VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2021 Bc. Viktor Hons

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

DETEKCE VAD S VYUŽITÍM SMART KAMERY
DEFECT DETECTION USING SMART CAMERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Viktor Hons**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Peter Honec, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Viktor Hons ***ID:*** 191783

Ročník: 2 ***Akademický rok:*** 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Detekce vad s využitím smart kamery

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je využití smart kamery pro základní úlohy detekce vad nebo objektů ve scéně.

1. Seznamte se se základy zpracování obrazu, detekcí a rozpoznáním objektů ve scéně.
2. Proveďte rešerši smart kamer dostupných na trhu.
3. Ve spolupráci se školitelem zvolte vhodnou úlohu a typ smart kamery.
4. Sestrojte pracoviště pro snímání (kamera, optika, osvětlení…).
5. Otestujte smart kameru pro definovanou úlohu, otestujte různé nastavení a najděte optimální konfiguraci.
6. Zhodnoťte spolehlivost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

HLAVAC V., SONKA M., BOYLE R.: Image Processing, Analysis, and Machine Vision, ISBN 978-0495082521

Termín zadání: 8.2.2021 ***Termín odevzdání:*** 17.5.2021

Vedoucí práce: Ing. Peter Honec, Ph.D.

doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:
Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá využitím inteligentních (smart) kamer a ověřením jejich funkcí. V první části je definován pojem inteligentní kamera, jsou představeny její jednotlivé části a nejběžnější aplikace. Dále je zpracována rešerše trhu s inteligentními kamerami od různých výrobců. Po výběru vhodného modelu kamery jsou určeny tři úlohy z reálné průmyslové aplikace - kontrola potisku kondenzátoru, kontrola potisku pivních etiket a měření rozměrů. S vybranou kamerou je provedeno řešení úloh včetně rozvržení pracoviště, scény a osvětlení. Dále je otestována spolehlivost, úspěšnost a také rychlost vytvořeného řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Inteligentní kamera, měření rozměrů, OCR, kontrola potisku, kontrola etiket, rozpoznání textu

ABSTRACT

This thesis deals with the application of smart cameras and verification of its functions. In the first part the term smart camera is defined, the parts of it and the most common applications are presented. A review of smart cameras from the different manufactures on the market is made. After selection of the proper camera model three task from real industrial application are specified – inspection of capacitor print, inspection of beer label and dimension measurement. With the picked camera the tasks are performed, including the layout of workplace, scene and lighting. Further the reliability is tested together with the successfulness and the speed of designed solution.

KEYWORDS

Smart camera, dimension measurement, OCR, print inspection, label inspection, text recognition

Vysázeno pomocí balíčku `thesis` verze 4.03; `http://latex.feec.vutbr.cz`

HONS, Viktor. *Detekce vad s využitím smart kamery*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2021, 88 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Peter Honec, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora:	Bc. Viktor Hons
VUT ID autora:	191783
Typ práce:	Diplomová práce
Akademický rok:	2020/21
Téma závěrečné práce:	Detekce vad s využitím smart kamery

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno ....

podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mojí diplomové práce panu Ing. Peteru Honecovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále firmě AJP - tech spol. s r.o. za zapůjčení inteligentní kamery Baumer a v neposlední řadě firmě CAMEA spol. s r. o. za vzorky pro kontrolu.

Obsah

Úvod **12**

1 Teoretický úvod **14**
1.1 Smart kamery 14
1.1.1 Části smart kamery 15
1.2 Běžné aplikace vhodné pro smart kamery 19

2 Průzkum trhu s inteligentními kamerami **20**
2.1 Dostupné kamery na trhu 20
2.2 Sick 20
2.3 ifm electronic 22
2.4 Cognex 23
2.5 Matrix Vision 24
2.6 Baumer 25
2.7 Keyence 26
2.8 National Instruments 28
2.9 Ovládací software pro inteligentní kamery 29
2.10 Závěr průzkumu trhu s inteligentními kamerami 29

3 Kamery Baumer **31**
3.1 Číselné označení modelů kamer Baumer 32
3.1.1 Ukázka možné kombinace kódu kamer Baumer 33
3.2 Baumer řada XC a XF 33
3.3 Kamera Baumer VS XC200M20X00EP 34
3.4 VeriSens Application Suite 35
3.4.1 Karty nastavení 35
3.4.2 Další nastavení kamery 38
3.4.3 Nápověda programu 39

4 Prvotní spuštění smart kamery **40**
4.1 Upevnění kamery a propojení s PC 40
4.2 Ověření funkčnosti kamery, komunikace s VeriSens Application Suite a vytvoření základní aplikace v tomto programu 41
4.2.1 Nastavení kamery, snímaného obrazu a rozložení scény. Testovací objekty 42

5 Demonstrační úlohy s využitím smart kamery 44
5.1 Kontrola potisku kondenzátorů 44
5.1.1 Nastavení obrazu a prvků kontroly vlastností 46
5.1.2 Nastavení komunikace 53
5.1.3 Ověření funkčnosti aplikace a vyhodnocení úspěšnosti jednotlivých programových částí, vyhodnocení rychlosti 55
5.2 Kontrola správnosti a kvality potisku data a výrobní šarže na pivních etiketách 59
5.2.1 Čárové kódy 61
5.2.2 Nastavení obrazu a prvků kontroly vlastností 63
5.2.3 Nastavení komunikace 67
5.2.4 Vady na etiketách 68
5.2.5 Vyhodnocení úspěšnosti jednotlivých programových částí, vyhodnocení rychlosti 69
5.3 Kontrola rozměrů dílů 72
5.3.1 Návrh dílu pro kontrolu, sestavené pracoviště 72
5.3.2 Nastavení obrazu a prvků kontroly 74
5.3.3 Vyhodnocení úspěšnosti jednotlivých programových částí, vyhodnocení rychlosti 78

Závěr 80

Literatura 82

Seznam symbolů a zkratek 87

A Obsah přiloženého DVD 88

Seznam obrázků

1.1 Ukázka modelu inteligentní kamery. 14
1.2 Základní části inteligentní kamery. 15
1.3 Blokové schéma smart kamery. 16
2.1 Keyence CV-X. 27
3.1 Číselné označení kamer Baumer. 32
3.2 Ukázka smart kamery od firmy Baumer. Řada VeriSens XC a VeriSens XF. 34
3.3 Základní obrazovka programu VeriSens Application Suite. 36
4.1 Vytvořený držák pro upevnění kamery. 40
4.2 Kamera Baumer upevněná v držáku. 41
4.3 Papírové testovací objekty s číselným označením. 42
4.4 Vytvoření a porovnávání modelu s aktuálním snímkem kamery. 43
5.1 Ukázka testovaných SMD kondenzátorů. 45
5.2 SMD kondenzátor porovnaný s referenčním modelem. 48
5.3 Identifikace hodnoty kapacity a doplňkového symbolu. 50
5.4 Porovnání fotografie pořízené fotoaparátem a fotografie pořízené kamerou Baumer. 51
5.5 Ukázky různých vad na kondenzátoru. 52
5.6 Vada potisku kondenzátoru a její nalezení pomocí funkce „Count areas“. 52
5.7 Ukázka nastavení a formátu výstupní komunikace při kontrole kondenzátoru. 53
5.8 Okno nástroje „Process interface assistant“ se zapnutým simulovaným PLC. 54
5.9 Ukázka statistiky z testovacího nástroje. Prvek hledání dílu v obraze. 56
5.10 Ukázka části tabulky pro vyhodnocení kontroly kondenzátorů. 57
5.11 Detail oblasti zájmu - datum, číslo šarže, čas a čárový kód. 60
5.12 Část pivních lahví použitých pro vytvoření datasetu. 61
5.13 Ukázka čárových kódů typů EAN8 a EAN13. 62
5.14 Určení polohy na základě textu vytištěného na lahvi. Míra shody 84%. 64
5.15 Porovnání stejného numerického znaku ze dvou různých lahví. 66
5.16 Láhev s defektem etikety a chybně určeným datem spotřeby. 69
5.17 Chybně určené kontroly vlastností. 71
5.18 Navrhnutý díl pro kontrolu rozměrů. 72
5.19 Pracoviště s umístěnou kamerou a zapnutým spodním osvětlením pro kontrolu rozměrů dílu. 74
5.20 Ukázka pořízeného snímku pro kontrolu rozměrů dílu. 75

5.21 Ukázka porovnání aktuálního dílu s naučeným modelem. Ukázka měřeného dílu. 77

Seznam tabulek

2.1 Přehled modelů inteligentních kamer řady Inspector od firmy SICK . 21
2.2 Porovnání základních vlastností smart kamer, vhodných pro univerzální použití. 30
3.1 Přehled řad Baumer. 31
3.2 Přehled zástupných symbolů a voleb pro kamery Baumer. 33
3.3 Řady Baumer XC a XF 34
5.1 Přehled zástupných symbolů pro identifikaci textu pomocí masky. . . 49
5.2 Tabulka úspěšně určených kontrol vlastností u kondenzátoru. 58
5.3 Srovnání rychlostí pro jednotlivé části identifikace kondenzátoru a jeho potisku. 59
5.4 Srovnání rychlostí pro jednotlivé části identifikace pivních etiket. . . . 70
5.5 Tabulka úspěšnosti kontroly etiket na pivních lahvích. 71
5.6 Část vytvořených dílů pro kontrolu a jejich rozměry. 73
5.7 Porovnání změřených rozměrů dílu pomocí posuvného měřidla a kamery 79
5.8 Rychlosti jednotlivých částí rozpoznání rozměrů dílu. 79

Úvod

Tato diplomová práce řeší téma smart (inteligentních) kamer. Zařízení s tímto názvem slučují do jednoho těla části potřebné pro pořízení obrazu a jeho vyhodnocení. Cílem bude provést průzkum trhu s těmito kamerami, zvolit vhodný model a dále na vybrané úloze ověřit parametry a funkčnost vybraného modelu a provedeného řešení.

Motivací této práce je ověřit, za jakých podmínek a s jakými výsledky může být smart kamera náhradou konvenčního řešení typických průmyslových úloh, které mají 2 zásadní nevýhody – cenu a dobu na prototypování. Ta často vezme i několik týdnů od nasnímání vzorků po vytvoření funkčních algoritmů nasaditelných pro průmyslovou kontrolu. Použití smart kamery pro vhodné úlohy tuto dobu může velmi zkrátit.

Tato motivace také vedla k volbě tří typických úloh, které jsou dnes v oblasti kamerové kontroly řešeny konvenčními kamerami a jednoúčelovými algoritmy psanými na míru dané úloze.

V teoretické části bude vhodné vymezit pojem smart kamera a popsat rozdíly oproti tradiční kameře s připojeným externím hardwarem. Přístroje se vnitřně skládají z několika částí a tomuto dělení bude odpovídat struktura práce. O každém sektoru kamery budou sepsány základní informace doplněné celkovým blokovým schématem kamery. Oblast průmyslového vidění je velmi široká a ne všechny úlohy jsou proveditelné s pomocí smart kamery, z tohoto důvodu bude jedna podkapitola věnována běžným aplikacím pro inteligentní kameru.

Vlastní práci se smart kamerou bude předcházet průzkum trhu a zpracování rešerše s dostupnými modely na trhu. Zahrnuti budou největší a neznámější výrobci. Snaha bude shrnout základní parametry a možnosti modelů kamer od těchto producentů. Po provedeném přehledu portfolia bude vybrán model s nejvhodnějšími (nejuniverzálnějšími) parametry a v další části průzkumu trhu budou porovnány modely jednotlivých výrobců. Ke kameře je nutný ovládací software, proto bude v rešerši také zmíněn.

Po výběru modelu kamery budou sepsány podrobnější technické informace a možnosti vybraného modelu. Nedílnou součástí kamery je program pro nastavování získávání obrazu a kontrol vlastností. Tedy budou představeny jeho hlavní možnosti, funkce a základní způsob ovládání (nastavování). Po fyzickém získání kamery bude následovat prvotní spuštění, ověření funkčnosti komunikace kamery a ovládacího počítače, respektive programu pro kontrolu kamery. Bude vytvořena prvotní jednoduchá úloha, která má za cíl vytvořit základní přehled o parametrech nastavení, jejich rozsahu a funkci. Po první testovací úloze bude přistoupeno k řešení konkrétní úlohy z průmyslového provozu, která je v současnosti provedena s pomocí

standardního řešení. Snahou bude vyzkoušet alternativní řešení se smart kamerou.

Kamera bude muset být vybavena objektivem a usazena do vytvořeného držáku tak, aby náležitě pokrývala potřebný pracovní prostor. Soustavu kamery s objektivem bude pravděpodobně nutné doplnit osvětlením, pokud jím již nebude vybavena přímo kamera. Programování bude probíhat přes výrobcem dodaný SW. Úkolem části řešení úlohy bude nalézt nejoptimálnější parametry pro všechna nastavení tak, aby byla dosažena maximální možná úspěšnost. Tímto postupem by se mohly ukázat nedostatky koncepce inteligentní kamery - například omezení funkcí dodaného programu, rozsahu parametrů a další.

Poslední kapitola u provedené úlohy bude věnována vyhodnocení parametrů vytvořeného řešení. Jako ukazatele kvality řešení bude možné uvést především celkovou úspěšnost rozpoznání vlastností, dále maximální možnou rychlost vyhodnocování, ale také parametry jako náročnost programování, zapojení systému a jiné.

1 Teoretický úvod

Podkapitoly v této teoretické části se zabývají nejprve obecně smart kamerami, jejich specifikacemi, parametry, vlastnostmi a možnostmi použití. Dále následuje průzkum trhu pro výběr vhodných variant kamery pro testovací aplikace. Představeni jsou výrobci a řady jejich výrobků, které odpovídají definici smart kamery.

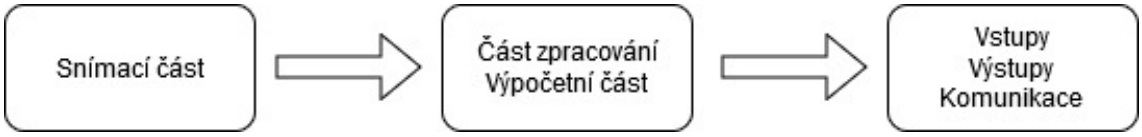
1.1 Smart kamery

V době miniaturizace jednočipových počítačů, kamerových snímačů a dalších součástek může dojít k integraci všech komponent pro snímání a zpracování obrazu, spolu s potřebným hardwarem pro komunikaci, do jednoho celku. Díky těmto krokům mohly vzniknout inteligentní (smart) kamery. Celkově bylo snahou vytvořit integrovaný přístroj, který by se velikostí podobal tradičním kamerám, ale dokázal sám, bez připojení dalšího externího PC, snímat a vyhodnocovat obraz. Spojení všech potřebných komponent do jednoho celku má za následek úsporu místa, zjednodušení zapojení systému, tedy snížení počtu zařízení a také menší nároky na programátora (designéra systému). Smart kamery většina výrobců dodává se softwarem, který slouží nejen pro nastavení kamery, ale také pro kontrolu vlastností snímaného objektu, jako je například vyhledávání objektů, kontrola rozměrů, kontrola počtu výrobků nebo rozpoznávání písma a kontrola jeho kvality. Podle informací výrobců tyto programy zpřístupňují metody počítačového vidění i lidem bez znalostí programování nebo metod rozpoznávání obrazu.

Obr. 1.1: Ukázka modelu inteligentní kamery od firmy MatrixVision model BlueGEMINI [1].

1.1.1 Části smart kamery

Smart kameru můžeme vnitřně rozdělit na několik částí (obrázky 1.2 a 1.3), následující kapitoly je popisují. Obraz je nejprve nasnímán čipem a převeden do digitální podoby. Obrazová data jsou dále předána části pro zpracování obrazu, kde je možné provést základní úpravy obrazu. Zpracování dále pokračuje tak, aby byly vykonány nastavené operace a kamera vyhodnotila pořízený obraz. Kamera výsledek operací provedených nad obrazem odešle na své výstupy. Dostupné výstupy se liší podle výrobce a modelu, ale často se jedná o digitální výstupy, grafické výstupy jako LED diody, displej nebo může být výsledek odeslán jako zpráva přes komunikační protokol, případně je možná kombinace těchto možností. Kamera komunikuje s centrálním řídícím systémem, odesílá stavová hlášení a může být nastavována. Možností je také ukládání obrazů chybných výrobků nebo statistik. Vstupně výstupní část slouží jako HMI (human machine interface), tedy jako rozhraní mezi člověkem a strojem. Přes toto rozhraní, které je zprostředkováno nejčastěji pomocí PC, může být kamera nastavována.



Obr. 1.2: Základní části inteligentní kamery.

Vstupní část - optická soustava, osvětlení

Charakteristickou vlastností inteligentních kamer je integrace součástí do jednoho těla, ovšem každý výrobce může mít svoje vlastní pojetí. Na trhu se objevují kamery v různých konfiguracích a kombinacích integrovaných součástí. Neexistuje přesná charakteristika pojmu smart kamera a například výrobce Keyence označuje jako smart kamery také zařízení, kdy jsou kamera a jednotka pro zpracování zvlášť [21], viz kapitola 2.7. Nejčastěji se však jedná o následující možné kombinace variant:

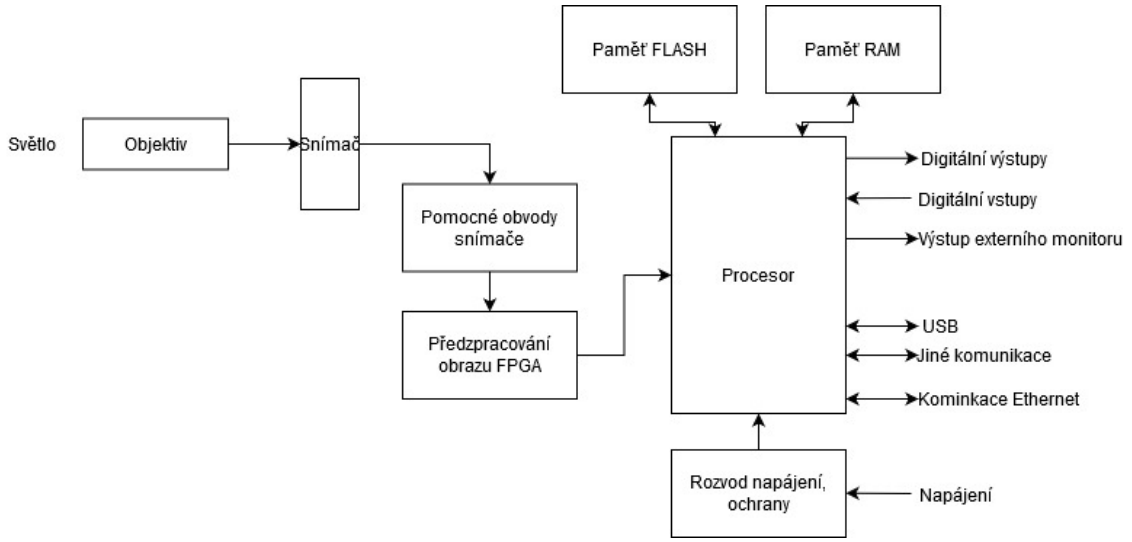
- s integrovaným objektivem i osvětlením
- s objektivem a bez osvětlení
- bez pevného objektivu i bez zabudovaného osvětlení

V případě integrovaného objektivu nabízí výrobci různé rozsahy ohniskových vzdáleností a různé parametry. Lze tedy vybrat kameru, která je vhodná pro určenou aplikaci, ovšem tato možnost ubírá kameře na univerzálnosti. Mezi nejčastější typy objektivů patří standardní, široký a teleobjektiv [29]. Pokud výrobce zvolil

variantu vyměnitelného objektivu, je to především z důvodu variability kamery. Zákazník si zakoupí objektiv, který má ideální parametry pro určenou aplikaci. Běžné je upevnění objektivu za pomoci upevnění typu S-mount nebo C-mount [19], [13], [17].

Při verzi s integrovaným osvětlením jsou nejčastějším zdrojem LED diody, a to buď v bílé barvě viditelného světla nebo s infračerveným spektrem. Dalšími běžně užívanými barvami jsou ve viditelném spektru červená a modrá [3], [17], [19]. V případě, kdy osvětlení není přímo integrováno do kamery, slouží pro připojení externího osvětlení digitální výstup, který synchronizuje osvětlení s kamerou, nebo integrovaný světelný kontrolér [19].

