Tento typ kolaborativních robotů je vybavený zařízením pro ruční navádění, za jehož pomoci je pracovník schopen ovládat a manévrovat pohyby robota, ale pouze v automatickém režimu. V automatickém režimu reaguje robot pouze na pokyny pracovníka, který jej obsluhuje. Toto umožňuje pracovníkovi manipulovat s velkými či těžkými objekty například při skladování, což snižuje riziko úrazu a zvyšuje produktivitu. Taktéž lze ruční navádění využít k programování robota, kterého pracovník navede do polohy, kterou by chtěl robota naučit. Je nutno upozornit, že robot v automatickém režimu se neprogramuje a během výroby se nepoužívá. [36][38]

3 KOLABORATIVNÍ ROBOT IRB 14000 YUMI

Název robota YuMi vznikl z anglického „you“ a „me“ v překladu „ty“ a „já“, což znamená spolupráci mezi robotem a člověkem. [39]



Obrázek 41: Kolaborativní robot IRB 14000 YUMI [39]

IRB 14000 YuMi je průmyslový robot specificky navržený pro elektronický průmysl se dvěma pažemi určenými pro montáže drobných součástek s vysokou přesností. Je rovněž vhodný pro konstrukci švýcarských hodinek, hraček a automobilových součástek. Je to první skutečně kolaborativní robot na světě, který dokáže provádět stejné výrobní operace jako člověk se zajištěním maximální bezpečnosti a bez jakéhokoli ohrožení lidské bezpečnosti. [39]

Jednou z jeho výhod oproti běžným robotickým pažím je schopnost provádět montáž velmi malých dílů v malém omezeném prostoru se stejným dosahem, jaký by měl člověk. [39]

3.1 Bezpečnost

Kostra paže je vyrobena z hořčíkové slitiny, která je pokryta pružným plastovým pláštěm, a nakonec obalena měkkým polstrováním. Tato konstrukce má tu výhodu, že dokonale tlumí síly při neočekávaném kontaktu s pracovníkem nebo při nárazu do cizího předmětu. Paže se podobá lidské ruce, a to jak konstrukcí, tak i tím, že YuMi nemá žádné místa, kde

by mohlo dojít k uskrípnutí, díky čemu je velmi nepravděpodobné rozdrčení křehkých součástí mezi protilehlými plochami při rozevírání a svírání os. [39]

Jestliže YuMi zaznamená jakýkoliv neočekávaný kontakt s pracovníkem či jiným předmětem, nebo dokonce změnu v prostředí, dokáže svůj pohyb zastavit v řádu několika milisekund. Toto zajišťuje, že v případě přetížení nedojde k úrazu nebo poškození paže. Pohyb robota se následně snadno obnoví stiskem tlačítka na ovládacím panelu robota. [39]

I s těmito prvky skvělé bezpečnosti, nebo jak ABB označuje „dokonalá bezpečnost“ je YuMi rychlý a velmi přesný. Při opakovaném spuštění po zastavení se dokáže opakovaně vracet přesně do stejného bodu s tolerancí $\pm 0,02$ mm. [39]

3.2 Vlastnosti

Za pomoci svého kompaktního těla a flexibilních paží dokáže provádět rychlé a přesné pohyby s vysokou přesností. Je také vybaven integrovaným řídicím systémem generace IRC5 což řídí přesnost, rychlost, dobu cyklu, programovatelnost a synchronizaci s externími zařízeními. Díky své bezpečnosti a schopnosti spolupráce s člověkem je ideální pro mnoho využití, od montáže až po manipulaci s materiálem. [39]

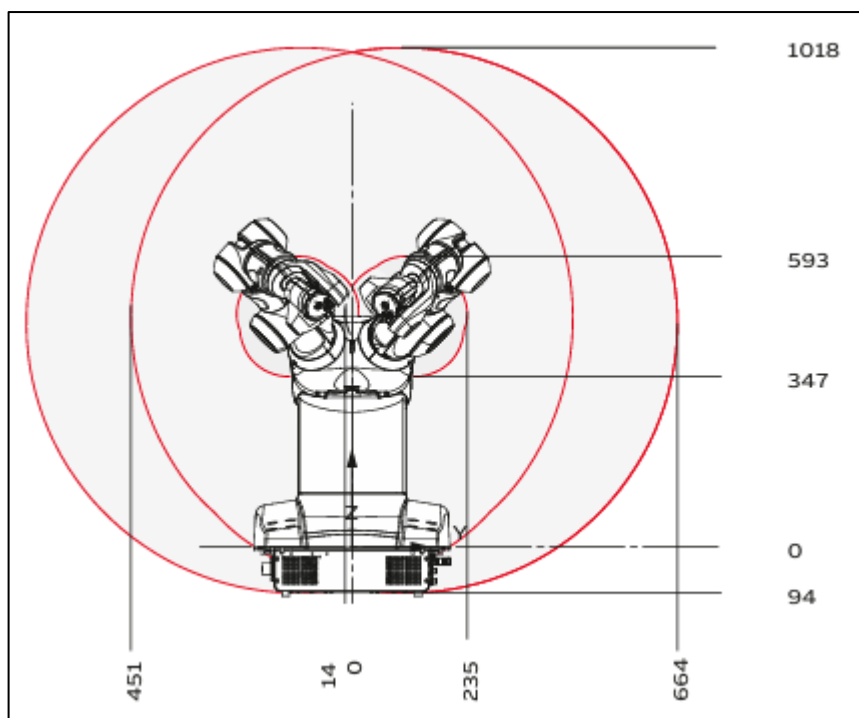
Pohyb na osách	Pracovní rozsah	Maximální rychlost
Osa 1 rotace	-168,5° až 168,5°	180°/s
Osa 2 paže	-143,5° až 43,5°	180°/s
Osa 3 paže	-123,5° až 80,0°	180°/s
Osa 4 zápěstí	-290,0° až 290,0°	400°/s
Osa 5 ohýbání	-88,0° až 138,0°	400°/s
Osa 6 otáčení	-229,0° až 229,0°	400°/s
Osa 7 rotace	-168,5° až 168,5°	180°/s

Tabulka 1: Tabulka os robota IRB 14000 [39]

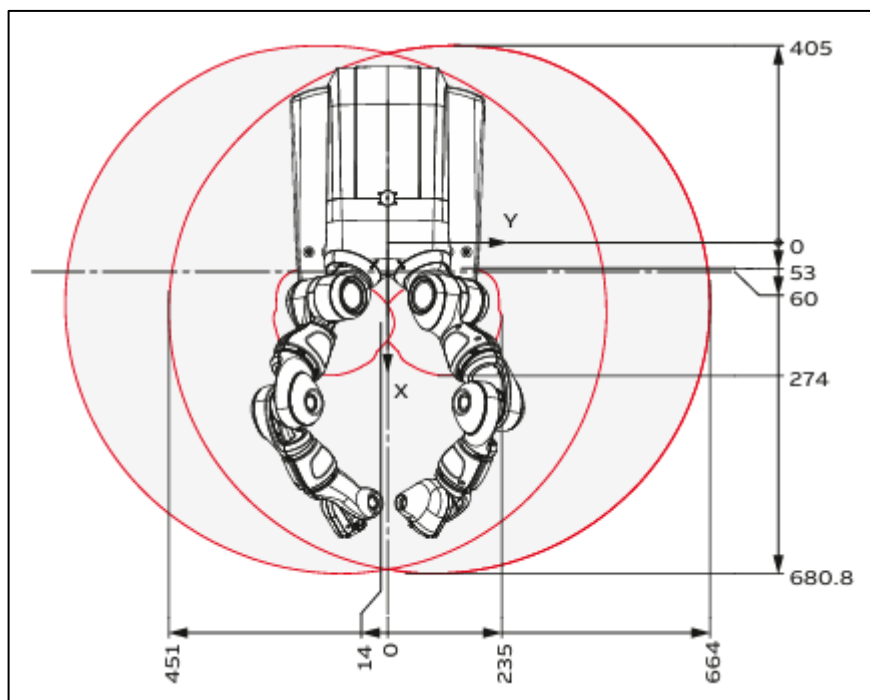
Ve skutečnosti je ale fyzické pořadí os 1, 2, 7, 3, 4, 5, 6. [39]

Opakovatelnost	±0,02 mm
Užitečné zetížení	0,5 kg
Hmotnost robota	38 kg
Stupeň ochrany	IP 30
Dosah	500 mm
Max. rychlost TCP	1,5 m/s
Max. zrychlení TCP	11 m/s ²
Doba zrychlení 0-1 m/s	0,12 s

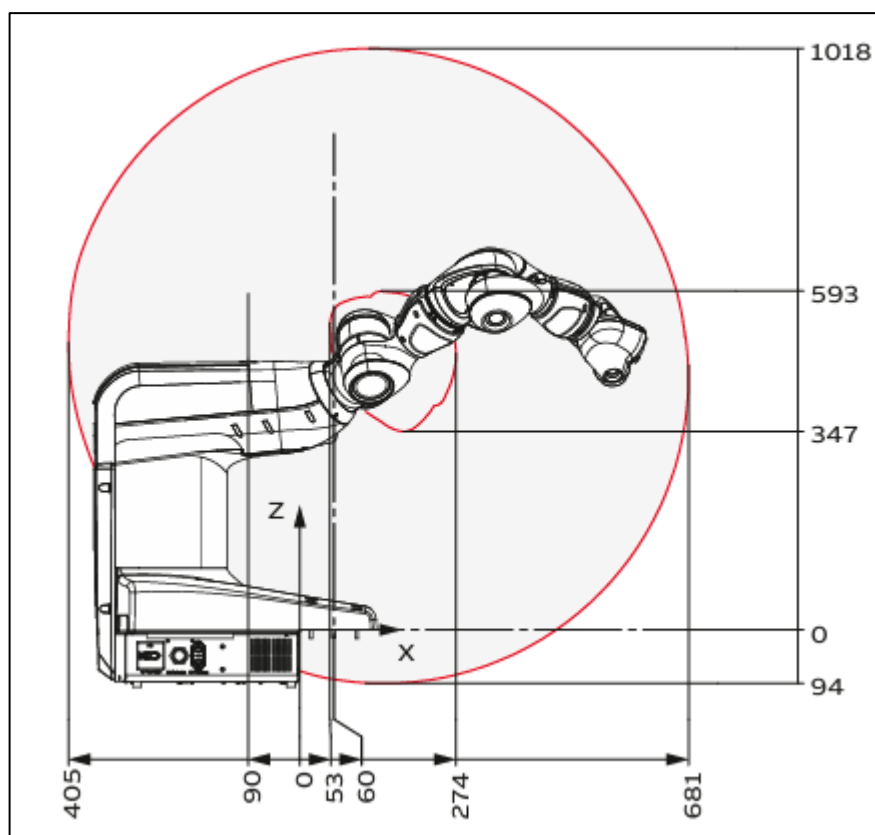
Tabulka 2: Tabulka vlastností robota IRB 14000 [39]