Osvětlení je nejlepší volit tak, aby co nejvíce zesilovalo vlastnosti předmětu, které nás zajímají, a potlačovalo rušivé elementy z okolí. Tedy pro každou aplikaci je nutné zvolit vhodný typ osvětlení. Kritérií pro výběr může být několik. Po zvolení správného zdroje světla přichází na řadu vybrat také správné umístění zdroje světla a jeho polohy vůči kameře. Základní možnosti umístění osvětlení jsou následující: horní, boční a spodní umístění (bráno vzhledem ke kameře).



Obr. 1.3: Blokové schéma smart kamery.

Část snímání

Tato část má za úkol zaznamenat dopadající světlo, které prochází přes optickou soustavu (objektiv) a dále do těla přístroje až ke snímači. Pro co nejlepší výsledek je vhodné využít pomocné nástroje, které zvýší čitelnost a využitelnost informací na snímku. K tomuto účelu se hodí především osvětlení, vhodný objektiv, případně různé filtry (například polarizační nebo barevné) a další. Přes ovládací program ke

smart kamerám je možné nastavovat například expoziční čas, aktivovat osvětlení a podobně.

Základ snímací části je tvořen obrazovým snímačem, nejčastěji typu CCD nebo CMOS. Oba dva typy mají určité výhody a nevýhody. V hotových produktech (smart kamerách) jednotlivých firem většinou není na výběr a často není technologie snímače v základní dokumentaci uváděna. Rozvržení pixelů na snímači je nejčastěji maticové, ale objevují se také řádkové kamery [26], [29]. Ve smart kamerách je čip součástí celého výrobku, a proto není nutné pro programátora znát detaily ohledně problematiky čtení dat z čipu.

Jednotlivé čipy se liší i počtem pixelů, tedy rozlišením. Nejběžnější rozsahy rozlišení zaplňují rozmezí od VGA (640*480 pixelů, 0,31 mega pixelů [19]) až po 21 mega pixelů (Kayence, kamera řady CV-X [21]). Barevné spektrum snímače se nabízí ve dvou variantách. Na trhu najdeme jak monochromatické, tak barevné snímače. Rozdíl v čipech kamer může být nejen mezi výrobci, ale také v nabídce jednoho výrobce. V nabídce několika firem je možné vybírat u jednoho modelu kamery různé rozlišení tak, aby bylo vhodné pro určitou aplikaci. Jedním z nejčastějších parametrů pro výběr je poměr cena/výkon. Tedy je nutné zvážit, jak vysoké rozlišení bude třeba, jelikož s rozlišením roste cena.

Část zpracování

Zpracování obrazu má za úkol nasnímaný obraz upravit a získat informace o bodech zájmu. V této části je také zahrnut cyklus rozhodování a výpočtů nad pořízeným obrazem podle předem nastavených kontrol vlastností a jejich vyhodnocení. Příkladem je počítání předmětů, rozpoznání textu nebo kontrola rozměrů. Ve většině ovládacích softwarů jde nastavit kombinace těchto kontrol a výsledkem, který je zrcadlen na výstupy, je vyhodnocení dílu jako dobrý nebo špatný.

Základem části zpracování je procesor. Každý výrobce kamery volí jiného dodavatele, jiný typ a výkon procesoru. Procesory mohou být typu DSP (digitální signálový procesor), typu FPGA (programovatelné hradlové pole) a možné jsou také kombinace procesoru a koprocesoru. Časté jsou procesory od firmy Intel (kamery výrobce National Instruments [24]), další výrobci kamer neudávají typ a ani producenta procesoru. Společnou doménou všech instalovaných procesorů je schopnost rychle zpracovat relativně velké množství dat, které průběžně „protéká“ procesorem.

V nižší úrovni zpracování se nachází oblast předzpracování a segmentace [33]. Uživatel v ní pomocí softwaru pro ovládání kamery může například otočit obraz, upravit jas, aktivovat různé typy filtrů a korekcí. V tomto případě záleží na výrobci, které funkce implementovat do SW, respektive kamery. V další části obraz postoupí do segmentace, jejímž výsledkem je binární obraz, který obsahuje body

zájmu, například hrany a rohy objektů.

Vyšší úroveň zpracování umožňuje vyhledávat v obraze objekty, rozpoznávat je nebo měřit jejich rozměry. Samostatnou kapitolou je funkce OCR, která je vhodná pro rozpoznání a čtení textu, ale i 1D a 2D kódů [33].

Aby mohla kamera správně fungovat, je nutné nastavení, data a volby kontrol vlastností ukládat. K tomuto účelu slouží paměť flash. Paměť může být integrovaná nebo někteří výrobci volí možnost paměťové karty (nejčastěji typ SD). Třetí možností je ukládání a čtení ze síťového úložiště. Výhodou tohoto řešení je možnost ukládání většího množství dat a rychlejšího přístupu. Příkladem může být sbírání dat a fotografií u NOK (špatných) výrobků pro pozdější analýzu.

Vstupy, výstupy, komunikace

Pro komunikaci s okolními zařízeními a lidmi slouží vstupy a výstupy kamery. Budou zde zmíněny typy vstupů a výstupů, které jsou nejčastěji používané. Přesto je trh velmi rozmanitý a někteří výrobci integrují také další typy komunikací.

Jedno z nejběžnějších rozhraní kamery je typu LAN. Pro zakončení je použito buď klasického konektoru RJ-45 nebo jiný typ konektoru, například konektor M12. Tento nabízí vyšší mechanickou odolnost a možnost lepšího krytí proti prachu a vodě a v průmyslovém odvětví je častější. Výrobci integrují také kompatibilitu s komunikačními protokoly EtherenetIP, PROFINET nebo Modbus TCP. Ve výbavě některých dalších modelů najdeme sériovou linku RS-232. Pokud se jedná o integraci kamery, do již hotového systému je vhodné ověřit, zda-li kamera umí požadovaný typ komunikace.

Smart kamery ve většině případů nabízejí vstupy a výstupy různého typu. Příkladem mohou být digitální vstupy a výstupy. Pro získání informací z okolí kamery slouží digitální vstupy. Využít je lze například pro přepnutí funkce kamery, výběru nastaveného programu nebo jako externí spouštěč, který má za úkol synchronizovat pořizování obrázku s okolím (např. výrobní linkou). Tento vstup může být propojen s čidlem, řídicím systémem atd. Co se týče výstupních konektorů (digitálního typu), ty lze nastavit pro synchronizaci s pořizováním obrazu a předávat tak dalším zařízením informaci, že se obrázek zrovna pořizuje nebo že je již uložen a je dokončena jeho kontrola. Využití najde například jako spoušť externího osvětlení.

Ke kontrole stavu kamery a informací ohledně kontrolovaného výrobku mohou sloužit informační LED diody. Firma COGNEX u své řady D900 nabízí LED proužek, který signalizuje dobrý a vadný výrobek [16]. Jiní výrobci integrují například segmentový displej nebo proužek z LED diod, který funguje jako sloupcový ukazatel [7].

Žádná kamera by se neobešla bez napájení. Přívod energie je často integrován

do konektoru spolu s vstupy a výstupy. Napájecí napětí si musí uživatel zjistit z dodaného katalogového listu.

1.2 Běžné aplikace vhodné pro smart kamery

Jedna z výhod inteligentních kamer je její univerzální použití a také rychlost, s jakou se dá kamera připravit pro jinou aplikaci. Díky jednoduchému způsobu nastavení lze použít kameru pro nový úkol [32]. Také výrobci kamer vytváří své výrobky a ovládací software tak, aby změna aplikace kamery byla velmi rychlá a co nejjednodušší. Výhodné je spojení více kontrolních úkonů pro jeden typ inteligentní kamery. Příkladem může být plnění skleněných lahví, kdy smart kamera zkontroluje stav lahve před plněním, správnou výšku hladiny po naplnění a dobře usazený uzávěr kovovým víčkem. Kamera dále může zkontrolovat korektní nalepení etikety s odpovídajícím textem. Všechny tyto operace mohou být prováděny v jednom kroku, téměř okamžitě po příslušné akci. [31]. V následujícím výčtu jsou naznačeny možné a běžné oblasti použití. Výběr kamery je přesto nutné přizpůsobit požadované úloze a mít definované vlastnosti, kterými musí kamera disponovat.

Některé běžné typy použití inteligentních kamer:

- Kontrola geometrických rozměrů
- Detekce přítomnosti, typu objektu
- Kontrola počtu výrobků
- Kontrola kvality povrchu
- Rozpoznávání textu (OCR), kontrola kvality textu
- Rozpoznávání 1D a 2D kódů
- Rozpoznání polohy objektu a jeho natočení
- Navádění robota

Inteligentní kamery jsou omezeny především softwarem. Někteří výrobci kamer umožňují podporu knihoven pro běžné programovací jazyky (například C, C++) a uživatel si naprogramuje celý algoritmus sám. Tímto způsobem je aplikace kamery omezena schopnostmi programátora, ovšem zpomaluje proces přípravy kamery pro daný úkol. Pro využití základní myšlenky a plného potenciálu smart kamer využívá programátor dodávaný software, který je vytvořen jako grafická aplikace pro ovládací PC. Programátor nastaví předpřipravené nástroje a určí jim pravidla chování, výsledkem inspekčního procesu je nejčastěji informace, zda obraz prošel úspěšně či nikoliv.

2 Průzkum trhu s inteligentními kamerami

V současnosti se na trhu objevuje velké množství inteligentních (smart) průmyslových kamer různých parametrů a různých výrobců. Tato kapitola se zabývá srovnáním aktuálně vyráběných kamer od jednotlivých producentů. Jsou porovnávány ať už technické parametry (objektiv, snímač, komunikační rozhraní,...), ale také podpora od výrobce a též zda a jaký je dodávaný SW pro obsluhu kamery. Důraz je kladen především na co největší univerzálnost kamery. Pro ceny jednotlivých modelů kamer je téměř vždy nutné oslovit konkrétního prodejce, distributora nebo výrobce, jelikož ceny nejsou volně přístupné. Z tohoto důvodu byl následující přehled modelových řad zpracován bez ohledu na ceny výrobků. Od každého výrobce byl vybrán jeden model kamery s vhodnými parametry smart kamery. Jedná se pouze o jednoho zástupce často velmi rozsáhlého portfolia modelů a v případě potřeby je s velkou pravděpodobností možné najít jiný model s lehce odlišnými parametry, například jiným typem objektivu, komunikace nebo rozlišení či typu snímače.

2.1 Dostupné kamery na trhu

Tato rešerše se zabývá některými typy inteligentních kamer na celosvětovém trhu. Ve výběru není uvažována dostupnost v České republice. Přesto většina ze zmíněných producentů má zastoupení (ať už samostatný výrobce nebo distributor) také u nás. Prodejci často doplňují podporu od výrobce, a to způsobem asistence s výběrem produktů, s instalací nebo nastavením obslužného softwaru. Většina výrobců má v nabídce mnoho druhů doplňkového příslušenství jako objektivy, osvětlení, držáky, kabely a SW. Ten umožňuje práci se zařízeními nebo získanými daty. Rešerše zahrnuje nejznámější a nejběžnější výrobce těchto zařízení, přesto je trh tak široký, že je možné najít také další.

2.2 Sick

Světelná mříž, to byl první výrobek, který tato německá firma vyráběla a i v dnešní době pokračuje ve výrobě jejího následovníka. Mezi další produkty, které tato firma dodává, se řadí téměř všechny druhy senzorů, bezpečnostních zařízení nebo detektorů [4]. V oblasti průmyslového zpracování obrazu nabízí řešení pro 2D a 3D vidění, které je možné použít i pro navádění robota. Firma disponuje relativně širokým portfoliem a několika různými řadami konfigurovatelných senzorů a programovatelných kamer. Konfigurovatelné senzory jsou určeny pro jednotlivé (konkrétní) úlohy a nemají velkou variabilitu. K dispozici jsou senzory pro kontrolu přítomnosti, detekce

otvorů palety, čtení kódů a další [3]. Vyšší variabilitu přináší řady programovatelných kamer Inspector P62x, Inspector P63x, Inspector P64x, Inspector P65x, které odpovídají definici smart kamer.

Sick řady Inspector P62x, Inspector P63x, Inspector P64x a Inspector P65x

Všechny řady smart kamer od výrobce Sick jsou svými vlastnostmi velmi podobné a jejich základní rozdíl je v použitém snímači. Konkrétně ve velikosti a v rozlišení tak, jak ukazuje tabulka 2.1. V každé řadě je několik modelů a tyto mají různé vlastnosti. Je možné volit kamery s integrovaným nebo s vyměnitelným objektivem (upevnění S-mount nebo C-mount). Také v otázce zabudovaného osvětlení je možné vybírat z několika variant - s bílým, modrým, červeným světlem nebo model bez integrovaného osvětlení. Kompaktní tělo kamery disponuje certifikací IP65 nebo IP67 [3].

Tab. 2.1: Přehled modelů inteligentních kamer řady Inspector od firmy SICK

Řada kamer	Inspector P62x	Inspector P63x	Inspector P64x	Inspector P65x
Velikost snímače	1/3”	1/1.8”	2/3”	1”
Rozlišení snímače [MPx]	1,3	1,3 a 1,9	1,7	2,1 a 4,2
Typ snímače	CMOS, šedotónový			

Nyní si představíme vlastnosti společné pro všechny řady. Z charakteristik kamer se jedná především o Ethernet s protokoly CPP/IP, FTT, EtherNet/IP, PROFINET a CAN bus, dále také o vyrovnávací pomůcku – laserový paprsek. Pro ovládání jsou k dispozici dvě tlačítka a pro zpětnou signalizaci zase bzučák a LED diody (stavový indikátor a sloupcový graf). Ostatní možnosti a vlastnosti se mírně liší a vzhledem k rozsahu nabídky firmy Sick není v možnostech této práce shrnout všechny typy a vlastnosti. Na stránkách výrobce lze využít připravený filtr a vybrat kameru s vhodnými parametry.

Pro co největší univerzálnost je podle výrobce [3] vhodný model řady InspectorP63x. Například model InspectorP632 Flex (typ V2D631P-2MXCXB0) s monochromatickým 1,9 megapixelovým snímačem. Kamera nemá integrovaný a objektiv a pro jeho připojení slouží S-mount. Další důležité parametry kamery jsou uvedeny ve srovnávací tabulce číslo 2.2 na konci kapitoly.

Sick AppStudio je balík programů, který sdružuje software sloužící k individuálnímu nastavení a obsluze kamer od firmy SICK [5]. K dispozici je také nástroj

ViewBuilder, pomocí kterého lze vytvořit uživatelské grafické rozhraní na webu pro operátora stroje. Pro nastavení kamer bez znalosti programování slouží Configurator View. Programování v tomto SW je řešeno pomocí programových bloků. Podle dokumentace od výrobce, viz [5], lze stáhnout předpřipravené šablony (tzv. AppTemplates) a poté je upravit pro určenou aplikaci. Bez registrace na stránkách výrobce SICK se nelze dostat k detailní dokumentaci k softwaru. V reklamní brožuře [6] jsou nastíněny doplňkové funkce softwaru jako jsou zobrazení vytížení hardwarových prostředků připojeného zařízení (CPU, paměť), simulátor kamery nebo debugger.

2.3 ifm electronic

Německá firma ifm je orientovaná na senzoriku, řídicí systémy a další průmyslovou nebo bezpečnostní techniku. Ke svým výrobkům dodává dále i potřebný software pro ovládání a nastavování. V oblasti průmyslového vidění nabízí firma kamerové senzory pro 2D i 3D vidění, ale také externí osvětlení [8]. Speciální podsekci tvoří čtečky čárových kódů. Podle dokumentu dostupného z [7] má ifm v nabídce tři druhy 2D kamer. Tyto modely se liší v použití a je nutné pro správný výběr předem znát konkrétní aplikaci. Typ O2I slouží jako čtečka kódů. O2D je univerzálnější typ s ideálním použitím na objekty s definovanou geometrií (porovnání kontur). Běžnou aplikací pro tuto kameru je kontrola pozice nebo třídění výrobku. Dalším typem kamery je O2V. Na rozdíl od předchozí zmíněné je vhodná pro scény a objekty s proměnlivými vlastnostmi, pracuje s počtem pixelů. Běžně ji lze použít například pro kontrolu naplněnosti, rozpoznání děr a využití najde u balicích strojů nebo dokončovacích linek.

Firma ifm nemá konfigurační software konkrétně pojmenovaný a označuje ho pouze jako „Obslužný software pro kamerové senzory“. Navíc je pro každou z řad (aplikaci) speciální program pojmenovaný podle využití jako „Obslužný software pro rozpoznávání objektů“ [10], „Obslužný software pro kontrolu objektů“ [9] a „Obslužný software pro 1D/2D čtečky kódů“[11]. Podle kódu výrobku lze také určit, že SW pro rozpoznávání doplňuje kamery řady O2D a SW pro kontrolu objektů je určen pro kamery řady O2V.

Program slouží pro nastavení kamery - kvality a parametrů obrazu a k nastavení vyhodnocovacích pravidel. Umožňuje nastavit až 32 parametrů pro vyhodnocení. Podle oficiálních dokumentací [10], [9], [11] jsou mezi těmito třemi programy jen menší rozdíly a vzhled a rozložení ovládacích prvků jsou u nich stejné. Tyto programy jsou uvedeny na oficiálních stránkách s cenou, tudíž je nelze zdarma před koupí kamery otestovat.

Ifm řada O2V a řada O2D

Univerzální kamerový senzor řady O2V kontroluje a porovnává součástky podle proměnlivých vlastností. Rozhodování probíhá na základě počítání pixelů. Vlastnosti objektu jsou určeny uživatelem jako proměnné a kamera je poté rozeznává a v rámci nastavených mezí je porovnává. Mezi vlastnostmi, které může kamera kontrolovat, jsou například kompaktnost objektů, kruhovitost, tvar nebo velikost. Vhodné využití je také hlídání naplněnosti nádoby.

Technické vlastnosti těchto modelů jsou následující. Podtypy kamer se liší především integrovaným objektivem, typem osvětlení integrovaného v kameře a také typem výstupu. Ifm nabízí tři druhy objektivů: standardní, tele a širokoúhlý objektiv. Co se týká osvětlení, v nabídce je bílé a infračervené světlo. Poslední rozdílná vlastnost modelů je typ výstupu, a to NPN nebo PNP. U všech variant je kamera vybavena snímačem s rozlišením 640*480 pixelů. Typ snímače je pouze monochromatický. Kamera je vybavena komunikačním rozhraním Ethernet s komunikačními protokoly TCP/IP a EtherNet/IP. V kameře se nachází dva digitální vstupy a pět digitálních výstupů (typ PNP nebo NPN). Mechanické připojení kabelů je řešeno pomocí konektorů M12. Pro přímou komunikaci a signalizaci stavů kamery s člověkem slouží tři integrované LED a také segmentový displej, který dokáže zobrazovat až čtyři digity. Celá kamera je zapouzdřena v těle s certifikací IP67.

Řada O2D je obdobou řady O2V s tím rozdílem, že tato řada je vhodná pro srovnávání objektů podle obrysů. Tedy její použití je pro objekty s definovanou geometrií. Typické úlohy použití jsou detekce přítomnosti nebo úplnosti, detekce polohy a úlohy třídění. Možnosti jednotlivých modelů kamer (objektivy, rozlišení, komunikace,. . .) jsou stejné jako v řadě O2V.

Nejvhodnějším adeptem od firmy ifm electronic pro výběr testovací inteligentní kamery se jeví model O2V105 z modelové řady O2V. Kamera disponuje monochromatickým snímačem a rozlišením 0,3 megapixelů, bílým integrovaným osvětlením a blíže nespecifikovanou optikou [12]. Se zvolením modelu se správnou ohniskovou vzdáleností má pomoci tabulka v dokumentaci, která udává pracovní vzdálenost a velikost viditelného pole.

2.4 Cognex

Tato firma se zabývá počítačovým viděním již od svého začátku. Americká firma se specializuje na 1D, 2D i 3D senzory a software pro rychlé a jednoduché nastavení snímačů [14]. V nabídce najdeme také doplňky pro kamery jako jsou objektivy, kabely nebo osvětlení. Jako ostatní výrobci i tento nabízí několik řad odstupňovaných

podle výbavy. Pro maximální variabilitu je nejvhodnější série D900, která umožňuje využít maximum funkcionalit, které firma Cognex u svých výrobků nabízí [13].

Cognex D900 Series

K ovládání této kamery je určen software In-Sight ViDi s integrovanou funkcí hlubokého učení. Veškeré technické informace o kameře jsou čerpány z [16]. Tělo z hliníku disponuje ochranou IP67, okolo těla je veden led proužek, který umožňuje zobrazovat, zda je díl v pořádku nebo ne. V této řadě jsou dva modely, které se liší především rozlišením snímače – model D902 má 2,3 mega pixelů a model D905 nabízí 5 mega pixelový snímač. Oba snímače jsou monochromatického typu. Maximální rychlost kamery je u modelů také rozdílná, a to u D905 26 obrázků za sekundu a u modelu D902 je rychlost 51 obrázků za sekundu.

Pro připojení objektivu slouží závity typu C-Mount a S-Mount. Externí osvětlení může být ovládáno ze světelného výstupu. Pro komunikaci je určen gigabitový Ethernet konektor. Model s označením D905M by mohl být vhodným kandidátem pro výběr testovací smart kamery. Kamera disponuje rozlišením 5 mega pixelů monochromatických. Přes pravděpodobně vyšší cenu nabídne možnost větší univerzálnosti než model s menším rozlišením.

Program In-Sight Vidi zpřístupňuje funkce hlubokého učení i uživatelům bez zkušeností s programováním a usnadňuje nastavení kamery. Podle [15] je několik úrovní softwaru odstupňovaného podle množství funkcí, které zvládá. V základu jsou k dispozici nejběžnější jednoduché funkce jako počítání dílů, kontrola natočení nebo porovnání s jedním vzorem. V nejvyšší verzi programu je možné vycvičit detekci různých předmětů v obraze, a to i natočených nebo se změnou měřítka. Další nabízená funkce dokáže z naučených dobrých kusů vytvořit detektor špatných dílů.

2.5 Matrix Vision

Další firmou, která vyrábí průmyslové kamery a smart kamery, je Matrix Vision. Firma sídlí v Německu, ale zastoupení má i v České republice. V současné době má tato společnost v nabídce pouze jednu řadu inteligentních kamer, a tou je mvBlueGEMINI. Výrobce dále nabízí tři modely, které rozděluje podle použití [18]. Pravděpodobně se jedná o stejný hardware a modely se liší pouze softwarovou výbavou, respektive počtem funkcí. Model s označením Standard umí rozpoznávat a měřit objekty, ale i číst grafické kódy a text. Další dva typy jsou nižší řadou a rozpoznávání textu neovládají [17].

Matrix Vision mvBlueGEMINI

Zástupce firmy Matrix Vision z kategorie chytrých kamer je mvBlueGEMINI. Podle dostupných informací na webových stránkách výrobce je tento typ kamery dodáván jak s chromatickým, tak s barevným snímačem [18]. Snímač s odstíny šedi disponuje rozlišením 1,3 mega pixelů a maximální frekvencí 60 Hz. Pro připojení objektivu slouží závit typu C-mount. Dvě informační diody dávají vědět aktuální stav kamery (napájení, běh programu, chyby, stav spojení, ...). Kamera disponuje dvěma konektory, jeden slouží pro připojení napájení, RS232 a také pro připojení šesti digitálních vstupů/výstupů (použití jako spouštěcí linka nebo pro kontrolu světel a!blesku). Druhý konektor je typu LAN. Oba konektory jsou ve fyzickém provedení typu M12 s dvanácti piny, respektive s osmi.

Kamera typu mvBlueGEMINI je dodávána spolu se softwarem mvIMPACT Configuration Studio, který umožňuje nastavovat kameru ihned po zakoupení a připojení k PC. Výrobce doporučuje tento software i uživatelům bez znalostí programování nebo zpracování obrazu. Podle výrobce by měl tento SW umožňovat všechny základní druhy úloh jako je počítaní objektů, kontrola jejich rozměrů až po složitější jako je rozpoznávání textu. MvIMPACT CS jde stáhnout až po zakoupení kamery a není možné ho dopředu vyzkoušet. Firma Matrix Vision měla v době psaní této práce velmi stručné katalogové listy ke kamerám a dokumentaci k programu (ve srovnání s ostatními výrobci).

2.6 Baumer

Výrobce kamer a senzorů Baumer patří k jedněm z nejznámějších výrobců čidel, senzorů, výrobků pro průmyslové vidění a dalšího HW pro automatizaci na světě [20]. V jeho portfoliu najdeme několik řad rozdělených podle použití, například řada VeriSens ID umožňuje čtení 1D, 2D kódů a textu [19]. Maximální univerzálnost přináší řada VeriSens XC a řada VeriSens XF. Ostatní řady neumožňují využít všech funkcionalit – disponují pouze základními geometrickými funkcemi, jiné slouží pouze jako čtečky 1D/2D kódů, viz tabulka 3.1. Rozdíl těchto dvou univerzálních řad je, že typy XF disponují integrovaným objektivem a osvětlením, kdežto řada XC má C-Mount závit pro objektiv a integrovaný kontrolér pro spínaní externího světla. Ostatní řady neumožňují využít všech funkcionalit – disponují pouze základními geometrickými funkcemi, jiné slouží pouze jako čtečky 1D/2D kódů, viz tabulka 3.1.

Baumer řady XC a XF

Kamery řad XC a XF tohoto výrobce umožňují největší variabilitu použití. Řídicí jednotka s procesorem je integrovaná spolu s kamerovým senzorem do jednoho těla.

Toto tělo je mechanicky odolné a disponuje ochranou typu IP67. V nabídce této řady se nachází více typů, rozdělených podle typu snímače – barevný/monochromatický, podle rozlišení (0,31, 1,2 a 2 mega pixely). Rozdíl v jednotlivých typech je také v použitém komunikačním protokolu – Inustrial Ethernet, Ethernet (TCP/UDP) a RS485. Detailněji se jednotlivým typům kamer od firmy Baumer věnuje kapitola 3.

Pro ovládání kamery je určen software VeriSens Application Suite, další informace k SW jsou uvedeny v kapitole 3.4. V tomto software jsou přichystány možnosti nastavení kamery a také různé funkce počítačového vidění, například rozpoznávání textu (i jeho kvality), hledání bodů v obraze, kontrola rozměrů, ... Výhoda tohoto programu je, že není nutné pro vyzkoušení jeho funkcí kupovat kameru, jelikož tento SW je volně dostupný. Po stažení může zájemce využít simulátor kamery (k dispozici jsou všechny typy vyráběných kamer). Na obrazcích, které do programu nahraje, vyzkoušet, zda-li kamera vyhovuje všem potřebám určité aplikace. Software také nabízí integrované webové rozhraní s opravitelným HMI (human-machine interface). Výrobce dodává velké množství příslušenství od napájecích adaptérů, prodlužovacích kabelů, až po kontrolní monitory a externí světelné zdroje.

Model, který je zařazen do výběru, nese označení VS XC200M20X00RP. Podle názvu se dá odvodit, že se jedná o kameru s vyměnitelným objektivem (C-mount) a s monochromatickým 2 megapixelovým snímačem. Kamera neobsahuje žádné integrované osvětlení a typ komunikace je RS485.

2.7 Keyence

Tato japonská firma nabízí několik sérií smart kamer, které jsou odstupňovány podle jejich vlastností a možností. V provedení této firmy se nejedná o přesné zástupce smart kamer, jelikož snímač s optikou není přímo integrován do jednoho těla s ovládací jednotkou. Přesto výrobce označuje tyto kamery jako „smart“ [22]. Pro 2D snímání firma nabízí řadu CV-X. Tato řada je doplněna softwarem pro nastavení a základní zpracování obrazu. Tento program by podle výrobce měl být schopen obsluhovat kdokoliv bez hlubších znalostí počítačového vidění [21].

Keyence řada CV-X

Výrobce nabízí v této řadě kompletní vybavení – řídicí jednotku, kameru a také další příslušenství jako je osvětlení nebo monitory. K dispozici je 8 různých typů kontrolérů podle počtu a typů připojitelných kamer a dále s rozdílnou rychlostí zpracování [21]. Základní modely CV-X300 a CV-X400 umožňují připojit maximálně 2 kamery

s maximálním rozlišením 0,47 mega pixelů. Nejvyšší model CV-X480 umožňuje připojit až 4 kamery s nejvyšším rozlišením 21 mega pixelů. Ostatní typy řídicích jednotek umožňují připojit různý počet s různým rozlišením. Nabídka kamer odpovídá možnosti připojitelnosti k hlavní jednotce, tedy kamery jsou nabízeny s rozlišením 21, 5, 2 a 0,31 až 0,47 mega pixelů. Dále se tyto kamery rozdělují podle typu barevného spektra na monochromatické a barevné. Při koupi je nutné promyslet, která dvojice kamera a kontroler jsou spolu kompatibilní a vlastnostmi nejvíce odpovídají potřebám úlohy.

Vybrat model kamery a kontroléru od firmy Keyence je relativně složité, vzhledem k šířce jeho portfolia. Vzhledem k potřebě jedné kamery se vhodným kandidátem jeví kontrolér CV-X450 a k němu kamera CA-H500CX. V portfoliu se tato dvojice výrobků řadí spíše k vyšším modelům a pravděpodobně by nabízely dostatečný výkon pro potřeby demonstračních úloh. Kamera má rozlišení 5 mega pixelů a nabízí C-mount pro vyměnitelné objektivy. Přídavné osvětlení je nutné zakoupit zvlášť a firma Keyence ho také nabízí. Jednotka pro kontrolu a ovládání kamery disponuje čtyřmi vstupy pro kameru a dalšími potřebnými konektory.

Pro ovládání kamery výrobce nabízí program Simulation software – CV-H1X, který umožňuje konfigurovat nastavení systému řady CV-X pomocí počítače [21]. Další program Terminal software – CV-H1X slouží pro shromažďování dat a výsledků v počítači spolu se vzdáleným ovládáním řídicí jednotky. Programy jsou k dispozici pouze uživatelům, kteří si zakoupili kameru této řady.

Obr. 2.1: Ukázka jednotky pro inteligentní kamery a připojitelných kamer od firmy Keyence.[23]

2.8 National Instruments

Výrobce je ve světě známý především jako tvůrce data akvizičního softwaru LabView. V současnosti vyrábí a dodává také nejrůznější hardware pro měření. Další oblastí je strojové vidění, kde od tohoto výrobce najdeme i smart kamery. Konkrétně jde o modelovou řadu označenou jako ISC-178X (X představuje poslední číslici označení modelu).

National Instruments 178X

Společnými znaky těchto kamer jsou především integrovaný procesor od firmy Intel a tělo kamery s certifikací IP67 [24]. Všechny typy modelů disponují závitem pro objektiv typu C-Mount. V dalších parametrech se jednotlivé modely liší. Rozdíly jsou především ve snímači, v nabídce je barevný a také monochromatický s různými rozlišeními (od 0,3 mega pixelů do 5,3 mega pixelů). Rychlost snímání se liší a může dosahovat rychlosti od 8 do 292 snímků za sekundu.

Pro výstup dat z kamery slouží rozhraní ethernet, které je možné připojit přes redukci. Dalším možným výstupem je VGA konektor, který slouží pro připojení k monitoru a okamžitému zobrazení dat za kamery, tento konektor je doplněn konektorem USB. Analogový výstup má rozsah 0-10V a funguje jako ovladač externího osvětlení. Tři až čtyři digitální vstupy a tři digitální výstupy umožňují připojit další periferie.

Hlavní software pro nastavení kamer této řady je program Vision Builder for Automated Inspection. Jako u ostatních výrobců je tento program vytvořen jako GUI aplikace, kde uživatel může vybírat z voleb a dostupných nastavení a algoritmů. V první části nastavování je možné měnit parametry získávaného obrazu. Například rychlost pořizování, barevné parametry, externí spouštění,... Druhou částí toho software je takzvaná inspekční část. Pod tímto názvem se ukrývají možnosti nastavení pro danou úlohu a rozhodovací mechanismy, které označí výrobky a jejich obraz za správný nebo chybný. Podle dostupné příručky [25] pro tento program je inspekční část tvořena uživatelem jako stavový diagram. Přímo od výrobce by měla být zajištěna také kompatibilita s programem Labview.

Pod označením ISC-1782-C se skrývá kamera s 2,3 mega pixelovým barevným snímačem. Tělo je vybaveno závitem (C-mount) pro připojení externího objektivu. Pro komunikaci s kamerou slouží protokol TCP/IP a také 3 digitální vstupy a 4 výstupy. Jako jeden z mála výrobců definuje National Instruments u svých kamer přesný typ procesoru,pěkné a to Dual-Core Intel Celeron N2807.

2.9 Ovládací software pro inteligentní kamery

Jednou z myšlenek smart kamer je jednoduché nastavení snímání obrazu a určení jednotlivých vlastností, které se v obraze mají nalézt a zhodnotit. Jde především o jednoduchost nastavení tak, aby ho zvládl i člověk bez znalostí programování. Nejčastěji jsou programy řešeny jako aplikace s grafickým rozhraním, kde uživatel nastavuje jednotlivé parametry pomocí posuvníků nebo číselných hodnot. Ve vyšší úrovni zpracování jde především o klasifikaci, měření rozměrů, OCR nebo detekce objektů. U většiny SW je na základě takto získaných dat implementovaný rozhodovací mechanismus, který určuje, zda je díl (obrázek) dobrý (OK) nebo chybný/vadný (NOK). Tento stav se poté může promítat na fyzické výstupy kamery a nebo se odesílat přes komunikační rozhraní. Ovládací programy mají sloužit také pro nastavení komunikace, vstupů a výstupů. Výstupy mohou informovat ostatní zařízení nebo obsluhu o výsledku zpracování obrazu, ale také mohou spouštět externí osvětlení nebo navazující kroky procesu.

Každý výrobce popsaný v tomto přehledu dodává ke svým kamerám vlastní software, který slouží pro nastavení kamer a také pro vytvoření rozhodovacího algoritmu. V těchto programech by také mělo jít nastavovat vstupy, výstupy a komunikaci kamery. Možnost stáhnout program před pořízením kamery většina výrobců nenabízí. Firma Baumer jako jedna z mála nabízí program VeriSens Suite zcela zdarma. Navíc tento program umožňuje vytvořit simulaci modelů kamer a po nahrání testovacích obrázků lze využít téměř všechny možnosti programu. Toto řešení umožňuje otestovat, zda-li bude kamera vhodná pro určenou aplikaci ještě před zakoupením požadovaného modelu.

2.10 Závěr průzkumu trhu s inteligentními kamerami

Při průzkumu trhu byly nalezeny řady a modely od nejznámějších výrobců vhodné pro otestování základních funkcí. Na trhu se vyskytují také další typy, ale některé jsou dostupné jen velmi lokálně a nebo neodpovídají definici smart kamery. Definici neodpovídá ani výrobek firmy Keyence, jejíž model se skládá z jednotky s procesorem a externí kamery (kapitola 2.7), přesto byl v této rešerši zahrnut. Vyhledávání bylo stížené díky tomu, že každý výrobce má pro tento typ výrobků vlastní označení a ne vždy je zařízení přímo označeno jako smart (inteligentní) kamera. Bylo tedy nutné studovat větší část portfólia jednotlivých značek a také vlastnosti jednotlivých výrobků.

Pro vybrané modely byla zpracována tabulka 2.2, která shrnuje základní vlastnosti a charakteristiky kamer od různých výrobců. Kamery v tabulce jsou schopné

zvládnou případné demonstrační úlohy. Další parametry kamer lze dohledat v příslušných katalogových listech, popřípadě na stránkách výrobce, ovšem pro základní přehled nejsou třeba. Většina parametrů kamer v tabulce je shodná. Většina senzorů v kamerách na trhu se řadí k monochromatickému typu, tedy snímají obraz v odstínech šedé. V případě potřeby je možné vybrat také barevný snímač, ale ne všichni výrobci mají takový v nabídce. Rozlišení se u průmyslových kamer nejčastěji pohybuje v rozmezí 0,3 - 5 mega pixelů. Při snaze získat univerzální přístroj je vhodné mít kameru vybavenou některým typem závitu pro výměnné objektivy, například C-mount nebo S-mount. Při změně aplikace je možné vyměnit objektiv za vhodnější typ a zvýšit tak úspěšnost správné identifikace a rozpoznání.

Tab. 2.2: Porovnání základních vlastností smart kamer, vhodných pro univerzální použití.

Výrobce	Modelová řada	Model	Senzor [1]	Rozlišení [Mpix]	Typ objektivu	Integrované osvětlení	Rozpoznání textu	Typ komunikace
Sick	InspectorP632 Flex	V2D631P-2MXCXB0	M	1,9	S-mount	Bez osvětlení	Ano	TCP/IP
ifm electronic	O2V	O2VWRNKG/O/V/GM/E1/E2/T	M	0,3	Bez informace	Bílé světlo	Ano	TCP/IP, EtherNet/IP
Cognex	D900 Series	D905M	M	5	C-mount	Bez osvětlení	Ano	TCP/IP
Matrix Vision	mvBlueGEMINI	Standard G	M	1,3	C-mount	Bez osvětlení	Ano	TCP/IP, RS232
Baumer	XC	VS XC200M20X00RP	M	2	C-mount	Bez osvětlení	Ano	RS485
Keyence	CV-X	CV-X450(kontrolér), CA-H500CX(kamera)	C	5	C-mount	Bez osvětlení	Ano	TCP/IP, RS232
National Instruments	178X	ISC-1782-C	C	2,3	C-mount	Bez osvětlení	Ano	TCP/IP

Většina výrobců nabízí další modely s více či méně rozdílnými parametry a vybrané kamery slouží pouze jako ukázka jednoho modelu od každého výrobce. Při průmyslovém použití je nutné zvolit kameru s co nejvhodnějšími parametry pro připravovanou aplikaci.

Po poradě s vedoucím této práce bylo rozhodnuto zvolit jednu z kamer od výrobce Baumer. Důvody pro tento výběr jsou šířka portfolia výrobků a v něm modely s vhodnými parametry pro demonstrační úlohy. Nejsilnějším technickým argumentem však bylo, že tuto kameru bylo možné zapůjčit od spřátelené společnosti AJP - tech, která je oficiálním distributorem Baumer produktů.

[1] M značí monochromatický senzor, C odpovídá barevnému senzoru

3 Kamery Baumer

Po rozhodnutí pro značky Baumer bylo nutné vybrat správný model kamery. Bylo by možné použít předvybraný model kamery, ovšem při výběru od tohoto výrobce se hodí znát některé detaily jeho řad a označení modelů. Pro přehled funkcí jednotlivých řad slouží tabulka 3.1. V ní najdeme v prvních dvou sloupcích kategorie funkcionalit, respektive vyjmenované možnosti, kterými daný model může disponovat, v následujících sloupcích jednotlivé modely kamer. Pokud řada tuto funkcionalitu podporuje, je příslušná buňka tabulky označena. V části porovnání barev je nutné brát v potaz, že pro identifikaci barev je nutný barevný typ snímače.