Obrázek 42: Pohled zepředu na IRB 14000 [39]



Obrázek 43: Pohled shora na IRB 14000 [39]



Obrázek 44: Pohled z boku na IRB 14000 [39]

4 COGNEX IN-SIGHT INSPEKČNÍ A LOKALIZAČNÍ NÁSTROJE

Cognex In-Sight jsou autonomní systémy, které se skládají z černobílé nebo barevné kamery, které nasnímají, zpracují a odešlou výsledky získané z pořízené fotky. In-Sight nabízí širokou škálu inspekčních a lokačních nástrojů pro řešení různých problémů strojového vidění, jak už lokalizaci objektů, měření objektů, čtení 1D a 2D kódů a navádění robotů. [19][26]

4.1 Typy nástrojů

Tyto nástroje jsou navrženy k provádění kontroly na konkrétních snímcích, kde například ověřují přítomnost či nepřítomnost určitých prvků, analyzují chyby, identifikují objekty podle specifických vlastností a měří velikost, počet nebo lokalizaci objektů. Tak i k určení polohy objektu a jeho orientaci v prostoru, což je nezbytné pro některé průmyslové aplikace strojového vidění. Využívají se například pro sledování objektů na výrobní lince, kde mají za úkol určení přesné polohy každého objektu na lince. [26]

4.1.1 PatMax Pattern

Tento nástroj slouží k lokaci objektů v obraze pomocí algoritmů PatMax, které se co nejvíce podobají natrénovanému objektu. Po nalezení objektu vrátí nástroj uživateli souřadnice bodu X a Y, jeho úhel natočení a jeho skóre. Tento nástroj má více typů, které se funkcí neliší, ale dokážou vyhledat více objektů v jednom obraze. Běžně se používají jako přípravek pro orientaci nástrojů pro vidění a také nabízejí nejvyšší přesnost lokalizačních a kontrolních nástrojů na trhu. [40]

4.1.2 Circle

Tento nástroj analyzuje oblast obrazu tím, že ji rozdělí do soustředných kruhů s různými poloměry. Následně se hledá hrana kruhu, na základě rozdílu mezi světlými a tmavými oblastmi se identifikuje hrana. Po nalezení okraje kruhu vrátí uživateli průměr a souřadnice středu kruhu X a Y. [40]

4.1.3 Brightness

Tento nástroj umožňuje detekovat změny hodnot šedi v obraze (tj. jasu) a identifikovat vady na objektech. Je užitečný v případech, kdy je vadný díl tmavší nebo světlejší jak dobrý díl. U tohoto nástroje si jeho maximální a minimální hodnoty jasu nastavuje uživatel, buď pomocí posuvníku nebo zadáním hodnot. Nástroj se dá také využít

k identifikaci přítomnosti či absenci dílů, nebo k určování a sledování objektů ve výrobní lince. Vrací uživateli hodnotu „Pass“, pokud bylo „score“ v mezích nebo „Fail“, pokud bylo „score“ mimo meze. [40]

4.1.4 Edge

Tento nástroj slouží k detekci lineárních hran v obraze. Analyzuje oblast zájmu a vyhledává náhlé změny mezi světlými a tmavými pixely, které identifikují nalezenou hranu, ale může se stát, že detekovaná hrana může obsahovat pouze 2 až 3 pixely, případně více. Vrací uživateli hodnotu „Pass“, pokud bylo „score“ v mezích nebo „Fail“, pokud bylo „score“ mimo meze. [40]

4.1.5 Blobs

Tento nástroj slouží k extrakci a analýze „blobů“ a určuje, zda je nebo není přítomná skupina pixelů s podobnými hodnotami šedotónů, které jsou spojeny. Nástroj prvně začne segmentací oblasti zájmu na základě hodnot šedotónu. Následně se u pixelů zjišťuje, zda jsou propojeny se svými sousedními pixely. Vrací uživateli hodnotu „Pass“, pokud byla funkce „blobu“ v mezích nebo „Fail“, pokud byla mimo meze. [26][40]

4.1.6 Read 1D Code

Tento nástroj slouží k dekodování nebo ověřování 1D kódů anebo sloučených čárových kódů. Využívá algoritmu ReadIDMax, který analyzuje obraz a následně hlásí detekované informace, úspěšnost dekodování a „Pass“, pokud byl kód dekodován správně v rámci stanovených limitů a „Fail“, pokud nelze kód dekodovat anebo je mimo limity. Jsou i další verze tohoto nástroje, které se od sebe liší tím, že Read 1D code se využívá ke čtení nebo ověřování jediného kódu v oblasti zájmu, zatímco Read 1D Codes (1-20) dělá to samé až na to, že dokáže číst nebo ověřovat až 20 kódů v oblasti zájmu. [40]

4.1.7 Read 2D Code

Tento nástroj slouží k dekodování nebo ověřování 2D čárových kódů. Využívá algoritmu ReadIDMax, který analyzuje obraz a následně hlásí detekované informace, úspěšnost dekodování a „Pass“, pokud byl kód dekodován správně v rámci stanovených limitů a „Fail“, pokud nelze kód dekodovat anebo je mimo limity. Jsou i další verze tohoto nástroje, které se od sebe liší tím, že Read 2D code se využívá ke čtení nebo ověřování

jediného kódu v oblasti zájmu, zatímco Read 2D Codes (1-20) dělá to samé až na to, že dokáže číst nebo ověřovat až 20 kódů v oblasti zájmu. [40]

4.1.8 Contrast

Tento nástroj se využívá k detekci přítomnosti či absenci prvků na základě hodnoty kontrastu. Kontrast je definován jako rozdíl mezi průměrnou hodnotou šedotónu nad prahem a průměrnou hodnotou šedotónu pod prahem. Tento nástroj se využívá v situacích, kdy se prvek na dobrém dílu výrazně odlišuje světlými nebo tmavými oblastmi od prvku na špatném dílu. Například ověření tmavého tisku na světlém podkladu. [40]

5 HUMAN MACHINE INTERFACE

HMI neboli rozhraní člověk-stroj hraje v průmyslové automatizaci klíčovou roli. Jedná se o typ uživatelského rozhraní, díky kterému může operátor komunikovat se strojem, systémem nebo zařízením z jednoho řídicího panelu. [41]

HMI je v některých ohledech podobné grafickému uživatelskému rozhraní neboli GUI, ale nejsou spolu totožné. GUI se často využívá v rámci HMI pro vizualizaci dat a procesů. Hlavní funkci HMI v průmyslu je usnadnění interakce pracovníka se strojem, jak už zobrazováním důležitých informací, zadávání příkazů anebo monitorování stavu zařízení, například nastavování parametrů jako jsou časovače a spínací body, hledání poruch, zobrazování statistik z výroby jako je rychlost běhu, sledování vstupů a výstupů. [41][42]

Dohledové řízení a sběr dat neboli SCADA systémy a HMI jsou oba zásadní součástí pro průmyslové řízení systému, přičemž SCADA systémy se zaměřují na sběr dat a provoz řízení procesů, zatímco HMI se zaměřuje na vizuální přenos informací, které pomáhají pracovníkovi dohlížet na proces výroby. HMI na rozdíl od systémů SCADA neshromažďují a nezaznamenávají informace, spíše poskytuje jednoduchý komunikační nástroj, který může fungovat jako součást systému SCADA nebo pracuje paralelně s ním. [41]

5.1 Využití HMI

Díky přehlednému a intuitivnímu rozhraní umožňuje HMI pracovníkům snadno monitorovat, řídit a upravovat výrobní proces, což má za následek zvýšení produktivity a minimalizaci času, a snížení prostojů mezi výrobními operacemi. HMI také může v reálném čase upozorňovat obsluhu pomocí dat a výstrah, které mohou předcházet nehodám nebo poruchám ve výrobní lince, což přispívá ke zvýšení bezpečnosti, nebo také mohou pomoci s odstraňováním těchto problémů. [43]

5.1.1 Použití HMI v průmyslovém prostředí

- **Monitorování a vizualizace:**

Rozhraní HMI poskytuje pracovníkům přehled o aktuálním stavu a efektivitě stroje pomocí intuitivních dotykových obrazovek, které zobrazují klíčové informace stroje, například produkční parametry, teploty, tlaky a upozornění na potencionální chyby nebo poruchy, čímž se minimalizuje možnost zastavení výroby. [44]

- **Ovládání a nastavení zařízení:**

Díky HMI mohou pracovníci snadno ovládat a upravovat nastavení strojů, pomocí dotykových obrazovek, díky kterým je úprava parametru snadná, přesná a rychlá, což eliminuje zdlouhavé programování nebo manuální zásah pracovníka. [44]

- **Diagnostika a údržba:**

Rozhraní nabízí sofistikované diagnostické nástroje, které pomáhají k rychlé identifikaci a řešení vyskytnutých problémů. Monitoruje také senzory, výstražné signály a případné problémy, což umožňuje pracovníkům efektivněji řešit údržby a technické závady. [44]

- **Integrace s řídicími systémy:**

HMI dokáže efektivně komunikovat s různými řídicími systémy a zařízeními v průmyslu, což umožňuje propojení s PLC a SCADA systémy a dalšími automatizačními technologiemi. Toto umožňuje HMI celkovou centralizovanou kontrolu a koordinaci výrobních operací. [44]

5.2 Typy HMI

5.2.1 Grafické uživatelské rozhraní (GUI)

Jedná se o počítačová HMI, které využívají grafické rozhraní k prezentaci procesních dat a umožňují pracovníkům zadávat příkazy. Lze je vytvořit buď prostřednictvím operačního systému Microsoft Windows nebo dedikovaným HMI softwarem. [45]

5.2.2 Dotykové obrazovky

Tyto HMI používají dotykové obrazovky k prezentaci dat a zadávání příkazů. Využívá se v prostředích, kde je omezený pracovní prostor. [45]

5.2.3 Fyzické ovládací panely

Tyto HMI používají tlačítka, přepínače a displeje k prezentaci dat a k zadávání příkazů. Využívají se v průmyslovém prostředí, kde grafické uživatelské rozhraní a dotykové obrazovky nejsou praktické, například v procesech, kde jsou vysoké vibrace nebo nečisté ovzduší. [45]

5.2.4 Webové HMI

Tyto HMI využívají webové prohlížeče k prezentaci dat a zadávání příkazů. Umožňují přístup odkudkoliv na světě z jakéhokoliv zařízení s webovým prohlížečem. [45]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

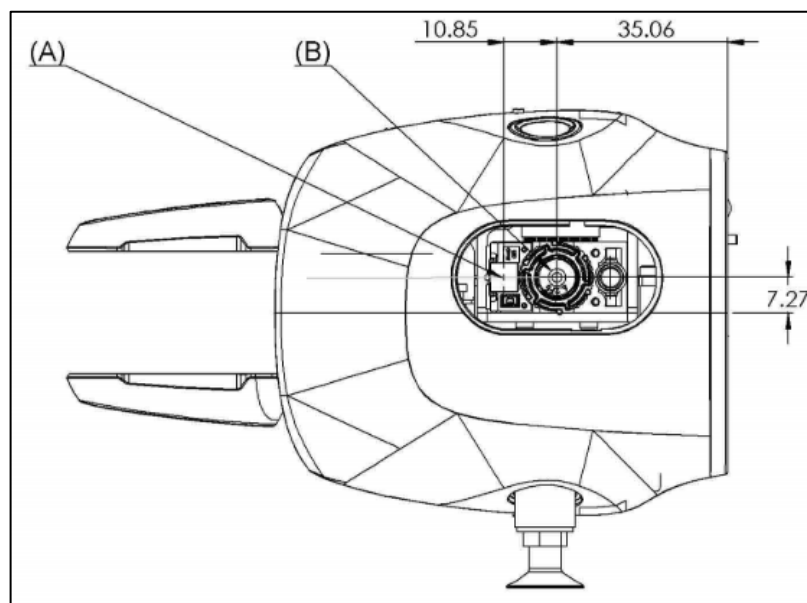
6 VYTVOŘENÍ APLIKACE STROJOVÉHO VIDĚNÍ

Pro úspěch funkčnosti celé práce bylo zapotřebí správné nastavení kamery Cognex AE3, která je integrovaná v gripperu robota.