Tab. 3.1: Přehled řad inteligentních kamer firmy Baumer. [19]

	Funkce	XC700 [1] XC100	XC800 [2] XC200	XF700 XF100	XF800 XF200	CS100	ID510	ID100
Poloha dílu	Umístění dílu – obrys	360°	360°	360°	360°	360°		
	Umístění dílu - rohy	✓	✓	✓	✓			
	Umístění dílu - kruhy	✓	✓	✓	✓			
	Umístění řádku textu	✓	✓	✓	✓		✓	
Geometrie	Vzdálenost	✓	✓	✓	✓	✓		
	Parametry kruhu	✓	✓	✓	✓	✓		
	Úhel	✓	✓	✓	✓			
	Počet hran	✓	✓	✓	✓			
	Poloha bodu	✓	✓	✓	✓			
	Charakteristika hrany	✓	✓	✓	✓			
Porovnání vlastnosti (monochromatické a barevné)	Počet kontur ve výběru	✓	✓	✓	✓	✓		
	Porovnání kontury	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Určení průměrného jasu	✓M	✓M	✓	✓	✓		
	Porovnání kontrastu	✓M	✓M	✓	✓			
	Identifikace barvy	✓B	✓B					
	Velikost oblasti (podle jasu/barvy)	✓	✓	✓	✓			
	Počet oblastí (podle jasu/barvy)	✓	✓	✓	✓			
	Porovnání se vzorem	✓	✓	✓	✓			
	Poloha podle barev	✓B	✓B					
Identifikace	Barcode (1D kód)		✓		✓		✓	✓
	2D kód		✓		✓		✓	✓
	Text		✓		✓		✓	

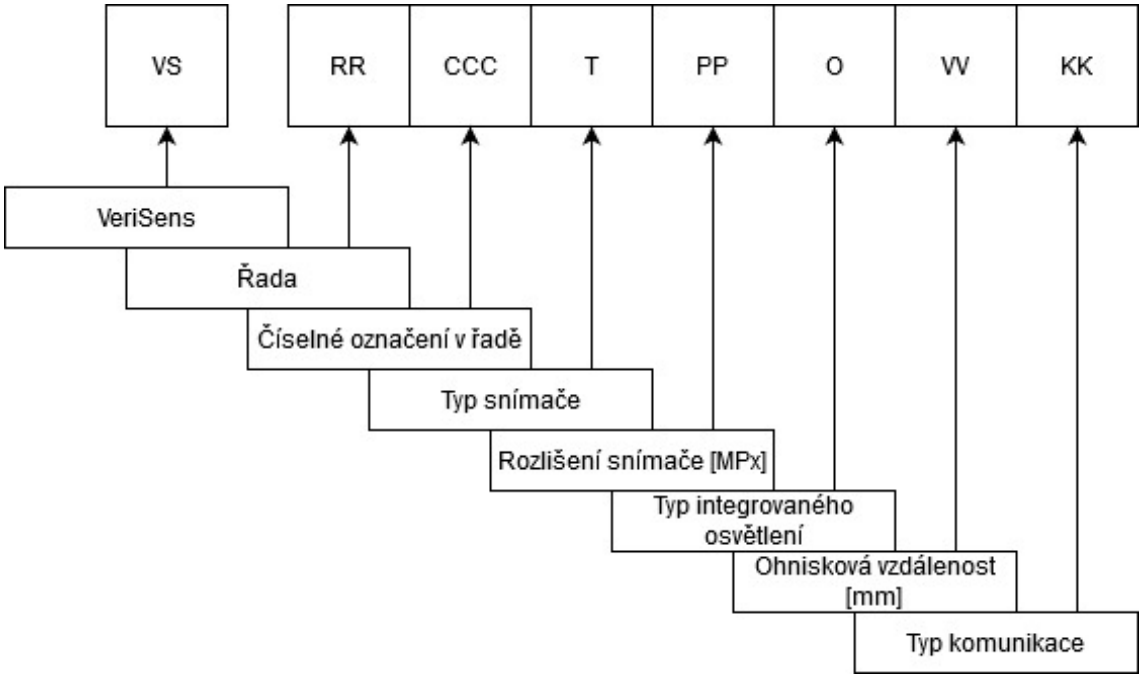
Jak vyplývá z předchozí tabulky, řady ID100 a ID510 disponují pouze několika málo funkcemi a jsou určeny především jako čtečky kódů. Kamery z řady CS100 již

[1] M značí monochromatický senzor, C odpovídá barevnému senzoru.
[2] M značí monochromatický senzor, C odpovídá barevnému senzoru.

mají implementováno více funkcionalit, ale zdaleka neumí všechny. Zbývající řady XC nebo XF již disponují celou paletou funkcí, a proto bylo rozhodnuto vybrat kameru právě z jedné z těchto řad (z důvodu vysoké variability použití). Pro správnou orientaci v nabídce modelů je nutné umět rozklíčovat označení (kódy) těchto jednotlivých modelů kamer.

3.1 Číselné označení modelů kamer Baumer

Každý model kamery má unikátní označení a po jeho rozklíčování lze určit její vlastnosti. Tento kód má formát VS RRCCCTPPOVVKK (všechny písmena v označení kromě VS jsou zástupné symboly označení a s jednotlivými modely kamer se mění). V této části dojde k vysvětlení jednotlivých částí označení. Přehled jednotlivých zástupných znaků v kódu vysvětluje obrázek 3.1.



Obr. 3.1: Rozklíčování číselného označení kamer firmy Baumer.

Pro různé možnosti jednotlivých částí kódu byla sestavena následující tabulka (3.1), kde jsou ukázány možné hodnoty, kterých zástupné symboly mohou nabývat. Je také doplněna o vysvětlivky pro jednotlivé možnosti.

Tab. 3.2: Přehled zástupných symbolů a voleb pro kamery Baumer.

Zástupný symbol kódu	Vlastnost	Možnosti voleb	Poznámky
RR	Řada	XC, XF	
CCC	Číselné označení v řadě	100, 200, 700, 800, 900	Typ 900 je vhodný pro integraci s roboty od firmy Universal Robots
T	Typ snímače	Monochromatický, barevný	
PP	Rozlišení snímače [MPx]	03, 12, 20	Odpovídá rozlišení 0,3, 1,2 a 2,0
O	Typ integrovaného osvětlení	W, I, X	
VV	Ohnisková vzdálenost [mm]	00, 10, 12, 16	Jsou možné i jiné varianty
KK	Typ komunikace	EP, IP, RP	TCP/IP, EthernetIP/ PROFINET, RS485

3.1.1 Ukázka možné kombinace kódu kamer Baumer

Pro lepší pochopení klíčování označení modelu kamer firmy Baumer je uveden následující příklad:
VS XC200M20X00EP

- XC - vyměnitelná optika (C-mount), osvětlení připojitelné do integrovaného kontroléru
- 200 - řada 200 (disponuje funkcí OCR a čtením 1D/2D kódů)
- M - snímač monochromatického typu
- 20 - rozlišení snímače 2,0 MPx
- X - žádné integrované osvětlení
- 00 - ohnisková vzdálenost - bez optiky
- EP - typ komunikace TCP/IP

3.2 Baumer řada XC a XF

Řady XC a XF mají podobné parametry, přesto jsou zde určité rozdíly. Řada XC nabízí vyměnitelný objektiv (upevnění C-mount) a řada XF nabízí pevný objektiv a integrované osvětlení. V řadách XC a XF najdeme ještě kamery s číselným označením 100, 200, 700, 800. Typ 900, který má přidanou integraci s roboty od firmy Universal Robots, je ze srovnání odstraněn pro velkou finanční náročnost. Pro vysvětlení označení těchto řad je vhodná tabulka 3.3. V ní najdeme rozdíly mezi těmito řadami, respektive jejich podskupinami, především jde o typ objektivu (pevný nebo vyměnitelný), o podporu rozpoznání textu a 1D/2D kódu (podtypy 800 a 200,

shodně v řadách XC a XF) a dále o podporu protokolu PROFINET a EthernetIP (podpora v modelech 700 a 800). Rozdíly ve výbavě se promítají i do výsledné ceny kamery, a tedy je vhodné zvážit, které funkce jsou nutné a které nikoli.

(a) Baumer VS XC200M20X00EP s nasazenou ochranou objektivu [34].

(b) Baumer VS XF700M03W12IP. Integrované osvětlení a optika [35].

Obr. 3.2: Ukázka smart kamery od firmy Baumer. Řada VeriSens XC a VeriSens XF.

Tab. 3.3: Shrnutí rozdílů v řadách a modelech XC a XF firmy Baumer

Řada	XC700	XF700	XC100	XF100	XC800	XF800	XC200	XF200
Objektiv	c-mount	pevný objektiv	c-mount	pevný objektiv	c-mount	pevný objektiv	c-mount	pevný objektiv
OCR a 1D/2D kódy	Ne				Ano			
PROFINET a EthernetIP	Ano		Ne		Ano		Ne	

3.3 Kamera Baumer VS XC200M20X00EP

Po zvážení vhodných vlastností a výbavy kamery byl vybrán model s označením Baumer VS XC200M20X00EP. Detailní rozbor číselného značení u použitého modelu kamery je rozebrán v kapitole 3.1.1, kde je tato kamera uvedena jako příklad pro

rozklíčování kódu výrobku. Tato kamera byla firmou AJP-tech zapůjčena pro účely diplomové práce. Brněnská společnost je zástupcem a také autorizovaným distributorem několika významných výrobců techniky pro automatizaci a pro automatické značící stroje, jedná se především o značky Baumer, Markator, REA-Jet, Schilling a IOSS.

Společně s kamerou byla dodána dvojice kabelů. Napájecí zdroj byl vyřešen za pomoci 28V adaptéru a připojen na dodaný napájecí kabel. Komunikace s kamerou probíhá přes druhý zapůjčený kabel, který je na straně u kamery zakončen konektorem M12 a na druhé RJ-45 (pro připojení k síťové kartě počítače) [36].

3.4 VeriSens Application Suite

Program VeriSens Application Suite vytvořila firma Baumer pro ovládání svých senzorů pro vidění. „Programy“ vytvořené pro určitou aplikaci se v programu nazývají „Jobs“. Tyto soubory s nastavením jsou dále nahrány do kamery. Program se snaží o co největší jednoduchost. Nastavování pořízeného obrazu, pravidel rozhodování jejich kombinace a také výsledné nastavení vstupů/výstupů probíhá v jednom okně, ve spodní části programu, pomocí karet nastavení a přes menu nastavení zařízení.

Při spuštění se program dotazuje na připojení kamery. Uživatel může zvolit, zda chce připojit fyzickou kameru, a nebo využít pouze simulátor, tedy nemá připojenou kameru. Do programu je možné nahrát již pořízené fotografie například z jiné kamery, smartphonu nebo z fotoaparátu. Tato volba se hodí především pokud si uživatel chce vyzkoušet, zda je tento program schopen vyhovět požadavkům dané úlohy nebo například pokud chce vytvořit celou úlohu bez připojené kamery a až po základním otestování ji nahrát do fyzické kamery.

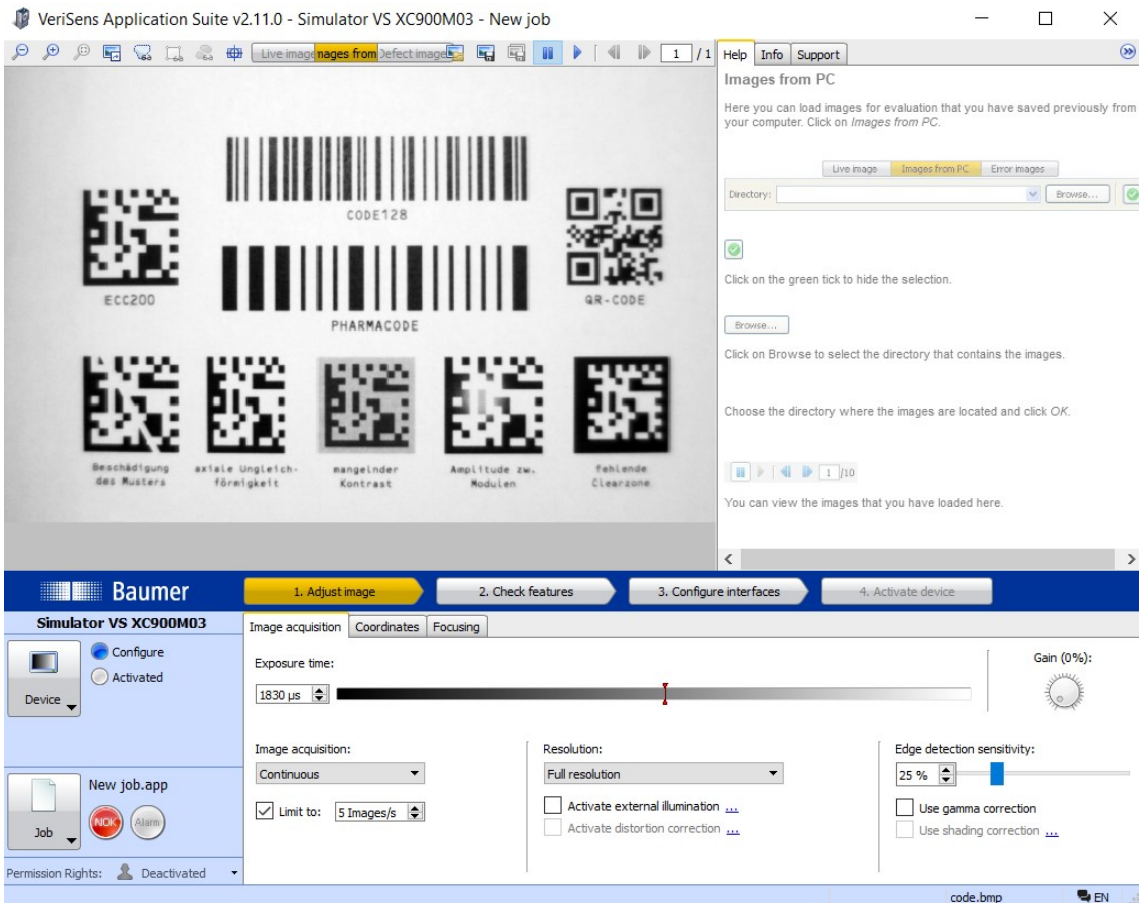
Některá nastavení nejsou dostupná pro všechny modely kamer a software zpřístupňuje jednotlivé možnosti, pokud model tuto funkci umí. Uživatel je tedy chráněn oproti chybám, které by mohly nastat při vytváření neplatného nastavení pro daný typ kamery (například ovládání světelného kontroléru, pokud ho kamera nemá).

3.4.1 Karty nastavení

Všechna nastavení jsou rozdělená do jednotlivých karet, mezi kterými lze jednoduše přepínat kliknutím. Seřazeny jsou v logickém sledu tak, jak uživatel pravděpodobně bude postupovat s nastavením kamery.

Karta nastavení obrazu

Pro optimální nastavení snímání obrazu slouží záložka „Adjust image“. Především jde o čas expozice, nastavení módu snímání obrazu - kontinuální nebo externí spouš-



Obr. 3.3: Základní obrazovka programu VeriSens Application Suite. Viditelná záložka „Adjust image“ pro nastavení parametrů snímaní a obrazu.

těč. V případě kontinuálního spouštění je možné nastavit limit obrázku za sekundu. Pro kamery s vyšším rozlišením je k dispozici nastavení rozlišení, zda má kamera upřednostňovat rychlost nebo kvalitu. Spouštění externího a integrovaného osvětlení se nachází také v tomto podmenu.

Karta nastavení kontroly vlastností

Jednu z nejdůležitějších části pro nastavení kamery lze nalézt v kartě „Check features“. Zde probíhá nastavení vyhledávání a kontroly v obraze pro určenou aplikaci. V této záložce uživatel určí, co se má v obraze nalézt, parametry objektu, rozpoznávání textu nebo určení jeho kvality. Jednotlivé dostupné možnosti odpovídají typu kamery, tedy pro monochromatickou kameru nelze zvolit možnost identifikace barvy. Typy kontroly vlastností jsou rozděleny do podkategorií obdobně jako tabulka 3.1, konkrétně se jedná o kategorii poloha dílu, geometrie dílu, porovnání vlastností, identifikace. Části určení vlastností je možné vkládat a poté měnit jejich parametry.

Některé jsou mezi sebou provázané, například nalezení předmětu a určení jeho rozměrů. Detailní rozpis jednotlivých funkcí je shrnut v oficiální nápovědě programu. V ní jsou také popsány možnosti všech nastavení detailněji.

Baumer dodává k programu ukázkové obrázky a příklady vytvořených aplikací. Uživatelé mohou využít předpřipravené implementace identifikace, kontroly, rozpoznání a dalších. Je možné je dále upravovat nebo pomocí nich získat představu o vhodném nastavení.

Karta nastavení rozhraní

V anglickém označení „Configure interfaces“ navazuje na předchozí kartu kontroly vlastností (kapitola 3.4.1). V první části je možné nastavit jednotlivé výstupy a to tak, že se na výstupu zapisuje výsledek rozhodovacího procesu (ať už celkový nebo částečný). Pokud v dané aplikaci potřebujeme dílčí výsledky (lze jich nastavit až 5) z kontrolovaných vlastností v obrazu, je možné je zde nakonfigurovat. Spojování probíhá za pomocí logických členů AND, OR. Podmínky je možné doplnit také o digitální vstupy. V náhledu se zobrazuje aktuální výsledek jednotlivých kontrol.

Časování jednotlivých vstupů a výstupů se dá měnit pod záložkou „Timinig digital I/Os“. Aktuální nastavení časování se zobrazuje na časovém grafu.

Pro nastavení posílání dat z a do kamery slouží položky „Output process interface“ a „Input process interface“. Kamery mohou disponovat rozhraním TCP/IP, PROFINET nebo RS485. V tabulce lze přidávat jednotlivé obsahy zpráv a v druhé polovině ukázku výsledné zprávy. Na výběr jsou obecné zprávy typu čas nebo statistiky. Ke každé kontrole vlastností lze odeslat údaje této funkce. Nejprve je zvolena určitá metoda kontroly vlastností (která byla nastavena v předchozí záložce) a poté je vybrán konkrétní údaj, který se má odesílat. Ve zprávě může být takovýchto částí několik a uživatel může zvolit separátor, který bude vkládán mezi jednotlivé údaje. Každá část zprávy (každý jednotlivý údaj) může mít vlastní řetězec na začátku pro snazší identifikaci. V horní části lze nastavit počátek a konec kompletní zprávy. Karta pro nastavení příchozí komunikace odpovídá kartě předchozí pro odesílání zpráv. Kameře je možné posílat nastavení obrazu jako například expoziční čas, zesílení nebo třeba spouštěcí mód. Také některým funkcím kontroly vlastností lze posílat určitá nastavení, například masku nebo očekávaný řetězec při rozpoznávání textu.

Kamery VeriSens od firmy Baumer disponují také integrovaným webovým serverem. Tento server umožňuje ovládat a konfigurovat zařízení přes webový prohlížeč. Všechna nastavení lze zpřístupnit pro jednotlivé uživatele a určovat tak, kdo jaké nastavení může měnit. Přístupová práva lze zabezpečit uživatelským jménem a heslem. Přes jeden webový prohlížeč může uživatel přistupovat k více zařízením pomocí

jejich IP adres přímo přes adresní řádek.

Karta aktivace zařízení

Pokud je připojena fyzická kamera, je možné po kliknutí na tlačítko aktivovat zařízení nahrát aplikaci do kamery. V dolní části obrazovky se zobrazí přehled aktuálního stavu kamery, statistky a alarmy. Pomocí statistik lze zjistit údaje jako jsou celkový počet otestovaných obrazů (součástí) nebo čas nutný pro kontrolu každé z nich. Z těchto údajů je také vypočítaný průměrný počet částí zkontrolovaných za sekundu. Obdobným ukazatelem pro chybné díly je podzáložka „Alarms“, v ní jsou započítávány chyby a chyby v komunikaci. Veškeré statistiky lze resetovat.

3.4.2 Další nastavení kamery

Pro upřesňující nastavení slouží okno „Device settings“, tedy nastavení zařízení. Mezi dostupné položky se řadí jméno zařízení, přístupová práva, webové rozhraní, nastavení komunikace, síťová nastavení.

V části komunikace se jedná o nastavení vstupu a výstupu (je možné jim přidělit různé funkce a také zda budou reagovat na nástupnou nebo sestupnou hranu). Dále o nastavení sítě - IP adresa, maska,... Pro kamery řady XC, které disponují integrovaným světelným kontrolérem, je zde k dispozici nastavení připojeného osvětlení. Je možné vyvolat profil s nastavením pro zakoupený HW nebo vytvořit nastavení vlastní. Nastavení se týká světelného výstupu - napětí a limitu proudu v hodnotách od 0,1 A až do 4,0 A. Dalšími položkami pro nastavení jsou maximální délka záblesku a střída signálu. K dispozici je shrnutí provedených nastavení a dále testovací tlačítko.

Programátor kamery v podmenu „Jobs“ může určit, které vytvořené aplikace (tzv. Jobs) se mají nahrát do kamery. Poté je umožněna jejich rychlá změna. Výběr se provádí přes digitální vstupy, přes webové rozhraní kamery nebo pomocí tohoto programu. Seznam aplikací v kameře je doplněn informací o zaplnění paměti kamery.

Pro různé modely kamer se v nastavovacím okně otevírají různé možnosti nastavení. Dalším nastavením, které není k dispozici u všech typů kamery, jsou nastavení korekce obrazu při zkreslení a nerovnoměrném osvětlení. Pomocí prázdné scény, respektive kalibrační mřížky je možné jej vykompenzovat. Baumer nabízí soubor s doporučenou mřížkou,kterou je nutné vytisknout. Kalibrace po spuštění probíhá již plně automaticky a výsledek kalibrace je uložen do paměti kamery.

Závěrečnými položkami tohoto menu jsou možnost nahrát novu verzi firmwaru do kamery nebo obnovit kameru do továrního nastavení. Tato funkce se hodí především v případě neočekávaných problémů nebo například zapomenutí přístupového hesla.

3.4.3 Nápověda programu

Spolu s programem se vytvoří také soubor nápovědy, který usnadňuje orientaci a popisuje jednotlivé funkce v programu. Tato nápověda je k dispozici v několika světových jazycích, ovšem v češtině nikoliv. Nápověda se dělí na dvě části - na příručku rychlého spuštění a kompletní technickou dokumentaci.