6.1 Nastavení kamery a pozice

Je mnoho možností, jak snímat plochu kde jsou umístěny objekty. V tomto případě je výhodou, že je kamera přímo integrovaná od výrobce v gripperu robota, a tedy je zde jednodušší nastavení pozice a její případná modifikace, jak už ručně nebo programově.

Bohužel zde nastal problém se samotnou konfigurací kamery, jelikož přímo vedle kamery je i integrované osvětlení. Při vyfocení byl obraz přesvícen i při nižší intenzitě světla, a to kvůli krytce kamery, která část světla odrážela zpět do kamery. Z tohoto důvodu byla krytka demontována.



Obrázek 45: Rozměry kamery Cognex AE3 [46]

- A. integrované osvětlení
- B. objektiv

6.1.1 Výběr pozice kamery

Jelikož bylo zapotřebí rozpoznávat objekty jak už podle barvy, tak i pokud jsou s dírou či bez, tak byla zvolena vyšší pozice kamery. Díky vyšší pozici se snižuje možnost toho, že by kamera nebyla schopna rozpoznat, zda je objekt s dírou nebo bez. Vyšší pozice taktéž napomohla rozpoznávání barev, které nebyly tak přesvícené jak v nižších pozicích.

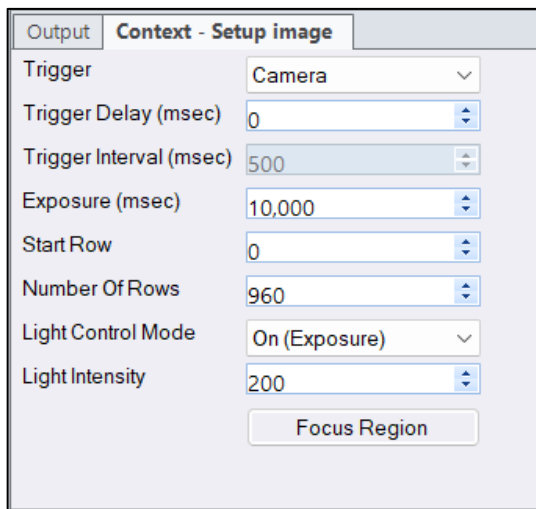


Obrázek 46: Fotící pozice kamery

6.1.2 Nastavení kamery

Kamera se nastavovala v části Integrated Vision softwaru RobotStudio. V záložce „Setup Image“ je možné najít nastavení kamery. V případě této aplikace se nastavovala pouze doba expozice a intenzita světla.

Doba expozice určuje, jak rychlá je závěrka, a tedy říká, po jakou dobu bude snímač kamery vystaven světlu. Intenzita světla zase určuje, jaké množství světla dopadne na snímač kamery. Jsou to klíčové parametry pro zajištění kvalitního obrazu a pro rozpoznávání tvaru a barvy objektu.



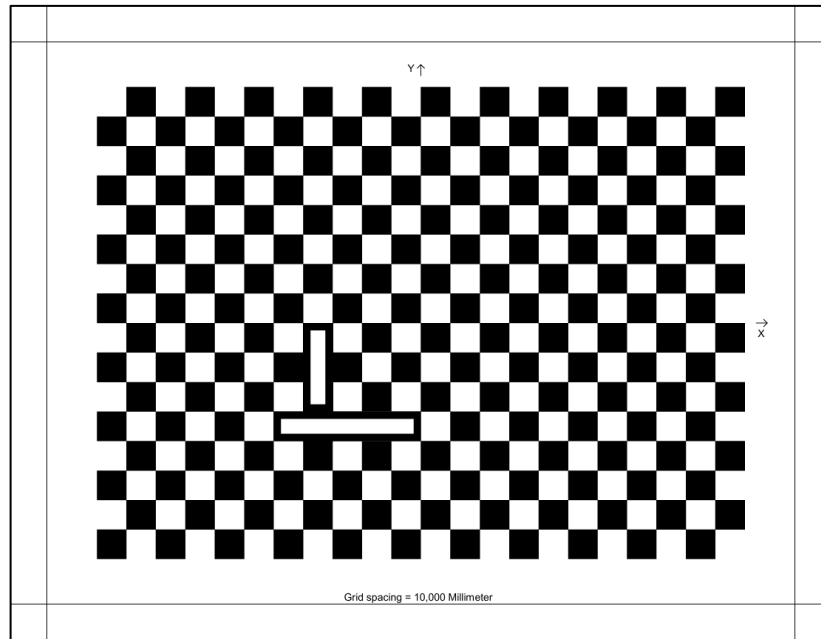
Obrázek 47: Softwarové nastavení kamery v Integrated Vision

6.2 Příprava strojového vidění

Strojové vidění se nastavovalo v části Integrated Vision softwaru RobotStudio. Tato část softwaru slouží k vytváření programů vidění pro daného robota. Nabízí širokou škálu inspekčních nástrojů a funkcí, které jsou nezbytné pro správnou kalibraci a nastavení systému strojového vidění. Tyto nástroje umožňují co nejlepší optimalizaci systému, aby co nejvíce vyhovovaly požadavkům dané aplikace.

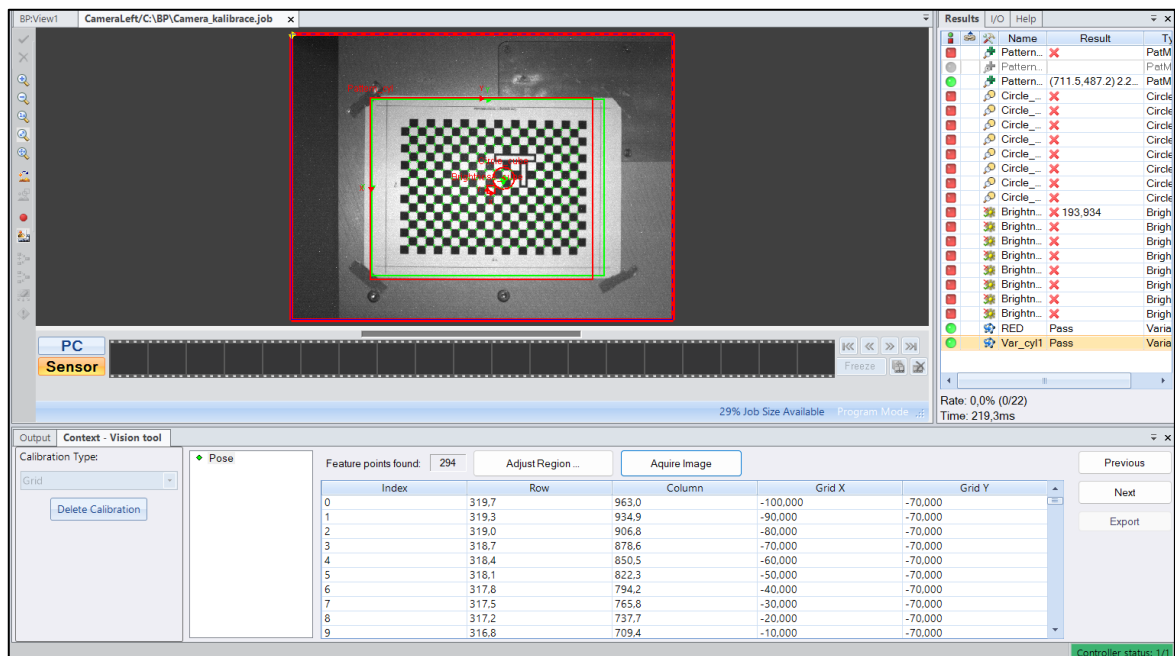
6.2.1 Kalibrace kamery

Pro kalibraci kamery byla v této aplikaci zvolena kalibrační mřížka o rozměrech čtverečků 10 mm, která se vygenerovala přímo v softwaru Integrated Vision v záložce „Calibrate“.



Obrázek 48: Kalibrační mřížka

Vytištěný papír s kalibrační mřížkou se následně musel podložit do výšky 40 mm od stolu kvůli přepočítávání souřadnic snímaných objektů na krajích oblasti zájmu (viz. Obrázek 51). Následně se pořídil snímek s kalibrační mřížkou a kliknout na záložku „Calibrate“ a následně pokračovat v procesu kalibrace.



Obrázek 49: Kalibrace kamery v Integrated Vision

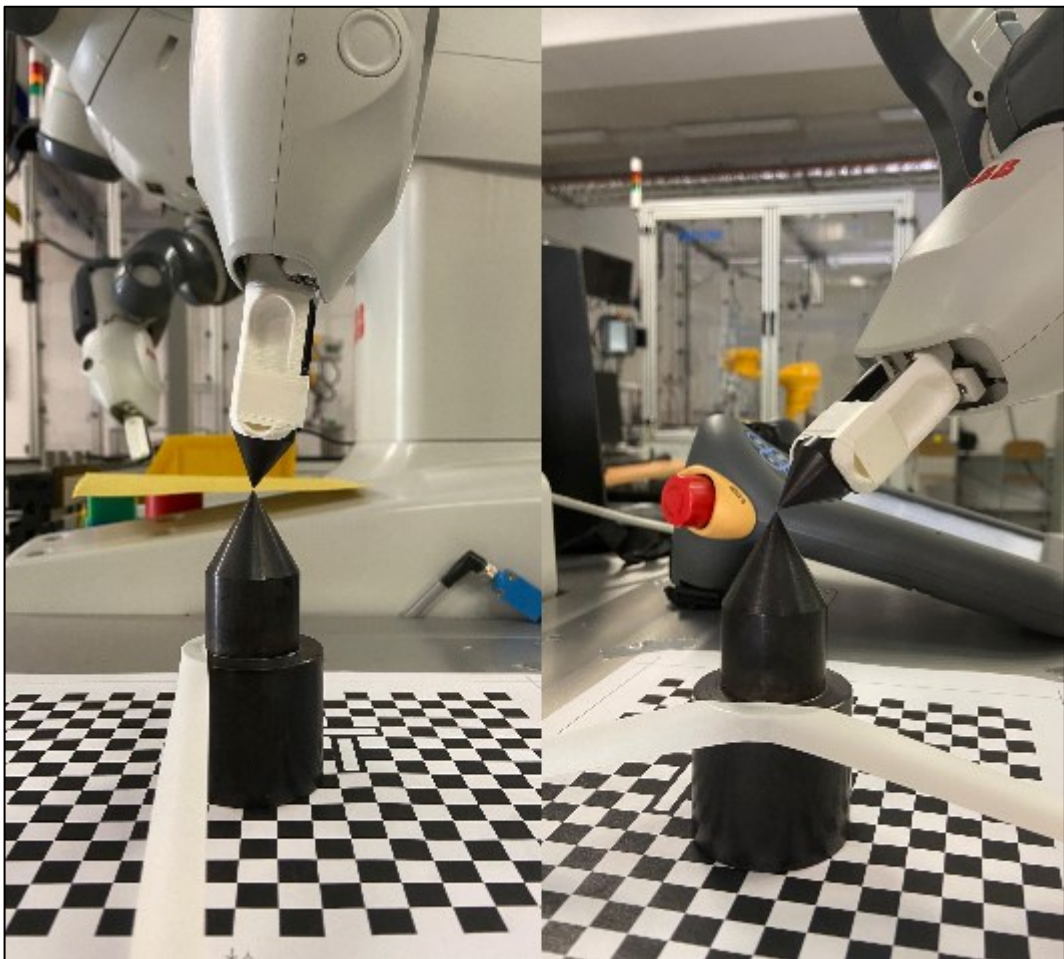
Následně program nalezne a přepočítá body mřížky, na základě kterých vrátí počet nalezených funkčních bodů. Po nalezení bodů se bude pokračovat v procesu kalibrace kamery pomocí tlačítek „Calibrate“ a následně „Finish“, čímž se kalibrace ukončí.

6.3 Definice souřadných systémů robota

Definice nového souřadného systému nástroje (Tool Frame) je nezbytná pro přesné správné nastavení pracovního souřadného systému (Workobject Frame), který je nezbytný pro určení přesných souřadnic nalezených objektů.

6.3.1 Tool Frame

Pro nastavení nového Tool Frame, byly použity dva kužely s velmi ostrou špičkou pro co nejpřesnější definici. Následně se Tool Frame definoval pomocí metody TCP (default orient.) pomocí 4. bodů z různých pozic koncového efektoru. U nové definice je ale velmi důležité, aby se hýbal pouze koncový efektor nikoliv referenční bod.



Obrázek 50: Definice souřadného systému nástroje špičkami dvou kuželů

6.3.2 Workobject Frame

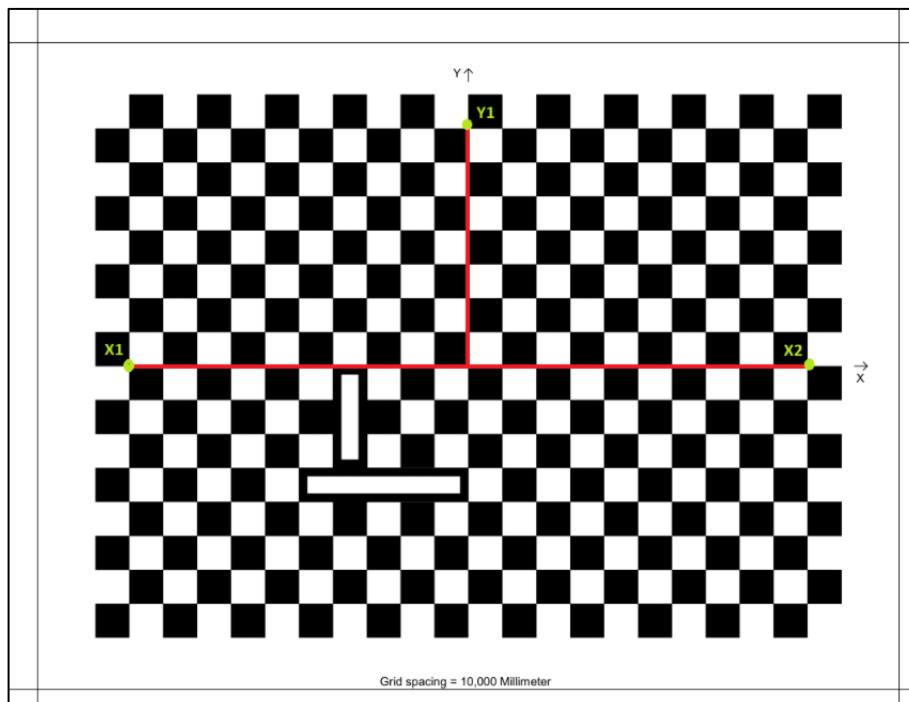
Pomocí nově vytvořeného Tool Frame a kalibrační mřížky je možné přesně nadefinovat nový Workobject Frame. K tomu je nutné využít špičku kužele jako referenční bod. Důležité je stále používat stejný koncový efektor jako při definici Tool Frame, aby byla zajištěna co nejvyšší přesnost.

Workobject Frame se definuje pomocí tří bodů na kalibrační mřížce. Dva z těchto bodů leží na ose X a jeden na ose Y. Při definici těchto bodů je nutné dodržet orientaci os, která byla stanovena při kalibraci kamery.



Obrázek 51: Definice pracovního souřadného systému pomocí špičky kužele nového souřadného systému nástroje

V případě této definice Workobjectu byly použity tyto tři body:



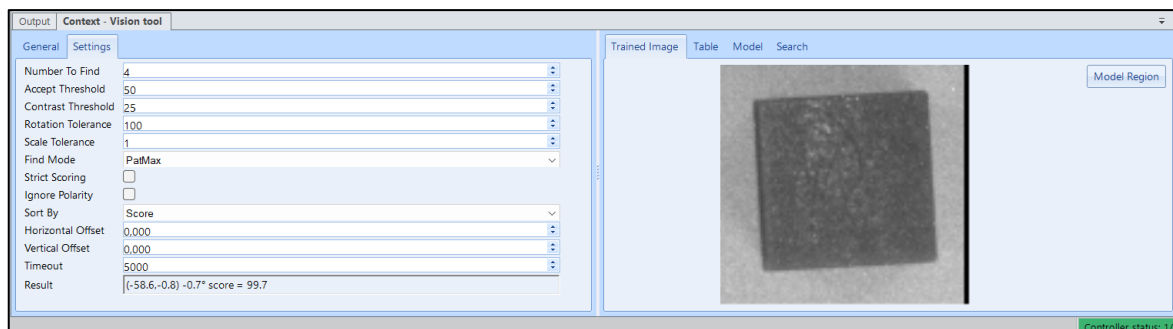
Obrázek 52: Body pro definici pracovního souřadného systému

6.4 Nastavení inspekčních nástrojů

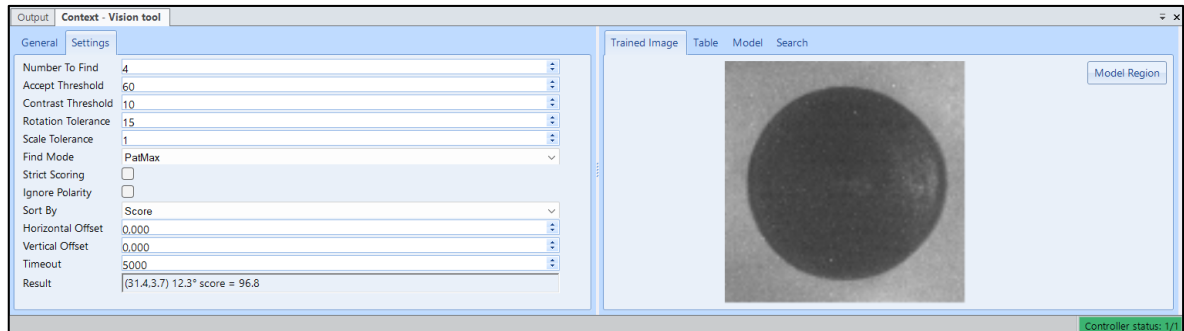
V této aplikaci byly využity tři inspekční nástroje, z čehož jeden hledal objekty a dva, které se staraly o zjištění potřebných informací nalezených objektů.

6.4.1 Nástroje pro nalezení objektů

Pro nalezení objektů byl využit lokační nástroj PatMax® Patterns (1–10). Tento nástroj byl použit dvakrát, a to jednou pro kostičku a podruhé pro váleček. Jedná se o lokační nástroj, který na základě natrénovaného objektu bude vyhledávat v oblasti zájmu maximálně 10 objektů, které se mu nejvíce podobají. V případě této aplikace byl nastaven maximální počet nalezených dílů na 4 u každého typu objektu.



Obrázek 53: Nastavení nástroje PatMax® Patterns (1–10) pro kostičku

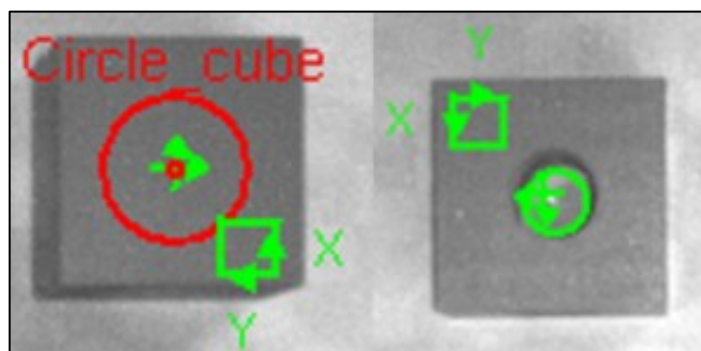


Obrázek 54: Nastavení nástroje PatMax® Patterns (1–10) pro váleček

6.4.2 Nástroje pro přesnou identifikaci objektů

Pro přesné určení typu objektu byly použity dva inspekční nástroje a to „Circle“ a „Brightness“. Tyto nástroje slouží k určení, zda se jedná o objekt s dírou nebo bez díry, což má na starosti nástroj „Circle“ a určení barvy objektu, tedy červená, zelená a modrá pomocí nástroje „Brightness“. Oba tyto inspekční nástroje jsou pozičně navázány na lokalizační nástroj PatMax® Patterns (1–10).

