Jednou možností pro přístup k nápovědě je otevřít soubor přímo. Druhou je dynamická nápověda, která se v programu VeriSens objevuje v pravé části obrazovky po zvolení určité funkce. Tedy uživatel je informován o volbách jednotlivých částí programu tak, jak je volí.

Příručka rychlého spuštění

Tento text nabízí základní informace o použití kamery a jejím rychlém nastavení. Pomůže novému uživateli s umístěním kamery, se základním zapojením a připojením ke kontrolnímu PC. Další část je věnována programu VeriSens a velmi stručně představuje některé jeho možnosti. Představeny jsou funkce rozpoznávání, identifikace a měření. Poslední stránka je věnována problémům s připojením přes komunikační rozhraní a jejich možném řešení.

Technická dokumentace

Velice rozsáhlá část nápovědy označovaná jako „Technical Documentation“ shrnuje téměř veškeré informace o jednotlivých nastaveních v programu, ale také o fyzickém provedení, mechanickém umístění nebo elektrickém zapojení. Tento manuál je vhodný pro řady ID, CS, XF a XC.

Soubor PDF nápovědy provede uživatele celým procesem nastavení a vysvětluje postupně jednotlivé možnosti, rozsahy nastavení, je také doplněn různými tipy pro optimální výsledky. Kapitoly nápovědy korespondují se strukturou programu VeriSens.

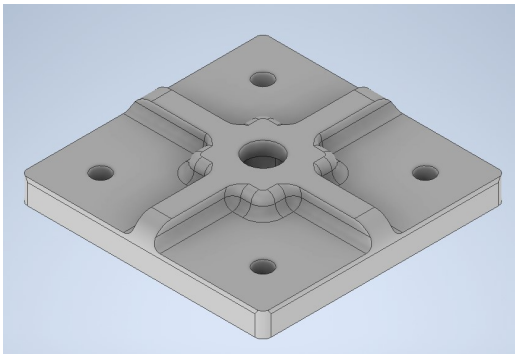
První kapitoly se týkají fyzického umístění kamery. Po propojení kamery s počítačem následuje nastavení zařízení (fyzické vstupy, výstupy, přístupy uživatelů, nastavení sítě). Každá z funkcí kontroly vlastností (z tabulky 3.1) má v manuálu vlastní podkapitolu. Pokud uživatel neví, kterou funkci použít, popřípadě jak tuto funkci ideálně nastavit, je vhodné navštívit tuto nápovědu. Další kapitoly se věnují možnostem komunikace. V předposlední části je manuál doplněn o technická data kamer (rozměry, tabulky s technickými daty, elektrické zapojení jednotlivých pinů v konektoru atd.). Celá dokumentace je zakončena prohlášeními o shodě různých typů.

4 Prvotní spuštění smart kamery

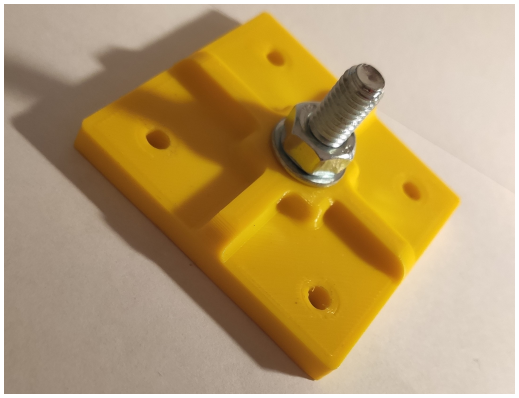
V navazující praktické části práce bude úkolem zprovoznit smart kameru Baumer VS XC200M20X00EP a ověřit její funkce na zadaných úlohách. Následující kapitoly budou mít za cíl popsat požadavky úloh a představit navržené a provedené řešení po stránce hardwarové i softwarové.

4.1 Upevnění kamery a propojení s PC

Pro otestování funkčnosti před použitím s hlavními úlohami bylo vhodné vyzkoušet napájení a komunikaci kamery na jednoduché úloze. Před prvním spuštěním bylo vyřešeno upevnění kamery, za tímto účelem byla navrhnuta upevňovací část držáku (výsledný návrh lze vidět na obrázku 4.1a) a poté byla součást vytištěna na 3D tiskárně. Hotový díl zobrazen na obrázku následujícím 4.1b. Ke kameře se připevňuje držák šrouby velikosti M4. Držák je upevněn k nosnému podstavci pomocí šroubu M8 s maticemi. Celý sestavený držák spolu s kamerou je zobrazen na obrázku 4.2.



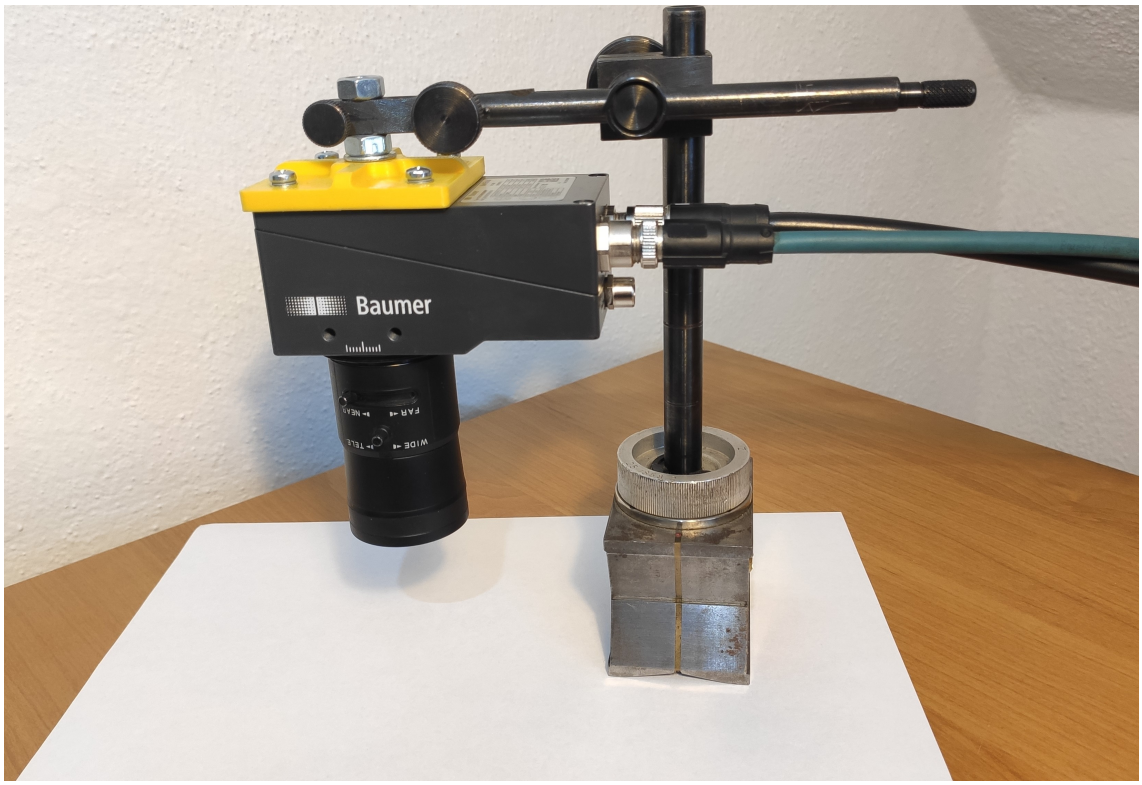
(a) Návrh držáku kamery v programu Autodesk Inventor.



(b) Držák vyrobený pomocí 3D tisku s usazeným upevňovacím šroubem.

Obr. 4.1: Vytvořený držák pro upevnění kamery.

Propojení kamery s napájením a počítačem proběhlo dodanými kabely. Pro komunikaci slouží kabel zakončený konektorem RJ-45. Pro otestování funkčnosti byla kamera doplněna objektivem, který je zapůjčen ze školní laboratoře strojového vidění. Konkrétně se jedná o objektiv od firmy Honeywell typ HLM5V50F13. Základní parametry objektivu f=5÷50 mm, F1.3÷zavřeno, manuální ostření a iris.



Obr. 4.2: Kamera Baumer VS XC200M20X00EP upevněná v držáku s připojeným kabelem napájení a komunikačním kabelem. Kamera má našroubovaný objektiv Honeywell HLM5V50F13.

4.2 Ověření funkčnosti kamery, komunikace s VeriSens Application Suite a vytvoření základní aplikace v tomto programu

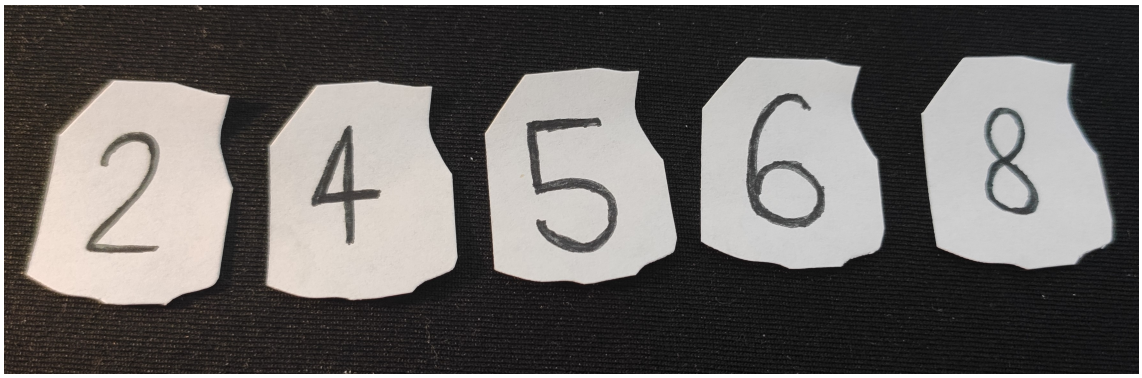
Po upevnění kamery do držáku bylo možné přistoupit k ověřeni funkčnosti komunikace mezi kamerou a ovládacím PC a vytvořit jednoduchou zkušební aplikaci. Propojení s PC bylo provedeno dodaným kabelem (s konektory M12/4 pinový a RJ-45). Pro spuštění komunikace je nutné změnit v nastavení síťového adaptéru v počítači IP adresu na statickou (ne získávanou z DHCP). Application Suite ihned po spuštění vyhledá připojené kamery, ať už se jedná o fyzické propojení kabelem nebo síťové. Po připojení ke kameře je možné měnit a vytvářet její nastavení.

Pro získání základní představy o funkcích kamery a hodnot nastavení obrazu a rozpoznávání scény bylo přistoupeno k první testovací aplikaci. Pro rychlé vytvoření objektů pro kontrolu byl využit kancelářský papír, ze kterého byly vystřiženy jednotlivé části. Na horní stranu takto vytvořených šablon bylo za pomocí popisovače

doplněno číselné označení, které rozlišuje jednotlivé objekty, ale lze na něm ověřit i funkci rozpoznávání textu.

4.2.1 Nastavení kamery, snímaného obrazu a rozložení scény. Testovací objekty

Pro účely úlohy byla vytvořena testovací sada, podle výše popsaného postupu, kterou můžeme vidět na obrázku 4.3, tvar šablon je náhodný a jednotlivé šablony se snaží o co největší podobnost mezi sebou.



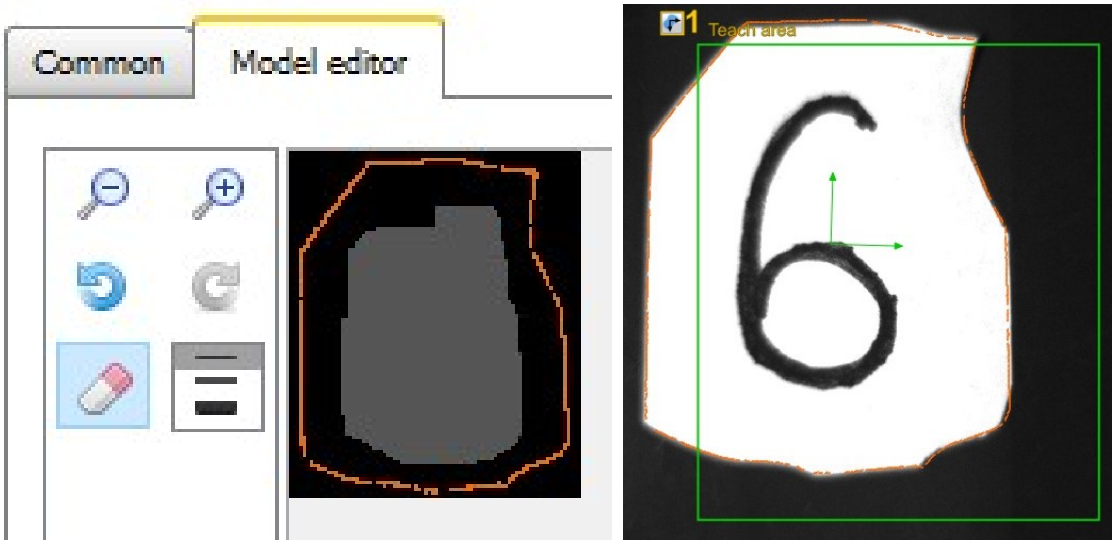
Obr. 4.3: Papírové testovací objekty s číselným označením.

Objekty byly pro záběr položeny na kontrastní (tmavou) podložku tak, aby byly co nejvíce zvýrazněny kontury. Připojený objektiv disponuje ručním ostřením, a tedy muselo být provedeno zaostření. Osvětlení scény je zajištěno pouze slunečním světlem a celá scéna je mírně závislá na aktuálním stavu prostředí (jasno nebo zataženo), ovšem při provádění pokusu nebylo nutné nastavení měnit.

Další nastavení probíhá přes software VeriSens Application Suite po jednotlivých krocích, jak je popsáno v teoretické části, konkrétně v kapitole 3.4. Nastavování parametrů neprobíhalo exaktně, ale metodou pokus/omyl. V první části nastavení snímaného obrazu jde především o délku expozice a hodnotu prahu detektoru hran. Konkrétní základní parametry byly nastaveny následovně: expoziční čas na 742 μs a citlivost detektoru hran na 40 %.

Objekt s číslem čtyři byl vybrán pro vytvoření modelu a slouží jako reference pro ostatní objekty. Pro vyhledání šablon v obraze byla využita funkce zjištění polohy dílu podle kontur („Part location on contours“). Vytvořený model lze v editoru upravit a vymazat body, které nemají vypovídající hodnotu. V tomto konkrétním případě se jednalo o střed dílu, kde se nachází číselné označení. Vymazanou část lze vidět v editoru modelu na obrázku 4.4a. Vedlejší obrázek 4.4b zobrazuje porovnání

kontury modelu s konturou jiného objektu, v tomto případě se jedná o shodu modelu s aktuálně snímaným obrazem 74 %.



(a) Vytvořený referenční model pro hledaný objekt.

(b) Porovnání modelové kontury objektu č.4 a kontury objektu č. 6. Oranžově kontura modelu, zeleně prostor pro vytvoření modelu (v tomto případě již neaktivní).

Obr. 4.4: Vytvoření a porovnávání modelu s aktuálním snímkem kamery.

Druhá část kontroly vlastností má za úkol rozpoznat číselné označení na objektu. Nastavení jednotlivých položek je relativně jednoduché. Nejdůležitějším bodem je zvolení typu textu, v tomto případě se jedná o čísla a dále lze zvolit očekávaný počet cifer (lze vybrat i volbu proměnlivé délky řetězce). Určením očekávaného počtu znaků lze velmi zpřesnit celý proces identifikace cifer.

Úloha umožnila prvotní seznámení se smart kamerou a funkcemi, které nabízí. Podařilo se zprovoznit komunikaci mezi ovládacím počítačem a kamerou.

5 Demonstrační úlohy s využitím smart kamery

V současné moderní výrobě je možné strojové vidění využít k mnoha úkolům, například kontrola kvality, polohy, zjištění přítomnosti dílu nebo třídění. Po dohodě se školitelem byly vybrány tři reálné úlohy z oblasti průmyslového vidění. Ty jsou ve firmách většinou řešeny za pomocí běžných kamer. Zvolené úlohy by měly být vhodné také pro smart kameru. Konkrétně se jedná o kontrolu potisku na SMD kondenzátorech, o kontrolu údajů a kvality tisku data a šarže na pivních etiketách a dále o inspekci rozměrů dílů vytištěných na 3D tiskárně. Úkoly pro kameru v jednotlivých úlohách jsou například nalezení požadovaného objektu v obraze, rozpoznání textu, popřípadě určení kvality tisku, kontrola nečistot na objektu nebo inspekce rozměrů dílu.

5.1 Kontrola potisku kondenzátorů

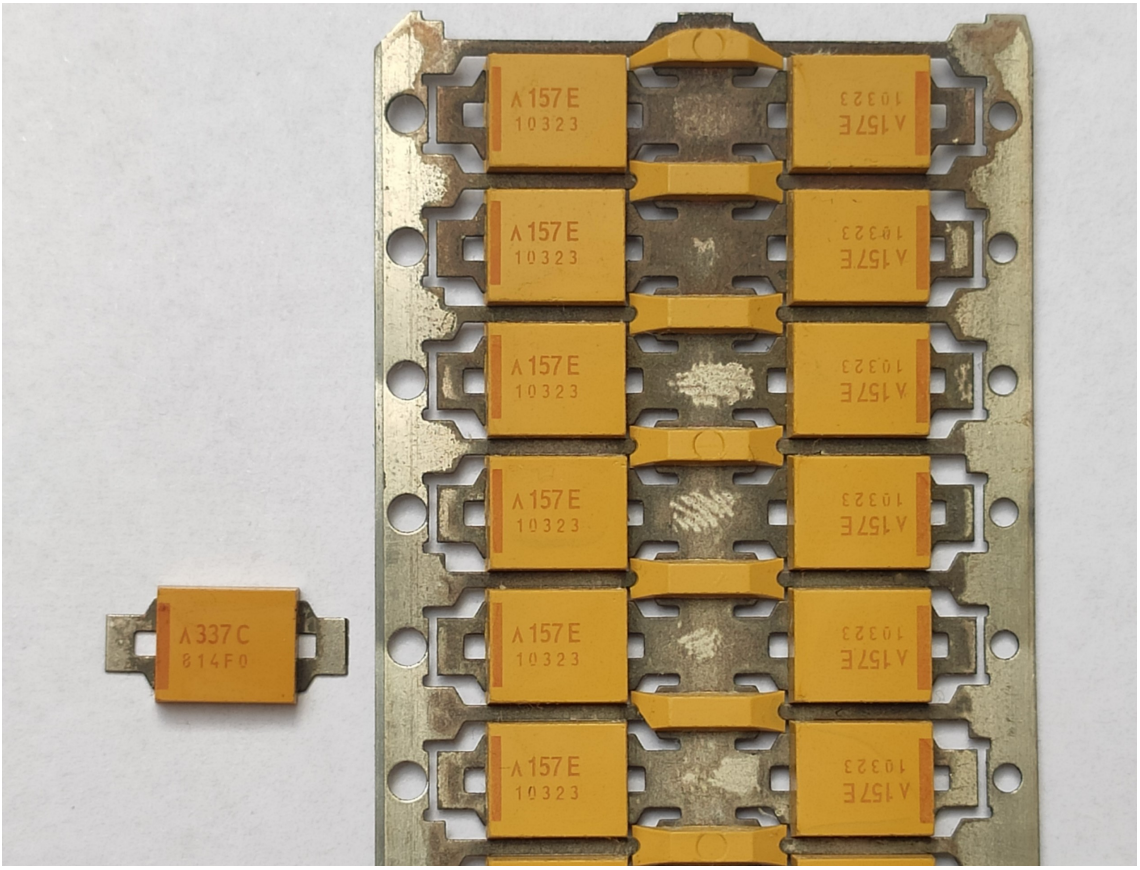
Při výrobě SMD tantalových kondenzátorů je nutné monitorovat a kontrolovat mnoho parametrů v průběhu celého montážního procesu. Jako příklady lze uvést měření objemu stříbrné pasty, tvar anody a kontrolu pozice anodového drátu, který je nutné svařit k vodícímu rámu. Před usazením provést kontrolu pouzdra, SMD vývodů a v neposlední řadě zkontrolovat vrchní potisk na horní straně. Tyto procesy je možné kontrolovat kamerami v tradičním uspořádání, příkladem může být systém UniscanCVS od firmy CAMEA. Soustava vlastních kamer se speciálním typem osvětlovací soustavy je doplněna algoritmy pro vyhodnocování nasnímaných obrazů a rozhodovacím mechanismem pro identifikaci vadných kondenzátorů [40]. Cílem této části úlohy bylo vytvořit alternativní řešení za pomoci smart kamery. Kamera bude kontrolovat potisk a vady na povrchu kondenzátoru. Vzorky SMD tantalových kondenzátorů byly zapůjčeny od firmy AVX Czech Republic s.r.o., která se zabývá jejich výrobou.