Nástroj „Circle“ funguje na základě dvou soustředných kruhů s různými poloměry, které hledají hranu kruhu, na základě rozdílů světlých a tmavých oblastí. V této aplikaci byl vnitřní kruh nastaven co nejmenší, aby se eliminovala šance, že vnitřní část kruhu bude snímat vnitřní stěnu objektu s dírou, což by mělo za příčinu chybnou identifikaci. Tento nástroj musí být použit pro každý jeden díl zvlášť, tedy pokud máme PatMax® Patterns (1–10) nastavený na maximální počet hledaných objektů na 4 potřebujeme nástroj „Circle“ zafixovat na každý jeden z nich. [40]



Obrázek 55: Ukázka fixace nástrojů „Circle“ a „Brightness“

Nástroj „Brightness“ detekuje změny hodnot šedi (jasu) na detekovaných objektech. V této aplikaci byl použit na rozhodnutí, o jakou barvu objektu se jedná. U nástroje se prvně nastaví minimální a maximální snímaná hodnota tak, aby se u detekovaného objektu dala jednoznačně určit barva. Následně se v rozšířeném vývojovém prostředí Spreadsheet

nastavil rozsah hodnot šedi pro všechny tři barvy R, G, B (viz. Obrázek 57). Taktéž jako nástroj „Circle“ musí být tento nástroj použit pro každý jeden díl zvlášť, tedy pokud máme PatMax® Patterns (1–10) nastavený na maximální počet hledaných objektů na 4 potřebujeme nástroj „Brightness“ zafixovat na každý jeden z nich. [40]

		Circle_cyl	✗	Circle
		Circle_cyl1	✗	Circle
		Circle_cyl2	(9.2,59.7) diamet...	Circle
		Circle_cal3	✗	Circle
		Circle_cube	✗	Circle
		Circle_cube1	(-51.2,-38.0) dia...	Circle
		Circle_cube2	✗	Circle
		Circle_cube3	✗	Circle
		Brightness_cube	58,175	Brightness
		Brightness_cube1	91,960	Brightness
		Brightness_cube2	✗	Brightness
		Brightness_cube3	✗	Brightness
		Brightness_cyl	59,245	Brightness
		Brightness_cyl1	126,336	Brightness
		Brightness_cyl2	85,653	Brightness
		Brightness_cyl3	✗	Brightness

Obrázek 56: Výpis hodnot nástrojů „Circle“ a „Brightness“ z nalezených dílů

7 IMPLEMENTACE PROGRAMU PRO KLASIFIKACI A TŘÍDĚNÍ KUSŮ PODLE BARVY A TVARU

Program má na starosti zpracovat a analyzovat získaná data z kamery, pomocí kterých se budou objekty vybírat a následně ukládat na vybraná místa.

7.1 Získání dat z kamery

Data z inspekčních nástrojů se ukládají do rozšířeného vývojového prostředí Spreadsheet. Zde byly vytvořeny dvě tabulky, ve kterých jsou všechny potřebné informace pro správnou identifikaci a třídění dílů.

cylinder						
	0	1	2	3		
Patern	1,000	1,000	0,000	0,000		
X	50,615	-80,057	-10,896	0,000		
Y	20,850	-37,563	60,242	0,000		
Angle	-3,785	-17,199	16,558	0,000		
Cyrclle	1,000	1,000	0,000	0,000	Min	Max
Red	1,000	0,000	0,000	#ERR	108	155
Green	0,000	0,000	1,000	#ERR	60	108
Blue	0,000	1,000	0,000	#ERR	20	60
cube						
	0	1	2	3		
Patern	1,000	1,000	0,000	0,000		
X	62,716	-7,134	-65,510	0,000		
Y	-44,816	-53,350	22,691	0,000		
Angle	-77,347	-43,417	-48,713	0,000		
Cyrclle	1,000	1,000	0,000	0,000	Min	Max
Red	0,000	0,000	0,000	#ERR	108	155
Green	0,000	1,000	0,000	#ERR	60	108
Blue	1,000	0,000	1,000	#ERR	20	60

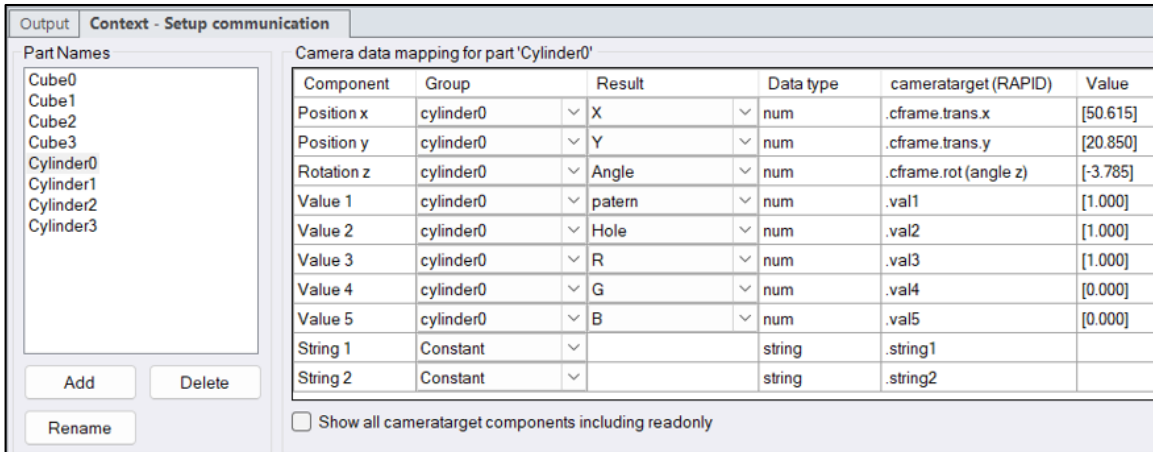
Obrázek 57: Ukázka tabulek ve vývojovém prostředí Spreadsheet

Jsou zde čtyři sloupceky 0–3 pro každý jeden nalezený díl, tedy například cube0 – cube3, ve kterých jsou uloženy následující parametry:

- Pattern – Určuje, zda byl nalezen pattern Patmax.
- X – Určuje pozici v ose X.
- Y – Určuje pozici v ose Y.
- Angle – Určuje natočení dílu.
- Cyrclle – Určuje, zda je díl s dírou nebo bez díry.

- R – Určuje, zda je díl červený pomocí hodnot Min a Max, které jsou nastaveny na konci řádku.
- G – Určuje, zda je díl zelený pomocí hodnot Min a Max, které jsou nastaveny na konci řádku.
- B – Určuje, zda je díl modrý pomocí hodnot Min a Max, které jsou nastaveny na konci řádku.

Tyto data se následně využijí k nastavení parametrů v záložce „Output to RAPID“, kde se vytvoří nové „díly“ (Part names). Do těchto dílů se následně uloží data ze Spreadsheetu, kde například Group – cylinder0 označuje sloupeček 0 v tabulce cylinder (viz. Obrázek Spreadsheet).



Component	Group	Result	Data type	cameratarget (RAPID)	Value
Position x	cylinder0	X	num	.cframe.trans.x	[50.615]
Position y	cylinder0	Y	num	.cframe.trans.y	[20.850]
Rotation z	cylinder0	Angle	num	.cframe.rot (angle z)	[-3.785]
Value 1	cylinder0	patern	num	.val1	[1.000]
Value 2	cylinder0	Hole	num	.val2	[1.000]
Value 3	cylinder0	R	num	.val3	[1.000]
Value 4	cylinder0	G	num	.val4	[0.000]
Value 5	cylinder0	B	num	.val5	[0.000]
String 1	Constant		string	.string1	
String 2	Constant		string	.string2	

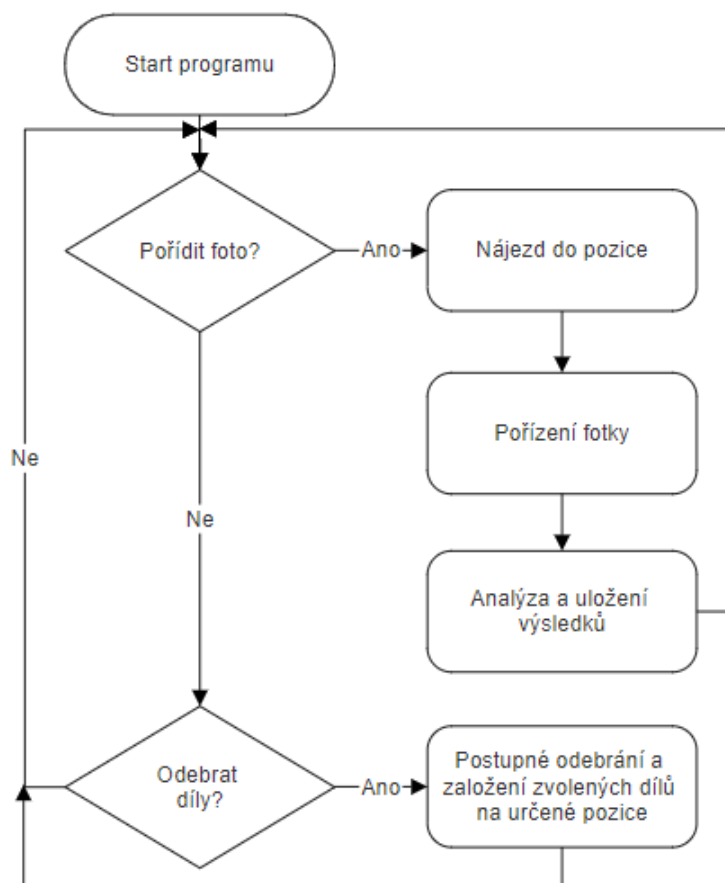
Obrázek 58: Ukázka uložení hodnot ze Spreadsheet do nových názvů dílů

7.2 Logika programu

V této části je popsána hlavní logika programu pro třídění objektů podle barvy a tvaru. Program byl navržen tak, aby byl pro uživatele co nejjednodušší na ovládání.

V první části po zmáčknutí tlačítka v HMI „Najdi objekty“ se robot přesune do pozice focení. Po vyfocení objektů a následné analýze dat z kamery dá program uživateli signál pomocí „LED“, že data byla zpracována a vypíše všechny nalezené díly do HMI.

Například červená kostka s dírou bude pojmenovaná v HMI jako „Cube Hole Red“ a váleček modrý bez díry jako „Cylinder Blue“. Uživatel si následně z těchto dílů vybere, jaké díly by měly být uloženy do pozic 1–4. Po potvrzení tlačítkem „Vyskládej“ robot tyto díly vyskládá na vybrané pozice. Po dokončení skládání bude program chtít potvrzení o odebrání dílů uživatelem.



Obrázek 59: Zjednodušený vývojový diagram programu

8 NÁVRH HMI APLIKACE

Program a návrh uživatelského rozhraní neboli HMI byl vytvořen v softwaru ScreenMaker, který je součástí RobotStudia. HMI slouží k snadné obsluze robota pomocí aplikace ve FlexPendantu (ovládacím panelu robota).

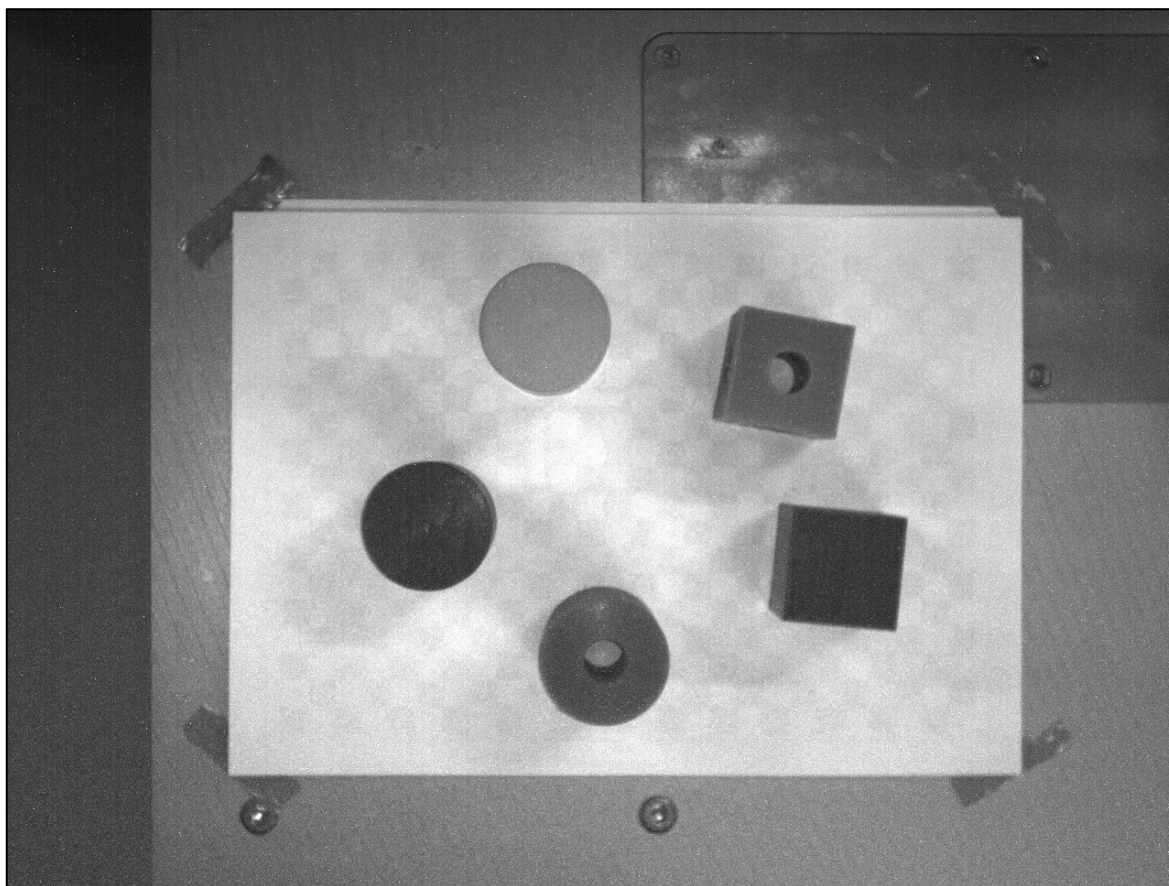
Na FlexPendantu najde uživatel čtyři rozevírací seznamy „ComboBox“ s názvy Pozice 1–4, které určují, na jaké pozici bude vybraný díl. Následně zde jsou dvě tlačítka a to „Najdi objekty“ a „Vyskládej“. Tlačítko „Najdi objekty“ má za úkol poslat robota do pozice pro fotku a vyfocení oblasti zájmu. Tlačítko „Vyskládej“ vyskládá vybrané díly z rozevíracích seznamů na dané pozice. Dále jsou zde dvě signalizační funkce, a to „LED“, která signalizuje, zda byly objekty vyfoceny, zanalyzovány a jsou připraveny k výběru a RapidExecutionStatus, který má na starosti signalizaci stavu spuštění programu.



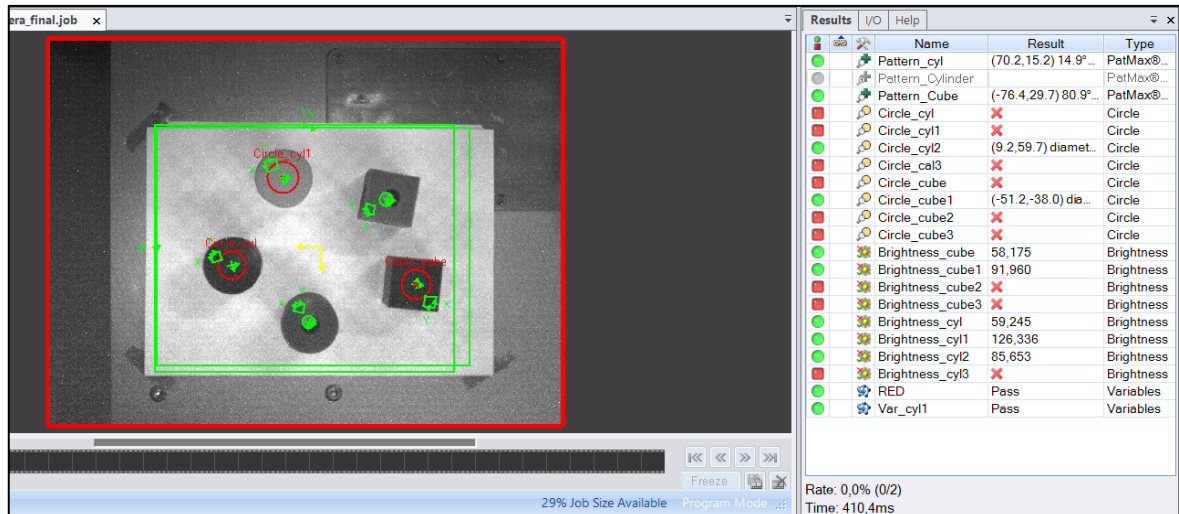
Obrázek 60: Ukázka aplikace HMI zobrazená ve FlexPendantu

9 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Výsledkem identifikačního programu jsou získané hodnoty z kamery, které určují pozici nalezeného objektu, jeho orientaci, tvar, zda má objekt díru nebo nemá a následně určí jeho barvu. Tyto výsledky se následně zanalyzují a přidělí se jim patřičné jméno podle zjištěných hodnot.



Obrázek 61: Foto dílů

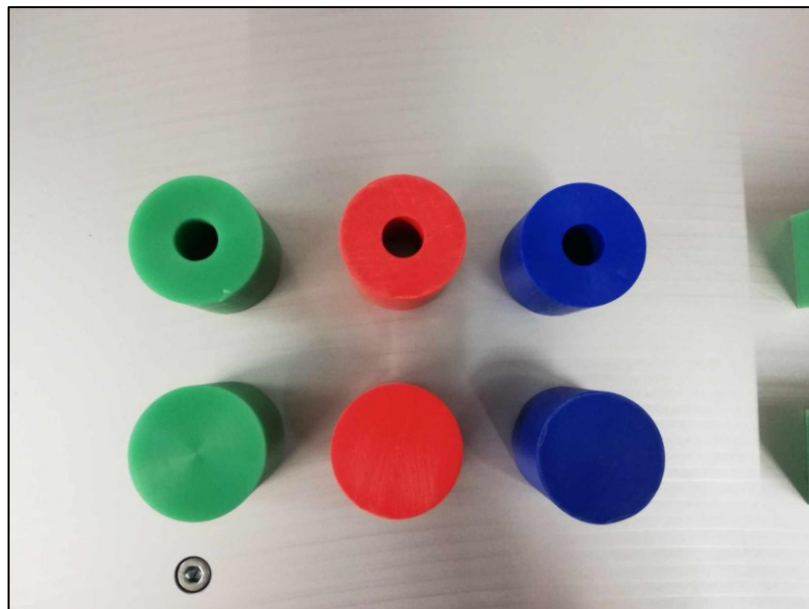


Obrázek 62: Foto dílů s použitím identifikačního programu

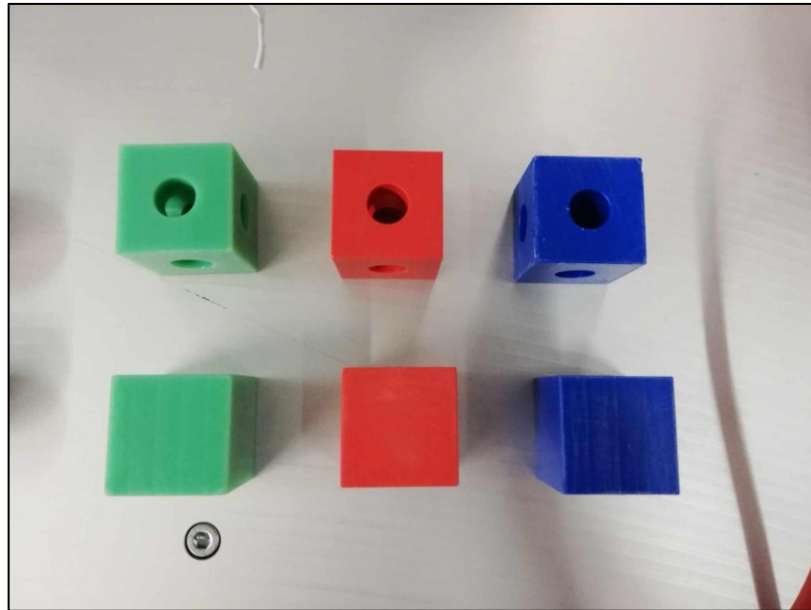
9.1 Porovnání dílů

Následující obrázky jsou zaměřeny na porovnání vyfocených dílů černobílou kamerou robota a jejich následnou identifikaci.

V následujících fotkách jsou ukázány všechny použité díly, které byly vyfoceny mobilním telefonem pro znázornění reálných barev.