SMD tantalové kondenzátory obsahují identifikační potisk na horní straně pouzdra. V prvním řádku textu je obsažena hodnota kapacity a jeden pomocný znak - písmeno. Ve druhém řádku se nachází další označení, výrobní šarže (výrobní číslo). Důležitou částí potisku je v levé části nacházející se proužek, který určuje směřování kondenzátoru, tedy polaritu, a je využívám při osazování součástky na desku plošného spoje.

Jednotlivé vzorky jsou z výroby spojeny na kovovém pásku ve dvou řadách. Prostřední část pásku tvoří dostatečně velká mezera. Objektiv kamery a scéna jsou

nastaveny tak, že v pracovní oblasti je vždy pouze celý jeden kondenzátor. Omezení pracovní oblasti je vytvořeno softwarově přímo v ovládacím programu kamery VeriSens Application Suite. Tímto způsobem je určeno, na který kondenzátor je kontrola zaměřena a také se tím zabraňuje možnému přeskakování identifikace z jednoho předmětu na druhý.

V této úloze se pracuje s kondenzátory o velikosti 7,3 mm x 6,2 mm x 2 mm. Obrázek 5.1 ukazuje část pásku s kondenzátory. Základní jednotkou kapacity je farad, ovšem je příliš velký pro běžné kondenzátory. Z tohoto důvodu se používá pF (10^{-12}F) [39]. Potisk, který znázorňuje velikost kapacity, tvoří tři cifry. První a druhá určuje hodnotu a třetí je tzv. multiplikátor. Takto zapsaná hodnota je v pF. Pro příklad lze uvést zapsaný kód 475. Tedy $47 \cdot 10^5$ pF. Výsledná kapacita po převedení je 4700 nF, respektive 4,7 µF.



Obr. 5.1: Ukázka testovaných SMD kondenzátorů v kovovém pásku. Jeden kondenzátor vyjmutý z pásku (obsahuje vadu kontrolního proužku).

V první fázi bylo nutné nastavit zaostření objektivu a osvětlení. Pro nalezení optimálního zaostření nabízí ovládací SW funkci „Focusing“, která indikuje míru zaostření. Vzhledem ke snaze vytvořit co nejuniverzálnější aplikaci programu ne-

bylo vytvořené a použité žádné pevné a stabilní osvětlení. Vytvořený dataset byl pořízen za pomoci denního světla nebo wolframové žárovky. Tímto způsobem bylo možné měnit osvětlení a vytvořit proměnlivé podmínky a tímto otestovat robustnost vytvořené aplikace.

Posun pásku s kondenzátory byl proveden ručně. Pro zachování přibližně stejných poloh kontrolovaného kondenzátoru byla na podložce načrtnuta vodítka, podle kterých docházelo k posunu (vodicí čára a tečka pro umístění dílu). Ovšem manipulace značně prodlužovala čas potřebný pro nalezení optimálních parametrů a také docházelo k ovlivňování světelných podmínek především stínem ruky. Drobné pohyby ovlivňovaly scénu a výsledky rozhodovacího procesu.

Z předešlých důvodů a pro urychlení optimalizace programu byl vytvořen dataset pomocí implementované funkce „Record image series“. Po posunutí kondenzátoru na danou pozici dojde k zaznamenání scény a obrázek je uložen do určené složky, soubor je očíslován pro jednodušší identifikaci. Takto se postupuje se všemi vzorky. Program rozpozná objekt v určené části obrazu a určí i natočení tohoto objektu, tedy není nutné zachovávat přesnou polohu kontrolovaného předmětu. Výhodou řešení se stabilním datasetem je především rychlé porovnání úspěšnosti vyhodnocování po změně parametrů. Software od firmy Baumer k testování úspěšnosti vytvořit nástroj „Test job“, jeho využití je zmíněno v dalších kapitolách. První vytvořený dataset obsahuje 500 obrázků. 10 % z nich je s chybami (zbytky barvy z výroby, lepidlo, uměle vytvořené vady pomocí inkoustu a tužky). Pro otestování byl vytvořen také druhý dataset obdobného rozsahu. V některých případech zasahuje vada do textu a nemůže dojít ke správnému přečtení znaků. Takto může být špatně přečten jeden znak, ale také celý řetězec, jelikož kamera nedokáže správně nalézt znaky odpovídající nastavené masce. Každý kondenzátor byl vizuálně zkontrolován a dále bylo rozhodnuto, zdali se jedná o správný či špatný. Kontrola vad se zaměřuje především na tmavé skvrny nebo překrytí označení. V případě malé vady povrchu nebo světlých nečistot (například typu prach) není nutné kondenzátor vyřazovat, a lze ho použít. Více se problematice vad na povrchu kondenzátoru věnuje kapitola 5.1.1.

Dataset obsahuje fotografie kondenzátorů upevněných v kovovém pásku, ale přesto lze vytvořenou aplikaci využít i na kondenzátory již vyjmuté.

5.1.1 Nastavení obrazu a prvků kontroly vlastností

Před nasnímáním kompletního datasetu je nutné provést nastavení scény a získávání obrazu. Po přepnutí kamery do režimu kontinuálního získávání obrazu je možné na monitoru vidět aktuální stav scény a měnit nastavení pro co nejlepší výsledky. Živý obraz z kamery je důležitý především pro nastavení doby expozice, osvětlení a zaostření. Také v této úloze byl využit objektiv Honeywell typ HLM5V50F13. V této

úloze se počítá s následujícími částmi ve vytvořeném programu pro kameru:

- Nalezení lokace kondenzátoru v obraze (v pracovní oblasti)
- Rozpoznání textu - velikost kapacity
- Rozpoznání textu - šarže
- Nalezení vad na povrchu kondenzátoru

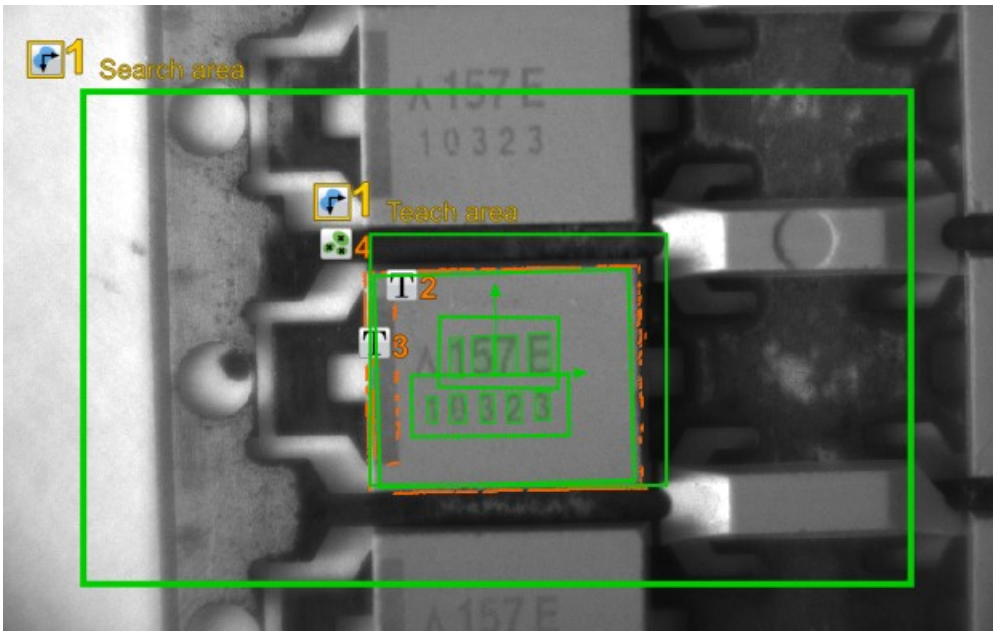
Po nastavení optimálních parametrů a nasazení do výroby by pravděpodobně byl využíván externí spouštěč (například senzor polohy, údaj od nadřazeného řídicího systému a další) a kamera by byla přepnuta do druhého módu označovaného jako „External trigger“.

Nalezení lokace kondenzátoru pomocí porovnávání kontury

Pro nalezení polohy kondenzátoru v obraze byla využita funkce porovnání kontur v obraze s naučeným modelem. Kondenzátor, který nevykazoval po vizuální kontrole žádnou vadu, byl vybrán pro vytvoření modelu. Načtená předloha musela být upravena - byly vymazány kontury číselného potisku tak, aby vyhledávání fungovalo i pro jiná číselná označení. V souvislosti s vytvořením modelu bylo nutné správně posunout citlivost detektoru hran tak, aby byly dostatečně viditelné hrany a částečně i potisk (kontrolní obdélník), ale zároveň nebyl obraz plný přebytečných šumových bodů. Vzhledem k upevnění kondenzátorů v pásku, nejsou hrany ideálně viditelné a model má přerušovanou linku. Pokud by bylo nutné kontrolovat také kondenzátory otočené o 180°, tak vzhledem k pravidelnému symetrickému tvaru kondenzátoru by to bylo velmi složité. Z tohoto důvodu byl v modelu ponechán obrys natisknutého kontrolního obdélníku, díky kterému je možné určit natočení kondenzátoru.
Výsledný vzor v porovnání s jiným vzorkem kondenzátoru je na obrázku 5.2, korelace modelu s aktuálním snímkem je 94%. Nastavení vyhledávání dílu se týká především možného natočení kondenzátoru v obraze (povolena je rotace o +-180°). Pro úspěšné určení polohy vyhledávaného předmětu stačí korelace 70%. Při nižší hodnotě shody již docházelo k špatnému určení umístění předmětu. Další programové bloky jsou vázány na správné určení polohy a posunují se podle souřadnic objektu. Například vyhledávání textu probíhá v přednastavené poloze vůči modelu. V případě, že není objekt v obraze nalezen, nevykonají se ani další části kontrol, které jsou závislé na prvku určení polohy.

Rozpoznání textu - kapacita a šarže

V první položce kontroly vlastností proběhne rozpoznání textového popisu na těle kondenzátoru. Pro získání optimálních výsledků funkce rozpoznání textu bylo vhodné rozdělit text (podle řádků) na dvě části. Dalšími důvody rozdělení mohou být snadnější kontrola pro vyhodnocení úspěšnosti a také jednodušší nastavování a hledání



Obr. 5.2: SMD kondenzátor porovnaný s referenčním modelem. Oblast pro vyhledávání je ohraničena největším obdélníkem. Zvýrazněné oblasti pro vyhledávání kapacity, doplňkového znaku a výrobního čísla.

vhodných parametrů. Nejprve je rozpoznána hodnota kapacity a dále výrobní číslo. Přestože se v tomto případě bude jednat o dvě samostatné funkce, mají některé společné vlastnosti a nastavení. Pro každou funkci OCR může uživatel zvolit jeden z následujících nabízených typů (formátů) textu pro čtení:

- Datum - lze zvolit různé formáty, včetně různých oddělovačů
- Numerický - pevně nastavená nebo proměnná délka
- Hexadecimální - pevně nastavená nebo proměnná délka
- Typ písmo - je možné upřesnit malá/velká písmena (nebo kombinace), pevně nastavená nebo proměnná délka
- Časový - nastavitelný formát s nebo bez vteřin
- Maska - pevná délka, lze nastavit speciální znaky, zástupné symboly jsou v tabulce 5.1

Jako nejvhodnější se se pro potřeby této úlohy, respektive typu rozpoznávaného textu, jeví typ maska. Konkrétní znění masky závisí na formátu očekávaného textu. První řádek je řetězec tvořen třemi ciframi pro hodnotu kapacity a jednoho zástupného znaku. Na předchozích obrázcích se jedná o řetězec 157E. Tedy tomu odpovídá maska 111A. Pro jiné formáty by docházelo k odpovídající změně masky. Obrázek číslo 5.3a zobrazuje základní nastavení funkce pro rozpoznání prvního řádku textu, tedy kapacity. Na vedlejším obrázku můžeme vidět ukázku identifikovaného textu.

Tab. 5.1: Přehled zástupných symbolů pro identifikaci textu pomocí masky.

Hledaný znak	Zástupný symbol
Cifra	1
Hexadedcimální znak	H
Velké písmeno	A
Malé písmeno	a
Přídavný znak (libovolný z .,:+-/)	$
Ignorovat	x
Určený symbol	.:-/+()

Po nastavení formátu textu musí uživatel upřesnit také další nastavení. Mezi nejdůležitější patří typ fontu. V tomto případě se jedná o standardní font, ovšem kamera nabízí funkci rozpoznávání tečkovaného fontu, který se často používá pro potisk obalů potravin (datum spotřeby, výrobní šarže). Dále byl pro tento případ zvolen robustní mód rozpoznávání (na výběr je ještě druhá varianta rychlý). Tato nastavení je možné vidět na snímku obrazovky 5.3a. Je nutné určit polaritu textu, jedná se o tmavý text na světlejším pozadí, ale k dispozici je i druhá možnost - světlý text na tmavém pozadí. Poslední základní a důležité nastavení se upravuje pomocí táhla a určuje míru prahu pro rozpoznání znaků. Pro správné fungování je nutné mít optimálně nastavenou citlivost detektoru hran. Další možnosti nastavení jsou spíše doplňkové, jedná se například o filtrování malých znaků, úpravu tloušťky fontu nebo změnu otočení znaků. Po provedení všech nastavení se v horní části panelu ukazuje aktuálně přečtená hodnota a pod ní je možné zapsat hodnotu očekávanou. Pokud zde uvedeme znění řetězce, jsou tyto dvě položky porovnány a podle tohoto se rozhoduje, zda je díl OK nebo NOK. V případě, že zůstane pole s očekávanou hodnotou prázdné, je označen každý obrázek s přečtenými znaky, které odpovídají přednastavené masce, příznakem OK.

Obdobným způsobem lze postupovat u druhého řádku text, výrobního čísla. Na kontrolovaných vzorcích je číslo tvořeno pěti ciframi, tudíž je možné nastavit typ textu na číslice („Numerals“). V případě složitějšího textového řetězce by bylo nejvhodnější nastavit typ maska. Tento typ taky použijeme, jelikož u jiných vzorků je tvořen druhý řádek například řetězcem „104U0“. Tomuto případu odpovídá maska 111A1. Každá série bude mít pravděpodobně jiný řetězec a tomu musí být přizpůsobena maska. V takovém případě ji lze nastavovat pomocí vstupního rozhraní. Z vyššího řídicího systému nebo z operátorského panelu by kamera mohla přijímat očekávané hodnoty masky a řetězce a přímo kontrolovat správnost potisku. Nastavení této druhé funkce identifikace znaků probíhá opět metodou pokus/omyl a příliš

(a) Nastavení identifikace prvního řádku textu. Provedeno mocí masky (111A).

(b) Ukázka rozpoznání prvního řádku textu (kapacity).

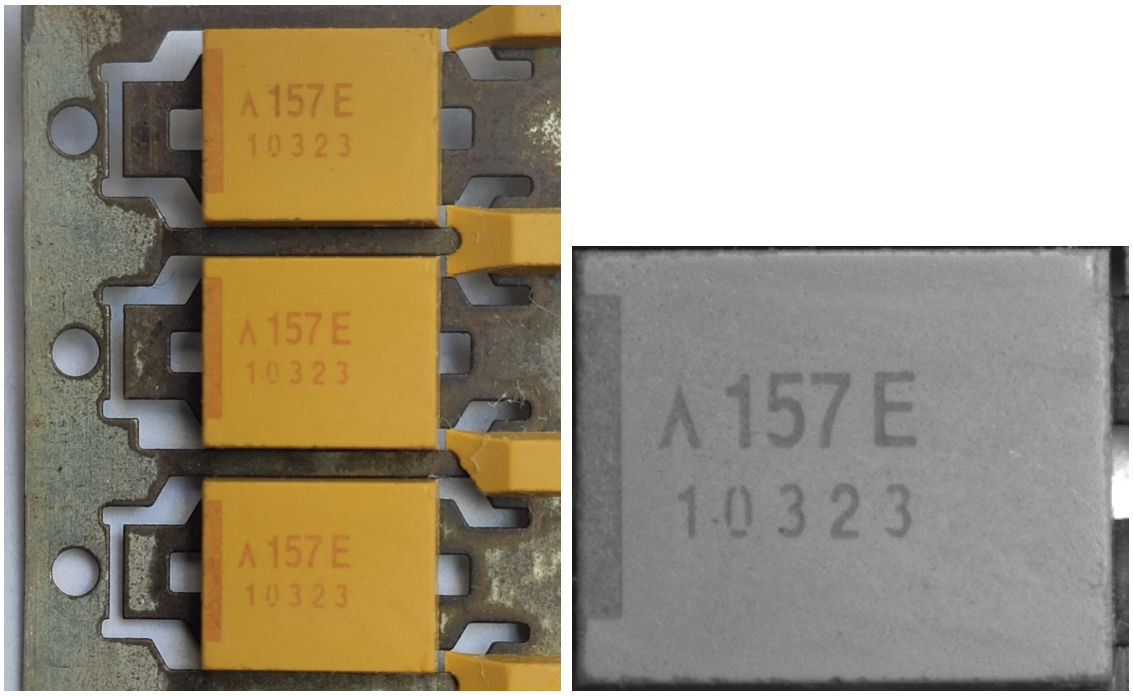
Obr. 5.3: Identifikace hodnoty kapacity a doplňkového symbolu.

se neliší od obdobné první funkce. Znovu se jedná o tmavý text na světlém pozadí a poloha oblasti pro vyhledávání se odvíjí od funkce pro určení polohy kondenzátoru. Vzhledem k tomu, že aplikaci není nutné vytvořit s orientací na rychlost, je mód rozpoznání nastaven na robustní.

Nalezení vad na povrchu kondenzátoru

Smart kamera Baumer má v této aplikaci také za úkol kontrolovat proužek v levé části kondenzátoru a vady na povrchu. Možné a očekávané vady jsou zbytky lepidla, ukáplá barva, různé typy nečistot a škrábance. Oboje se projevuje jako nehomogenita na povrchu kondenzátoru. Po vyzkoušení různých možností kontroly (porovnání se vzorem, kontrola podle naučeného modelu) se ukázala jako nejvhodnější (a jediná použitelná) funkce počítání tmavších a světlejších oblastí. V programu se tato funkce nazývá „Count areas“ a lze ji najít v záložce porovnání vlastností.

Vady na kondenzátoru mohou mít několik typů a ne všechny musí vést k označení kusu jako NOK. V praxi si zákazník určí, které vady jsou již neúnosné a naopak které jsou příliš malé na to, aby způsobily problémy. Některé typy vad jsou na kameře velmi dobře viditelné, ovšem při pohledu okem jsou neznatelné. V této diplomové práci byla tendence detekovat větší vady, které překrývají text nebo omezují čitelnost proužku. Vzhledem k omezeným možnostem kamery, respektive ovládacího SW, není v jejich možnostech detekovat všechny vady. Na následujících obrázcích jsou zvýrazněny některé vady. V popisku je uvedeno, zdali vada vede k znehodnocení kondenzátoru či nikoli. Na obrázku 5.4b pořízeném kamerou Baumer je možné vidět nedokonalosti. Při pohledu lidským zrakem (tomu odpovídá obrázek 5.4a) tyto nedokonalosti nejsou vidět a kondenzátor je možné označit za dobrý. Některé kondenzátory v datasetu mohou vzbuzovat dojem, že obsahují vady, přestože by kontrolou lidským okem bez problémů prošly. Některé typy vad jsou vidět na obrázcích 5.5.

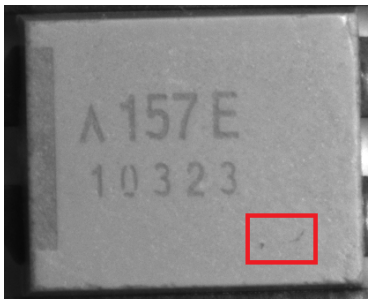


(a) Pohled na kondenzátory vyfocené standardním fotoaparátem. Kontrolovaný kondenzátor uprostřed.

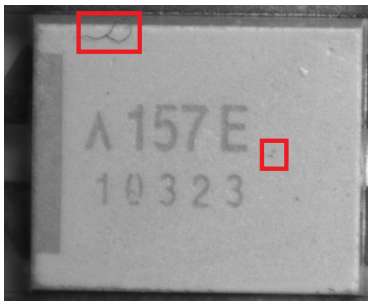
(b) Prostřední kondenzátor vyfocený kamerou Baumer.