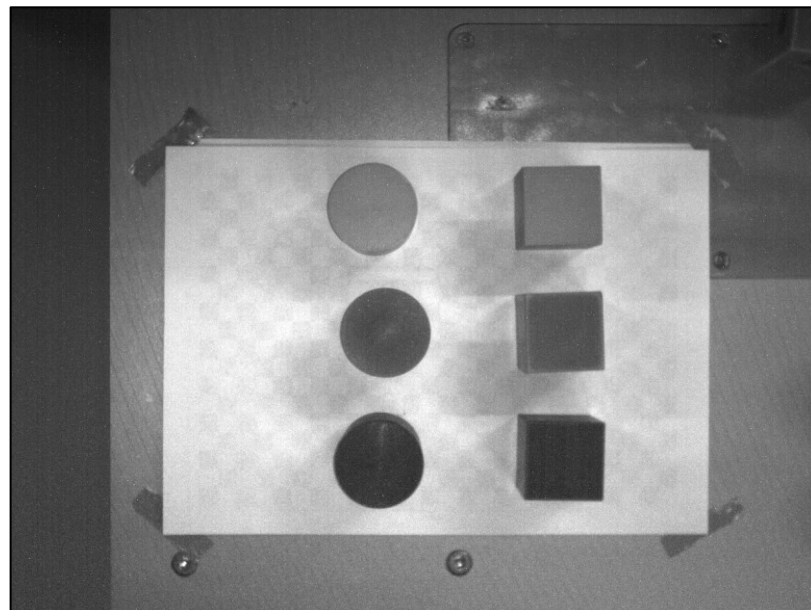


Obrázek 63: Barevné foto válečků

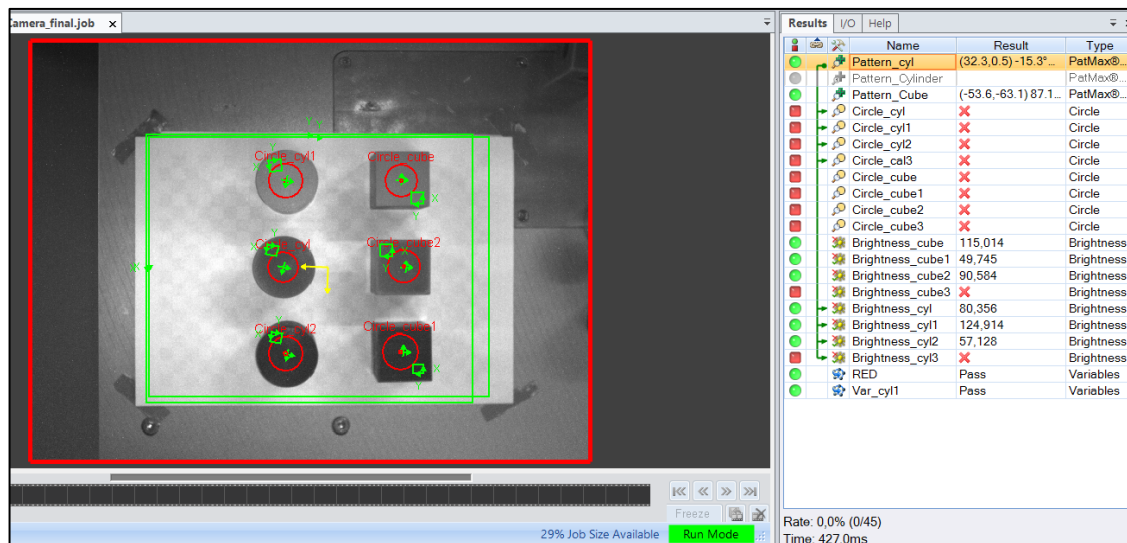


Obrázek 64: Barevné foto kostiček

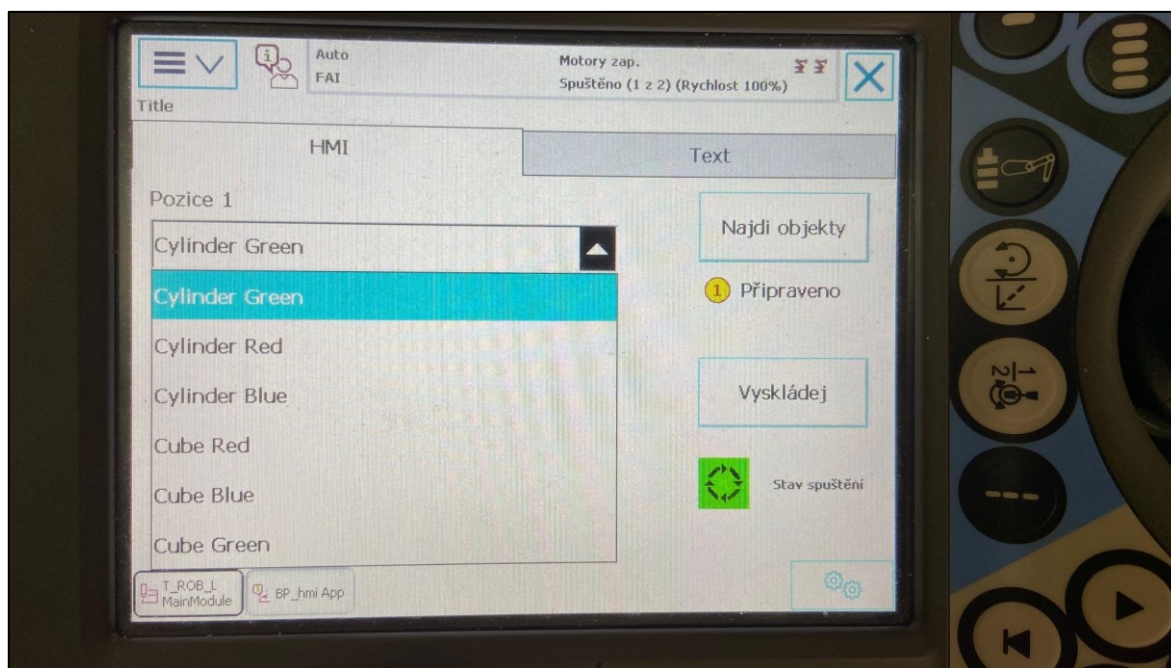
V následujících obrázcích jsou ukázány tyto díly vyfocené černobílou kamerou robota, jejich následná identifikace a výpis dílů v HMI na FlexPendantu.



Obrázek 65: Foto dílů černobílou kamerou robota



Obrázek 66: Identifikace dílů



Obrázek 67: Výpis nalezených dílů v aplikaci HMI ve FlexPendantu

Z Obrázek 65 jsou patrné různé stupně šedé, podle které se následně určovala barva dílu. Díly jsou seřazeny první se shora je červená, druhá je zelená a třetí je modrá.

Přesné rozpoznávání barvy dílů bylo v této aplikaci složité. Při použití černobílé kamery a integrovaného osvětlení není identifikace vždy přesná, jelikož černobílá kamera nesnímá barvy ale pouze stupně šedi. Navíc integrované osvětlení nedokáže ovlivnit okolní světlo, což může mít za příčinu, že osvětlení je nekonzistentní.

Odlesky na dílech také mohou zkreslit barvy, které kamera vidí. Například zelený díl se na kameře může jevit červeně důsledkem odlesku, nebo modře pokud na něj dopadá nějaký stín z okolí.

Tyto nedostatky by se daly vyřešit použitím přídavného osvětlení, „blackboxu“ a polarizačního filtru. Přídavné osvětlení by zajistilo konzistentnost osvětlení, „blackbox“ by odstínil jakýkoliv vliv okolního osvětlení a polarizační filtr by redukoval odlesky dílů, které mohou zkreslit identifikaci barvy. Tímto způsobem by bylo možné dosáhnout co nejvyšší přesnosti a konzistentnosti výsledků.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvoření programu na řízení robota IRB 14000 pro klasifikaci a třídění kusů podle barvy a tvaru zvolených objektů, návrh detekce alespoň tří barev pomocí černobílé kamery, vytvoření pohybového programu robota pro manipulaci se zvolenými objekty a následně vytvoření HMI na ovládacím panelu pro ovládání navržené aplikace, výběru objektů a jejich následné seřazení.

Nejprve byla zvolena vhodná pozice a nastavení kamery umístěné v chapadle robota tak, aby byly rozdíly mezi jednotlivými objekty co nejjednodušeji rozeznatelné. Paralelně s nastavováním kamery se vytvářel identifikační program pro klasifikaci dílů podle jejich barvy a tvaru.

Identifikační program představoval hlavní část práce. Byl vytvořen tak, aby dokázal co nejlépe a nejefektivněji identifikovat, jak už o jaký díl se jedná, zda je v něm díra či nikoliv a následně o jakou barvu dílu se jedná. Program má tu výhodu, že je vytvořen pouze ze tří základních nástrojů a každý z nich má na starosti jeden stupeň identifikace dílu, čímž je jeho modifikace jednoduchá.

Po vytvoření programu řízeného robotem bylo zapotřebí zkalibrovat oblast zájmu kamery. Pro kalibraci bylo nejprve zapotřebí vytvořit nový souřadný systém nástroje. Následně se určily tři body na kalibrační mřížce, díky tomu bylo možné vytvořit nový pracovní souřadný systém robota, pomocí čehož získává robot přesné souřadnice a orientaci nalezených objektů z kamery.

V poslední řadě bylo vytvořeno HMI v ovládacím panelu robota pro ovládání aplikace. Uživatelé mohou snadno řídit celý proces výběru a vyskládání nalezených dílů na jimi zvolené pozice.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HAVLE, Otto. Strojové vidění I: Principy a charakteristiky. Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o. [online]. 2008, 2008(01), 42-44 [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36550.pdf
- [2] Impact of Machine Vision in Manufacturing, 2024. Keyence [online]. [cit. 2024-05-13]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/products/vision/vision-sys/resources/vision-sys-resources/impact-of-machine-vision-in-manufacturing.jsp>
- [3] ZOHDY, Bassem S. M.; MAHMOOD, Mahmood A.; DARWISH, Nagy Ramadan a HEFNY, Hesham A. Machine Vision Application on Science and Industry. Online. In: RIVAS-LOPEZ, Moises; SERGIYENKO, Oleg; FLORES-FUENTES, Wendy a RODRÍGUEZ-QUIÑONEZ, Julio Cesar (ed.). Optoelectronics in Machine Vision-Based Theories and Applications. Advances in Computational Intelligence and Robotics. IGI Global, 2019, s. 233-254. ISBN 9781522557517. Dostupné z: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5751-7.ch008>.
- [4] Strojové vidění, 2016. Mmspektrum [online]. 2016 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/strojove-videni>
- [5] The History Of Machine Vision – Timeline, 2021. Roboticsbiz [online]. 2021 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://roboticsbiz.com/the-history-of-machine-vision-timeline/>
- [6] What are the types of industrial cameras?, 2022. Pomeas [online]. 2022 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.pomeas.com/blog/2022/4/30/what-are-types-industrial-cameras/>
- [7] SUKOP, Marek; HAJDUK, Mikuláš; BALÁŽ, Vladimír; SEMJON, Ján a VAGAŠ, Marek. Increasing Degree of Automation of Production Systems Based on Intelligent Manipulation. Online. Acta Mechanica Slovaca. 2011, roč. 15, č. 4, s. 58-63. ISSN 13352393. Dostupné z: <https://doi.org/10.21496/ams.2011.041>
- [8] COGNEX — THE LEADER IN MACHINE VISION, 2024. Cognex [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/company>
- [9] Cognex [online], 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/>
- [10] Keyence [online], 2024. [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/>

- [11] Superior Performance for Our Customers, 2024. Baslerweb [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.baslerweb.com/en/company/>
- [12] About OMRON, 2024. Omron [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.omron.com/global/en/about/>
- [13] Řízení a kontrola kvality, 2024. Industrial.omron.cz [online]. [cit. 2024-05-20]. Dostupné z: <https://industrial.omron.cz/cs/products/quality-control-inspection>
- [14] HAVLE, Otto, 2008. Strojové vidění IV: Osvětlovače. Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o. [online]. 2008(04), 47-49 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36988.pdf
- [15] Polarizace světla - je důležitá i při výběru osvětlení?, 2023. Silring [online]. 2023 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://silring.cz/blog/polarizace-svetla-je-dulezita-i-pri-vyberu-osvetleni>
- [16] Machine Vision Filter Technology, 2024. HOLLOWS, Gregory a Nicholas JAMES. Edmundoptics [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/machine-vision-filter-technology>
- [17] MACHINE VISION LIGHTING, 2024. Cognex [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/components/lighting>
- [18] Strojové vidění, 2024. Br-automation [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/produkty/strojove-videni/>
- [19] Smart View [online], 2022. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/>
- [20] Br-automation [online], 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.br-automation.com/cs/>
- [21] Společnost ABB koupila firmu B&R, 2017. Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o. [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/spolecnost-abb-koupila-firmu-b-r-2017_04_0_10141/
- [22] Bannerengineering [online], 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.bannerengineering.com/us/en.html>

- [23] HAVLE, Otto, 2008. Strojové vidění II: Úlohy, nástroje a algoritmy. Automa – časopis pro automatizační techniku, s. r. o. [online]. 2008(02), 54-56 [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/36676.pdf
- [24] STROJOVÉ VIDĚNÍ V INSPEKCI A KONTROLE KVALITY, 2020. Esp [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://esp.cz/cs/reseni/vyroba/strojove-videni-inspekce-kontrola-kvality>
- [25] BALÁŽ, Vladimír; VAGAŠ, Marek; SEMJON, Ján a RUSNÁK, Rudolf. Camera Systems of Industrial Robots. Online. Applied Mechanics and Materials. 2016, roč. 844, s. 68-74. ISSN 1662-7482. Dostupné z: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.844.68>
- [26] COGNEX CORPORATION. In-Sight® Explorer Help. Cognex Support [online]. 2019. Dostupné z: https://support.cognex.com/docs/is_574/web/EN/ise/Content/GettingStarted/GettingStarted.htm
- [27] Integrated Vision. Application Manual. 3HAC044251-001. ABB, 2023
- [28] UNIVERSAL ROBOTS [online], 2024. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.universal-robots.com/cs/>
- [29] Kolaborativní roboty – Potenciál automatizace v elektronickém průmyslu, 2020. Oneindustry [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/elektro/kolaborativni-roboty-potencial-automatizace-v-elektronickem-prumyslu/>
- [30] ABB [online], 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://global.abb/group/en>
- [31] KUKA Robotics History, 2024. Robotsdoneright [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://robotsdoneright.com/Articles/kuka-robotic-history.html>
- [32] Universal Robots oslavil na konci roku 2018 10 let od prodeje prvního kolaborativního robota, 2019. Azcasopis [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.azcasopis.cz/automatizace/universal-robots-oslavil-na-konci-roku-2018-10-let-od-prodeje-prvniho-komercne-vyuzitelneho-kolaborativniho-robota>
- [33] KUKA [online], 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>
- [34] FANUC [online], 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs>

- [35] Doosan Robotics [online], 2024. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.doosanrobotics.com/en/Index>
- [36] TECHMAN ROBOT [online], 2019. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://www.tm-robot.com/en/>
- [37] ČSN EN ISO 10218-2 (186502) Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace, 2011. Technicke-normy-csn [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-en-iso-10218-2-186502-169347.html#>
- [38] What are the 4 Types of Collaborative Robots?, 2019. Automate [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.automate.org/robotics/blogs/what-are-the-4-types-of-collaborative-robots>
- [39] YuMi - IRB 14000, 2024. New.abb.com [online]. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/roboty/kolaborativni-roboty/yumi/yumi>
- [40] EasyBuilder Help [online], 2020. [cit. 2024-05-17]. Dostupné z: https://support.cognex.com/docs/is_621/web/EN/ezb/Content/EasyBuilder/Connect_Home.htm
- [41] HMI: Human-Machine Interface, 2018. Inductiveautomation [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>
- [42] A Complete Guide To HMIs: What Are They, Types And Uses, 2021. COPE, Liam. Engineerfix [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://engineerfix.com/electrical/hmis/what-is-a-hmi-and-where-are-they-used/>
- [43] HMI – Human Machine Interface: Manufacturing Explained, 2024. SAPOT, Bryan. Mingsmartfactory [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://www.mingsmartfactory.com/hmi-human-machine-interface-manufacturing-explained/>
- [44] HMI – CO ZNAMENÁ ZKRATKA HMI A KDE SE VYUŽÍVÁ?, 2024. Blog.elvac.eu [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://blog.elvac.eu/clanky/co-znamena-hmi/>
- [45] What is a Human Machine Interface (HMI)? Types, Advantages, 2023. Automationcommunity [online]. [cit. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://automationcommunity.com/human-machine-interface/>

[46] ABB. Product manual IRB 14000 gripper, 2021. 3HAC054949-001, Rev. M

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HMI	Human Machine Interface
GUI	Graphical User Interface
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
LED	Light-Emiting Diode
OCR	Optical Character Recognition
ID	Identity Management
Kobot	Kolaborativní robot
NC	Numeric Control
CNC	Computer Numeric Control
FTP	File Transfer Protocol
QR	Quick Read
DMC	Data Matrix Code
TCP	Tool Center Point
VGR	Vision Guided Robotics
PLC	Programmable Logic Controller
IAD	Intelligent Assist Device

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Logo společnosti Cognex [8]	13
Obrázek 2: Kamera Cognex In-Sight 8000 řada [8]	14
Obrázek 3: Logo společnosti Keyence [10].....	14
Obrázek 4: Kamerový systém Keyence s umělou inteligencí řady VS [10]	14
Obrázek 5: Logo společnosti Basler [11]	15
Obrázek 6: Kamera Basler ace 2 X [11]	15
Obrázek 7: Logo společnosti OMRON [12].....	16
Obrázek 8: Kamera OMRON FH-SMX03 [13]	16
Obrázek 9: Zadní podsvícení [17]	17
Obrázek 10: Pruhové osvětlení [17]	18
Obrázek 11: Dark-field osvětlení [17]	18
Obrázek 12: Koaxiální osvětlení [17]	19
Obrázek 13: Kopulové osvětlení [17]	19
Obrázek 14: Kruhové osvětlení [17].....	20
Obrázek 15: Adaptivní osvětlení [18].....	20
Obrázek 16: Logo Smart View s. r. o. [19].....	21
Obrázek 17: Kruhový osvětlovač firmy Smart View [19].....	21
Obrázek 18: Logo Společnosti B&R Industrial Automation [20]	22
Obrázek 19: Inteligentní osvětlení společnosti B&R [20].....	22
Obrázek 20: Logo společnosti Banner Engineering [22].....	22
Obrázek 21: Osvětlení Banner Engineering řady WLA [22]	23
Obrázek 22: Příklad špatného nanesení těsnícího tmelu [23].....	24
Obrázek 23: Inspekce balíčku kapesníků [9]	24
Obrázek 24: Čtení QR a DMC kódů [9]	25
Obrázek 25: Rozpoznávání barev [9]	26
Obrázek 26: Kamera pro plošné snímání (vlevo) a kamera pro řádkové snímání (vpravo) [9].....	27
Obrázek 27: Ukázka kolaborativního robota v průmyslu [29]	29
Obrázek 28: Kolaborativní robot UR5 [32].....	30
Obrázek 29: Logo společnosti ABB [30]	31
Obrázek 30: Kolaborativní robot CRB 15000 GoFa [30].....	32
Obrázek 31: Logo společnosti KUKA [33]	32
Obrázek 32: Kolaborativní robot LBR iisy 3 R760 [33]	33
Obrázek 33: Logo společnosti Universal Robots [28].....	33

Obrázek 34: Kolaborativní robot UR30 [28]	34
Obrázek 35: Kolaborativní robot CRX-10iA [34]	35
Obrázek 36: Logo společnosti FANUC [34]	35
Obrázek 37: Kolaborativní robot E0509 [35]	36
Obrázek 38: Logo Společnosti Doosan Robotics [35].....	36
Obrázek 39: Kolaborativní robot TM25S [36]	37
Obrázek 40: Logo společnosti Techman Robot [36]	37
Obrázek 41: Kolaborativní robot IRB 14000 YUMI [39]	39
Obrázek 42: Pohled zepředu na IRB 14000 [39]	41
Obrázek 43: Pohled shora na IRB 14000 [39]	42
Obrázek 44: Pohled z boku na IRB 14000 [39]	42
Obrázek 45: Rozměry kamery Cognex AE3 [46].....	50
Obrázek 46: Fotící pozice kamery	51
Obrázek 47: Softwarové nastavení kamery v Integrated Vision	52
Obrázek 48: Kalibrační mřížka	53
Obrázek 49: Kalibrace kamery v Integrated Vision	53
Obrázek 50: Definice souřadného systému nástroje špičkami dvou kuželů.....	54
Obrázek 51: Definice pracovního souřadného systému pomocí špičky kužele nového souřadného systému nástroje	55
Obrázek 52: Body pro definici pracovního souřadného systému	56
Obrázek 53: Nastavení nástroje PatMax® Patterns (1–10) pro kostičku	56
Obrázek 54: Nastavení nástroje PatMax® Patterns (1–10) pro váleček.....	57
Obrázek 55: Ukázka fixace nástrojů „Circle“ a „Brightness“	57
Obrázek 56: Výpis hodnot nástrojů „Circle“ a „Brightness“ z nalezených dílů	58
Obrázek 57: Ukázka tabulek ve vývojovém prostředí Spreadsheet	59
Obrázek 58: Ukázka uložení hodnot ze Spreadsheet do nových názvů dílů	60
Obrázek 59: Zjednodušený vývojový diagram programu	61
Obrázek 60: Ukázka aplikace HMI zobrazená ve FlexPendantu	62
Obrázek 61: Foto dílů	63
Obrázek 62: Foto dílů s použitím identifikačního programu.....	64
Obrázek 63: Barevné foto válečků.....	64
Obrázek 64: Barevné foto kostiček.....	65
Obrázek 65: Foto dílů černobílou kamerou robota	65
Obrázek 66: Identifikace dílů	66
Obrázek 67: Výpis nalezených dílů v aplikaci HMI ve FlexPendantu.....	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Tabulka os robota IRB 14000 [39]	40
Tabulka 2: Tabulka vlastností robota IRB 14000 [39]	41