Obr. 5.4: Porovnání fotografie pořízené fotoaparátem a fotografie pořízené kamerou Baumer. První fotografie odpovídá lidskému zraku.

Kontrolovaný kondenzátor nesmí obsahovat žádnou oblast, která by odpovídala nastaveným parametrům vyhledávání, tedy je nutné nastavit počet povolených oblastí minimálních a maximálních na nula. Funkce je nastavena tak, aby reagovala na tmavší oblasti, hodnotu spouštění je možné měnit pomocí posuvníku. Dalším nástrojem pro zlepšení hledání vad je filtr velikosti pole. „Area filter“ označuje nástroj, který odstraňuje z výsledku vyhledávání buď malé nebo velké plochy. Aktivováním filtrace malých ploch je zajištěno, že za vadu nebudou považovány příliš malé odchylky nebo například malá smítka. Vzhledem k proměnlivosti jasu byla aktivovaná funkce pro referenční oblast, která upravuje jas podle naučeného referenčního obrázku. Vytvořená referenční oblast je zobrazena jako modré kolečko na obrázku 5.6b. Funkce reference je opět spjata s první funkcí vyhledání dílu v obraze, a tudíž se posunuje právě podle polohy kondenzátoru. Ukázka jedné vady na povrchu kondenzátoru viz obrázek 5.6a. Výsledek určení této vady s označeným místem je na obrázku 5.6b, nalezená vada je označena v programu jako křížek.

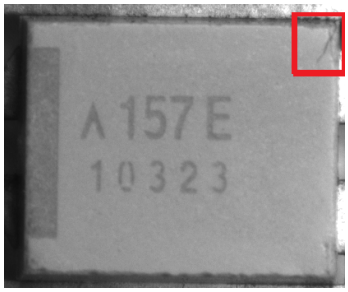


(a) Drobné vady nepřekrývající text ani kontrolní proužek. OK díl.

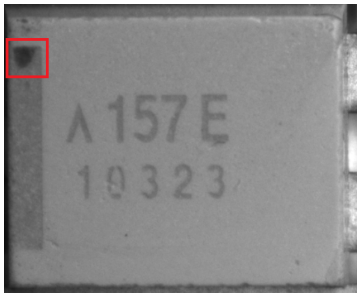


(b) Drobné tečky mimo nápis, vlákno spadlé na povrch. OK díl.

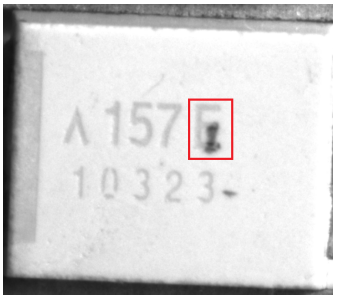
(c) Otřepy na okrajích. OK díl.



(d) Světlejší tenká vada na okraji. OK díl.

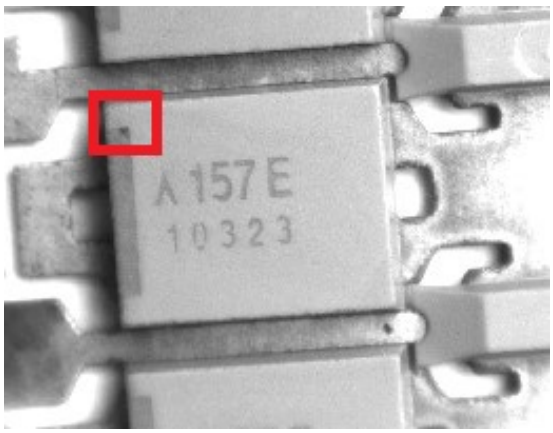


(e) Výrazná skvrna přes kontrolní proužek. NOK díl.



(f) Výrazná skvrna přes natisknutý text. NOK díl.

Obr. 5.5: Ukázky různých vad na kondenzátoru.



(a) Kondenzátor se zvýrazněnou vadou na povrchu.

(b) Nalezená vada pomocí programu. V pravé části referenční oblast pro korekci jasu.

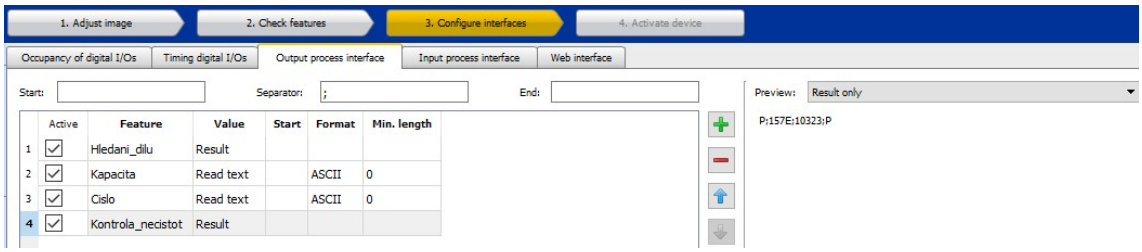
Obr. 5.6: Vada potisku kondenzátoru a její nalezení pomocí funkce „Count areas“.

5.1.2 Nastavení komunikace

V reálném systému by bylo vhodné, aby kamera komunikovala s ostatními zařízeními, především nadřazeným řídicím systémem. Tato možnost již byla zmíněna v kapitole 3.4.1. Dalším důvodem pro nastavení této funkce je optimalizace vytvořené aplikace a přehled o aktuálním vyhodnocování při testování. Při zkoušení úlohy může uživatel nechat zaznamenávat výstupní komunikaci a tím zjišťovat hodnoty a výsledky z kontrol vlastností. Tyto záznamy lze jednoduše využít při ověřování úspěšnosti aplikace, viz další kapitola 5.1.3. Používaný model kamery Baumer disponuje protokolem TCP/IP. Možné je odesílat výsledky jednotlivých rozhodovacích procesů, což jsou znaky P (pass) nebo F (fail), pro dobrý díl, respektive špatný. A nebo může kamera odeslat přímo určené parametry z kontrol vlastností. Například pro funkci hledání dílu to může být míra shody v %, střed objektu nebo úhel natočení. Pro další funkce jsou možná znění odesílané zprávy různá. V této kontrolní úloze bylo zvoleno odesílání následujících dat:

- Výsledek nalezení dílu podle hodnoty korelace (podobnost aktuálního objektu s modelem)
- Přečtená hodnota kapacity
- Přečtené výrobní číslo kondenzátoru
- Výsledek kontroly nečistot

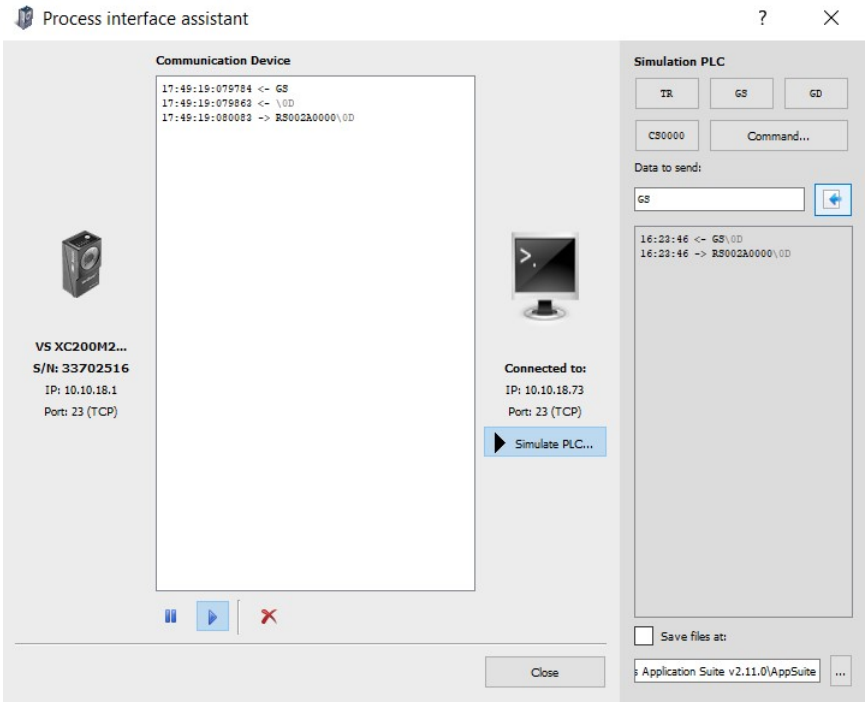
Jako dělící symbol byl použit středník. Možné je nastavit startovní a ukončovací symbol. Na následujícím obrázku 5.7 je zobrazeno možné nastavení a náhled výsledné zprávy. Text zprávy je tvořen tímto řetězcem „P;157E;10323;P“. V tomto případě je nalezení polohy kondenzátoru P (Pass), kondenzátor nalezen, přečtená kapacita 157E, výrobní číslo 10323 a kontrola nečistot má výsledek P (žádné nečistoty).



Obr. 5.7: Ukázka nastavení a formátu výstupní komunikace při kontrole kondenzátoru.

Celkový výsledek je složen z jednotlivých kontrol vlastností pomocí výrokové logiky. K dispozici jsou funkce logického součtu (OR) a logického součinu (AND). Je možná libovolná kombinace výsledků kontrol a také digitálních vstupů. V tomto případě se jedná o logický součin všech podčástí a tím je vytvořen celkový výsledek.

Tedy pokud je jakákoliv část označena F (Fail), je celkový výsledek rozhodovacího procesu označen také F/NOK. Obdobně je možné nastavit až pět částečných výsledků, které se mohou zrcadlit na digitální výstupy (lze nastavit signál pro dobrý nebo pro špatný díl). V případě potřeby je možné mít negované parciální výsledky nebo jednotlivé části.



Obr. 5.8: Okno nástroje „Process interface assistant“ se zapnutým simulovaným PLC. Nástroj slouží pro komunikaci s kamerou a posílání zpráv.

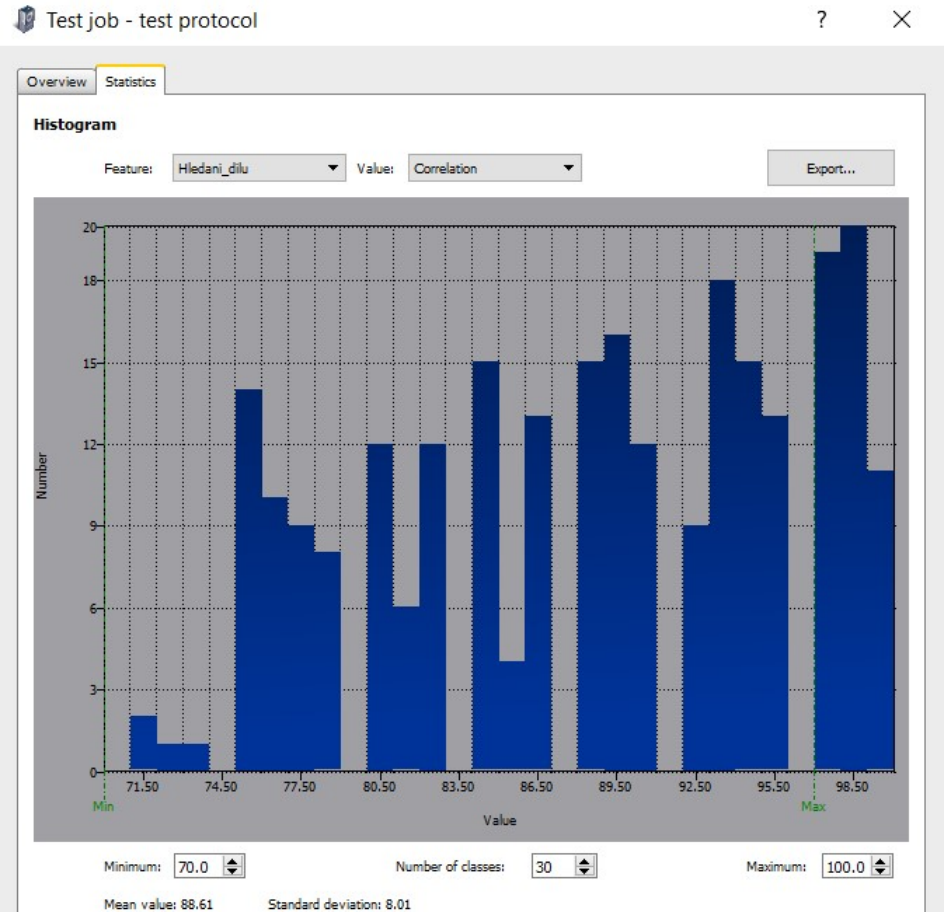
Před nasazením do ostrého provozu může programátor kamery ověřit přijímaná data z kamery pomocí nástroje „Process interface assistant“ a v něm integrovaného simulovaného PLC. Náhled okna asistentu je na obrázku 5.8. V levé části okna jsou k dispozici informace ohledně kamery (název, sériové číslo) a síťové informace (IP adresa a port kamery). Na druhé straně okna jsou údaje ohledně počítače, respektive simulovaného PLC (IP adresa a port). Pro zobrazení historie odeslaných a přijatých dat slouží hlavní část uprostřed okna, kde je u odpovídajícího času uvedena přijatá respektive odeslaná zpráva. Zprávy lze kameře posílat pomocí pole v pravé části okna. V dokumentaci najdeme podporované TCP příkazy. Slouží pro práci s aplikacemi v paměti kamery, statistikami (jejich resetem), alarmy a s dalšími možnostmi ovládání. Příkazy jsou v nápovědě uvedeny i s příklady použití. Pro debuggování aplikace je možné zaznamenávat celou komunikaci a dále s tímto logem zpětně pracovat.

5.1.3 Ověření funkčnosti aplikace a vyhodnocení úspěšnosti jednotlivých programových částí, vyhodnocení rychlosti

Vzhledem ke komplexnosti nástrojů integrovaných do programu VeriSens Application Suite nechybí ani prostředek pro vyhodnocování úspěšnosti a statistik vytvořené aplikace, který je v programu označován jako „Test Job“. Po zvolení této funkce máme na výběr dvě možnosti - testovat přímo na živém obrazu z kamery (například při spouštění linky nebo při testování výkonnosti) nebo použít předem připravené snímky z určené složky. Právě možnost testovat úspěšnost nastavené aplikace na neměnných obrazech byla využita pro další optimalizaci parametrů u jednotlivých funkcí. Před samotným spuštěním testu musí uživatel nastavit další možnosti. Především je nutné vybrat složku, ze které budou brány testovací obrázky, dále určit, které snímky chce ukládat - pouze chybné, pouze správné nebo všechny, se kterými proběhne test. Pro rychlejší orientaci ve výsledcích lze uložit záznam výstupního rozhraní do textového dokumentu. Této možnosti bylo využito pro výpočet celkové úspěšnosti, zlepšení parametrů a přehled, které snímky nejsou správně určeny. Formát výstupní komunikace je obdobný, jako je popsáno v kapitole 5.1.2. Po nastavení jednotlivých voleb je možné spustit samotný test.

Po proběhnutí testu a vyhodnocení všech obrazových dat je zobrazen protokol a statistiky testu. Protokol o testu obsahuje nejen výsledky, ale také informace o aplikaci, verzi softwaru a kamery. Hlavní tabulka zobrazuje počty OK a NOK dílů rozdělených podle složky umístěných fotografií. Druhá tabulka doplňuje přesnější informace k jednotlivým kontrolám vlastností (znovu pomocí počtu OK a NOK). V prvním řádku tabulky je uvedena celková chybovost a v následujících řádcích jsou uvedeny počty a chybovosti jednotlivých kontrol. Mezi částmi, které tvoří tento protokol, můžeme najít informace o typu, názvu kamery. Dále nastavení získávání obrazu (expoziční čas, zesílení, citlivost hranového detektoru, informace o osvětlení a typu spouštění ...), přehled časování. Nechybí ani vzorce použité pro vytvoření celkového, popřípadě dílčího výsledku logického rozhodovacího procesu. Poslední částí protokolu je informace o čase začátku a konce testu pro snadnější identifikaci.

Výhodou nástroje „Test job“ jsou také integrované statistiky a náhledy grafů, ať už pro jednotlivé části kontroly vlastností nebo pro celkovou úspěšnost. Obrázek 5.9 ukazuje jeden z výsledných grafů, jedná se o prvek kontroly hledání podle obrysu. V grafu je zobrazen počet prvků v odpovídajících procentuálních shodách s modelem. Jedná se o interaktivní graf a zobrazení si uživatel může přizpůsobit podle svých potřeb. Jedná se především o omezení minima a maxima grafu a počet tříd, na které bude graf rozdělen. Tato data lze exportovat do souboru formátu csv a dále s nimi pracovat. Například je importovat do dalšího programu pro vytvoření vyhodnocení statistik.



Obr. 5.9: Ukázka statistiky z testovacího nástroje. Prvek hledání dílu v obraze.

Vzhledem k neustálé změně parametrů a nacházení jejich optimálních hodnot a pro ověření výsledné úspěšnosti byl zvolen následující postup. V tabulkovém editoru Excel byl vytvořen soubor, který obsahuje data dvojího typu. Nejprve jsou uváděny informace o obraze (číslo obrázku) a potisk kondenzátoru. Tedy v první části tabulky jsou uvedeny reálné hodnoty, jak byly vizuálně přečteny z obrazu nebo přímo (fyzicky) z kondenzátoru. V druhé polovině jsou pomocí funkce importování vložena data ze souboru se záznamem výstupní komunikace z kamery. Každý sloupec takto vytvořené tabulky odpovídá jedné části kontroly vlastností, respektive jednomu prvku výstupu komunikace kamery. Konkrétně se jedná o následující informace: nalezení dílů (Pass, Fail), kapacita a výrobní číslo (přečtené řetězce), nalezení nečistot (Pass, Fail). Poslední využitý sloupec slouží k porovnání hodnot reálného stavu a přečtených hodnot. Graficky jsou zvýrazněny neshodné části v tabulce, tedy části, kde kamera určila hodnoty jinak, než jak jsou ve skutečnosti. Ukázka části tabulky v tabulkovém editoru je na obrázku 5.10. Postup pro optimalizaci parametrů byl následující:

- spuštění funkce testu na celý dataset
- uložení výstupní komunikace do textového souboru
- načtení dat z textového souboru do tabulkového editoru
- zjištění chybně určených obrazů
- úprava parametrů kontrol vlastností
- spuštění testu s upravenými parametry a srovnání nové úspěšnosti

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Č.	Najdi dil	Kapacita	Cislo	Najdi necistoty	Column1	Column2	Column3	Column4	Chyba určení
2	1	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
3	2	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
4	3	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
5	4	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
6	5	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
7	6	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
8	7	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
9	8	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
10	9	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
11	10	P	157E	10323	P	P	157L	10323	P	A
12	11	P	157E	10323	F	P	157E	10323	F	N
13	12	P	157E	10323	F	P	157E	10323	F	N
14	13	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
15	14	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
16	15	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
17	16	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
18	17	P	157E	10323	F	P	157E	10323	F	N
19	18	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
20	19	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
21	20	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
22	21	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
23	22	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
24	23	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
25	24	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
26	25	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
27	26	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
28	27	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
29	28	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
30	29	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N
31	30	P	157E	10323	P	P	157E	10323	P	N

Obr. 5.10: Ukázka části tabulky pro vyhodnocení kontroly kondenzátorů. Červeně jsou zvýrazněné rozdíly přečtených a reálných hodnot.

Vyhodnocení úspěšnosti identifikace

Tabulka 5.2 uvádí počty úspěšně provedených kontrol jednotlivých vlastností pro jeden dataset o velikosti 500 fotografií. Ve všech případech byl správně nalezen kondenzátor pomocí funkce porovnání kontur. Další dva řádky tabulky ukazují úspěšnost rozpoznání textu, velikosti kapacity a výrobní šarže. V počtech správně rozpoznaného textu jsou i případy, kdy byl text částečně nebo celý překryt vadou, a tak kamera nemohla správně identifikovat znaky. Ve čtyřech případech byla špatně přečtena kapacita. Ve dvou případech došlo k chybnému přečtení písmena, kde místo znaku „E“ je přečten znak „L“. Podobnost těchto písmen je relativně velká. Ve zbylých případech došlo k chybné identifikaci číselného označení i znaku. Především se jedná o záměnu podobných vzhledů cifer 1 a 7. V posledním řádku tabulky jsou data týkající se kontroly nečistot na kondenzátoru. Nejnižší úspěšnost z kontrol vlastností

je zapřičiněná především velkým rozsahem možných vad. Program pro kameru obsahuje základní funkce kontroly a nedisponuje žádným detektorem vad, který by se dokázal učit ze sady dobrých/špatných vzorků. Detektor zaznamenává větší vady a program ke kameře neumožňuje nastavit jemnější rozpoznaní defektů.

Tab. 5.2: Tabulka úspěšně určených kontrol vlastností u kondenzátoru. Dataset o velikosti 500 fotografií. Pokud je potisk překryt vadou, je započítán jako správně rozpoznaný.

Funkce kontroly	Počet správně určených (pro 500 obrazů)
Nalezený díl	500
Správně rozpoznaná kapacita (pokud ji nepřekrývá nečistota)	496
Správně rozpoznané výr. číslo (pokud ho nepřekrývá nečistota)	500
Správně nalezeny nečistoty	478

Rychlost snímání a vyhodnocování

Koncepce úlohy se zaměřuje především na přesnost, nikoliv rychlost, přesto se následující část textu bude zabývat rychlostí jednotlivých částí a možností zrychlení procesu kontroly. Rychlosti uvedené v tabulce 5.3 jsou získány z nástroje „Test job“, kdy test probíhá na kameře a živém obrazu, a z jeho následného protokolu. Celkový čas po součtu času pro získání obrazu a jednotlivých kontrol vlastností je také uveden v tabulce. Po výpočtu průměrné rychlosti z tohoto údaje vyjde rychlost 1,8 dílu za sekundu. Ovšem v protokolu o provedeném testu je hodnota 2,4 kontrol za sekundu, pro průměrný čas 384,96 milisekund. Tento rozdíl není nijak zdůvodněný ani v protokolu a ani v oficiální dokumentaci. Pokud z celkového času odečteme čas potřebný pro získání obrazu, je třeba na vyhodnocení každého obrázku 407,2 milisekund. Po přepočtu vychází 2,46 vyhodnocení za sekundu, tedy obdobná hodnota jako je uvedená v protokolu testu.

V případě potřeby rychlejší kontroly nabízí kamera volbu v rychlém režimu, kdy je omezeno rozlišení kamery. Podle dokumentace k programu je použit v tomto módu každý čtvrtý pixel. Výsledné rozlišení je podle protokolu 800x600 pixelů. V takovémto případě je rychlost určování přibližně 2,4 kontrol za sekundu, respektive podle testovacího protokolu 3,8 výsledků za sekundu. Rozdíl je pravděpodobně způsobený dříve uvedeným důvodem. V případě potřeby rychlé kontroly je nutné mít také dostatečně rychlý přísun vzorků do zorného pole kamery.

Tab. 5.3: Srovnání rychlostí pro jednotlivé části identifikace kondenzátoru a jeho potisku. Plné a omezené rozlišení.

	Průměrný čas [ms] maximální rozlišení	Průměrný čas [ms] omezené rozlišení
Získání obrazu	150,5	76,5
Nalezení kondenzátoru	77,7	33,0
Rozpoznání textu - kapacita	147,3	69,1
Rozpoznání textu - výr. číslo	176,2	128,0
Kontrola nečistot	6,0	1,5
Celkový čas	557,7	308,1

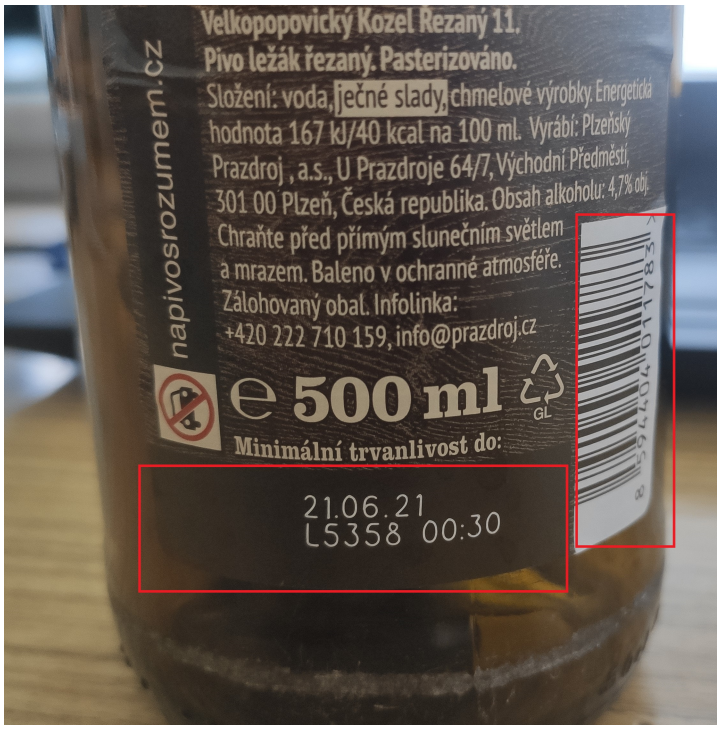
5.2 Kontrola správnosti a kvality potisku data a výrobní šarže na pivních etiketách

Skleněné láhve zůstávají tradiční obalový materiál pro tekutiny nejrůznějšího typu. Typické využití nalézají v průmyslu potravinářském v odvětví pivovarnictví, výroby sirupů a limonád nebo lihovarnictví. Jejich výhodou je především možnost opakovaného znovupoužití. Po navrácení obalu prodejci musí láhev projít několika kroky, aby mohla být znovu naplněna a prodána zákazníkovi. Především jde o proces mytí, naplnění a polepení etiketou (natisknutí potisku). Ve všech těchto úkolech mohou být jednotlivé úkony a jejich výsledky kontrolovány pomocí kamerových systémů. Důraz musí být kladen na perfektní čistotu a kontrolu bezchybnosti především u exponovaných míst (hrdlo, dno a stěny). Například firma NATE – nápojová technika a.s. nabízí celkové řešení kontrolní a plnící linky [41]. Kontrolní část dodává firma CAMEA. UniscanBOTTLE, jak se systém pro vizuální kontrolu nazývá, obsahuje několik kamer a algoritmy pro kontroly všech částí lahve, ovšem bez etikety [42]. Systém by mohl být doplněn smart kamerou pro kontrolu potisku etiket a právě na tuto úlohu se zaměřuje následující část textu. Tedy také v této úloze se bude jednat o kontrolu potisku, konkrétně data a výrobní šarže na pivních lahvích, respektive jejich etiketách.

V první fázi je nutné nalézt text ve vyhraněném poli a v druhé identifikovat jednotlivé znaky. Pro otestování co nejvíce funkcí a vlastností smart kamery byla přidána doplňková kontrola (čtení) čárového EAN kódu z pivních etiket. Identifikace by měla probíhat z jednoho obrázku spolu s kontrolou potisku.

Pro úlohu byly vybrány pivní lahve pivovaru Velkopopovický Kozel, z důvodu stejného formátu a umístění potisku na různých typech piv. Jsou použity lahve od těchto typů piv: Kozel Světlý, Kozel 11, Kozel Černý, Mistrův ležák, Kozel Řezaný

11 a Kozel Florian. Přestože formát tiskových dat je stejný, etikety jednotlivých druhů piva se liší. Jde především o různé barevnosti etiket. Zajímavostí je, že se podařilo zakoupit rozdílné etikety stejného druhu piva (Kozel 11). Pravděpodobně došlo v nedávné době ke změně vzhledu a designu etiket a v obchodech jsou stále k dispozici nevyprodané skladové zásoby. Pro tuto úlohu lze použít obě verze etikety, protože formát potisku a umístění zůstalo nezměněno. Ukázka pivní etikety se zvýrazněnými oblastmi zájmu je na obrázku 5.11. Oblast se nachází v dolní části zadní etikety. Tisková plocha je tvořena jednou barvou a odpovídá barevnému tónu etikety, tedy liší se podle typu piva. Barevné tóny jednotlivých etiket jsou rozmanité - od světlých oranžových barev, přes zelené, hnědé až do černé. Potisk samotný vznikl u všech lahví tiskem bílé barvy. Font výrobních údajů je u tohoto výrobce tradiční, ovšem jiní potiskují svoje etikety pomocí tečkovaného tisku. Pro takové případy nabízí software kamer Baumer možnost „Dot-Print“ pro optimální rozpoznání tohoto typu tisku. Tato funkce byla také otestována na několika vzorcích etiket.



Obr. 5.11: Detail oblasti zájmu - datum, číslo šarže, čas a čárový kód.

Při dalším průzkumu trhu s pivními lahvemi bylo zjištěno, že obdobný typ a umístění potisku nabízí také Radegast Ryze Hořká 12, Budweiser Budvar Original a Birell Zelený ječmen. Jedná se o výrobky pivovarů patřících do skupiny Plzeňský Prazdroj, a. s.. Další druhy piv od tohoto výrobce mají podobný systém potisku, ovšem formát se liší (mají přidanou pomlčku). Po relativně snadné úpravě masky a polohy rozpo-

znávaného textu lze číst i tyto další etikety ostatních výrobců. Po nasazení kamery přímo do výroby by bylo možné nastavovat masku pomocí nadřazeného řídicího systému, popřípadě aktivovat webové rozhraní, a operátor by na připojeném monitoru přímo ve výrobě nastavoval očekávaný formát šarže nebo přesné znění potisku.

Pro nalezení co nejoptimálnějších parametrů jednotlivých nastavení byl pořízen neměnný dataset. Při výběru vzorků lahví byla snaha o různé údaje na potisku. Přesto byly i v různých obchodech zakoupeny lahve ze stejné šarže, tedy se stejným potiskem. Z tohoto důvodu se některé potisky opakují, přestože se jedná o jinou lahev. Ukázka části kontrolovaných lahví je na obrázku 5.12. Pro co největší různorodost celé skupiny fotografií byla každá láhev vyfotografována desetkrát. Snahou bylo, aby se vždy změnila alespoň část scény – světlo, stín, odrazy na lahvi nebo se láhvi změnila pozice, popřípadě natočení. Pro pořízení datasetu bylo znovu využito nástroje „Record image series“, tedy zaznamenání série snímku přímo v programu VeriSens.

Každé pivní láhvi bylo přiřazeno číslo, pro jednodušší následnou identifikaci v případě nějakých problémů. Název jednotlivých fotografií odpovídá označení lahve. Pokud láhev nese číslo 4, pak jsou jednotlivé fotografie označeny 4_01, 4_02, . . . , 4_10. Takto lze zpětně přiřadit všechny snímky k jejich předlohám a rozpoznat případné problémy nebo nejasnosti. Celý dataset obsahuje 340 různých fotografií.

Obr. 5.12: Část pivních lahví použitých pro vytvoření datasetu.

5.2.1 Čárové kódy

Součástí většiny výrobků na trhu jsou čárové kódy, jedná se o nejrozšířenější prostředek automatické identifikace [43]. Slouží pro rychlou a jednoznačnou identifikaci

určitého typu zboží a výrobků. Najdeme je také na pivních etiketách a úkolem smart kamery může být jejich identifikace a kontrola. Jednotlivé čárové kódy se skládají z černých a bílých pruhů, které mají definovanou šířku. V těchto proužcích jsou kódovány většinou číslice, ale je možné takto formulovat i jiné znaky. V současnosti je k dispozici více než 200 druhů čárových kódů [44].

Nejznámějším a v českém prostředí nejrozšířenějším je kód typu EAN13 (popřípadě EAN8). Oba mají pevnou délku a kódují 13, respektive 8 číslic. Tedy kód je číselného lineárního spojitého typu. Kratší kód se používá u malých výrobků, kam by se fyzicky delší kód nevešel. Každá číslice je kódována pomocí dvou čar a dvou mezer v různých kombinacích.

Systém jednotlivých cifer u kódu EAN13 je následující [45]:

- První dvě nebo tři číslice označují zemi původu (859 pro ČR)
- Čtyři až šest následujících cifer označuje výrobce
- Další cifry udávají typ zboží
- Poslední číslice je kontrolní a slouží pro správnost dekódování, zajištěno pomocí výpočtu jednoduchými matematickými operacemi (samodetekující kód)

(a) Čárový kód typu EAN8. (b) Čárový kód typu EAN13.

Obr. 5.13: Ukázka čárových kódů typů EAN8 a EAN13 [45].

Kamera Baumer VS XC200 umožňuje rozpoznávání čárových kódů pomocí integrované funkce „Barcode“. Doplňkovou funkcí je určení kvality čárového kódu podle ISO/IEC 15416 [36]. Výsledkem určení kvality je osm dílčích skóre a jedno celkové. Zahrnuto je 8 vlastností, které jsou hodnoceny [36]: čitelnost, kontrast symbolů, kontrast hrany, rozdíl odrazivosti mezi pozadím a kódem, defekty, modulace (kontrola šířky jednoduché mezery), dekódovatelnost, další parametry charakteristické pro určitý typ kódu. Písemná škála pro určenou kvalitu kódu je tvořena znaky A-F (A nejlepší, F nejhorší). Detailnější popis určení kvality čárového kódu je popsán také v příručce programu, popřípadě v příslušné normě. Další informace ohledně nastavení identifikace čárového kódu pro tuto konkrétní úlohu jsou uvedeny v kapitole 5.2.2 Rozpoznání čárového kódu.

5.2.2 Nastavení obrazu a prvků kontroly vlastností

Při obecném pojetí této úlohy byla snaha zajistit co nejvyšší robustnost úlohy a pracoviště. Takto definovaná úloha zahrnuje co nejmenší závislost na poloze, natočení, osvětlení láhve a scény. Kamera byla umístěna přímo na pracovní desku stolu a upevněna pomocí držáku. Lahve byly pokládány do předem vymezeného prostoru tak, aby zůstal obraz zaostřen. Jak již bylo zmíněno, scéna je osvětlena pomocí proměnlivého (denního nebo umělého - wolframové žárovky) osvětlení. Postup získání datasetu byl obdobný jako v předchozím případě a odpovídal tomuto schématu: položení vzorku lahve do vymezeného prostoru - uložení obrázku - změna polohy, pootočení nebo změna osvětlení láhve. Takto bylo pořízeno deset rozdílných obrazů každé lahve. Změna natočení a polohy je možná jen v určitých mezích tak, aby etiketa byla ve vymezeném prostoru vyhledávání a byla stále zaostřena.

Vzhledem k rozdílnosti etiket pro zahrnuté druhy piva a pro nekonkrétní hranu skleněné láhve nemohla být použita funkce nalezení předmětu pomocí kontury. Jako vhodnější se ukázalo využít modul pro hledání předmětu podle řádku textu (v programu označováno jako „Part location on text line“). Veškeré nastavení musí programátor vytvářet stylem pokus/omyl a ručně přenastavovat jednotlivé hodnoty. Jednoduchou cestou nelze toto nastavení automatizovat. Pro tuto úlohu se počítá s těmito částmi kontroly vlastností:

- Nalezení lokace pomocí řádku textu
- Rozpoznání textu a kontrola kvality tisku - datum
- Rozpoznání textu - šarže
- Rozpoznání textu - čas
- Rozpoznání čárového kódu

Následující odstavce představují detailněji jednotlivá nastavení pro každou z funkcí rozpoznávání vlastností.

Nalezení lokace pomocí řádku textu

Jak již bylo zmíněno v předchozím textu, nelze pro vyhledání polohy kontrolované části využít porovnání kontur. Ani další funkce pro nalezení polohy dílu nejsou vhodné, jedná se o nalezení pomocí hran nebo kruhu. Nástroj nalezení objektu podle řádku textu nemá téměř žádné nastavení, lze měnit pouze velikost minimální korelace, kdy je již díl považován za špatný, a mód změny polohy - otočení a posunutí nebo pouze posunutí. Pro tuto úlohu byla zvolena možnost posunutí a natočení. Důležité je správně nastavit citlivost detektoru hran. V případě vyšší citlivosti může být považován za text i část obrazu, která žádný text neobsahuje a velmi rychle je chybně označena poloha hledaného objektu. Podle nápovědy programu [36] může být řádek textu určený pro tuto funkci natočený maximálně o $\pm 15°$ vzhledem k poli,

které slouží pro naučení funkce. Veškeré další funkce jsou navázány na tuto a podle určené polohy se posunují. Nejmenší nutná míra shody je nastavena na 65 %. V případě, že je shoda nižší, nedošlo ke správnému určení polohy. Funkce může odesílat hodnoty jako celkový výsledek určení (Pass, Fail), míru shody, pozici textu (souřadnice) a nebo hodnotu úhlu natočení textu. Hodnota korelace pro jednotlivé prvky datasetu se pohybuje od 65 % až po 99 %. Průměrně se hodnota shody pohybuje na úrovni 78 %. Tyto údaje byly zjištěny pomocí nástroje statistik při vyhodnocování úspěšnosti celého programu.

Obr. 5.14: Určení polohy na základě textu vytištěného na lahvi. Míra shody 84%.

Rozpoznání textu a kontrola kvality tisku - datum

Po určení polohy je možné pokračovat v určování dalších vlastností. Jako první je rozpoznáno datum spotřeby. Jedná se o největší vytištěný údaj. Formát je standardní DD.MM.YY (D - den, M - měsíc, Y - rok). V případě potřeby umožňuje program nastavení také jiného formátu, popřípadě použití jiného oddělovače (například lomítka). Další nastavení je obdobné jako bylo popsané v kapitole 5.1.1. Jako první je vhodné nastavit posuvníkem práh citlivosti. Vzhledem k tomu, že není třeba mít vysokou frekvenci snímání a vyhodnocování, je mód nastaven na robustní. Toto nastavení tedy nenabízí maximální rychlost, prodlužuje čas potřebný pro výpočty, ale zároveň přináší stabilnější výsledky. Pro zvolené nastavení hranového detektoru

se ukázalo jako vhodné využít filtr s úpravou váhy písma. Po nastavení tohoto parametru na úroveň „-1“ dojde ke zlepšení úspěšnosti vyhodnocení. Tato hodnota filtru způsobí ztenčení jednotlivých číselných znaků a poté více odpovídají fontu, který má kamera pravděpodobně naučený.

Pro otestování dalších funkcí kamery byla snaha využít funkci kontroly kvality potisku. Pro potřeby měnícího se textu je k dispozici funkce „Test print quality of unknown text“, tedy testování kvality potisku pro neznámý text, která umožňuje posoudit kvalitu neznámého potisku. Princip funkce je následující, nejprve jsou rozpoznány všechny znaky a dále jsou jednotlivě porovnány s referenčními vzory. Program pro nastavování kamery bohužel neumožňuje vytvořit modely jednotlivých znaků z více referenčních předloh. Tedy po kliknutí na tlačítko „Learn reference character“ jsou jednotlivé dostupné znaky uloženy a jsou brány jako bezchybná předloha, se kterou jsou další znaky porovnávány. V případě, že na jedné láhvi nejsou všechny cifry (0-9), je potřeba naučit kameru zbývající znaky z jiné etikety. Výsledkem tohoto porovnání je procentuální vyjádření kvality potisku. Při testování této funkce bylo zjištěno, že znaky na různých lahvích mají odlišný tvar a algoritmus programu vyhodnotí kvalitu jako velmi špatnou.

Procentuálně se kvalita potisku podle programu pohybuje přibližně v rozmezí 0-70 %. Při koncepci úlohy jako je tato dochází ke kontrole různých typů lahví, které byly pravděpodobně potištěny různými tiskovými stroji. Použití funkce kontroly kvality tisku je tedy velmi problematické a nelze s ní získávat věrohodné a průkazné výsledky. Porovnání dvou různých potisků s detailem na znak cifry jedna je zobrazeno na obrázku 5.15. Na první pohled je viditelný rozdíl ve fontu cifry jedna. V této úloze nelze funkci kontroly kvality tisku použít.

Rozpoznání textu - šarže, čas

Vzhledem k formátu, kdy šarže a následující údaj jsou rozděleny pouze mezerou, byly vytvořeny dvě různé funkce pro rozpoznání textu. Ukázka textu pro kontrolu je na obrázku 5.11 ve spodním řádku zvýrazněného rámečku. V případě, že by šarže a čas byly odděleny například pomlčkou, bylo by vhodnější spojit čtení do jedné funkce s odpovídající maskou (s vhodným oddělovačem). Dvojitou kopií předchozí funkce identifikace data byly vytvořeny nové kontroly pro identifikaci šarže a údaje ve formátu času. Z dostupné literatury ani internetových článků se nepodařilo zjistit, zdali se opravdu jedná o čas, nebo je to údaj s jiným významem. Přesto má formát korespondující s formátem času.

Na lahvích vybraných pro dataset se objevuje číslo šarže ve formátu písmena L a čtyř cifer. Vzhledem ke skupině kombinované, která zahrnuje písmeno i cifry, bylo nutné zvolit typ masky. Po nahlédnutí do tabulky 5.1 lze jednoduše odvodit, že

(a) (b)

(c) (d)

Obr. 5.15: Porovnání stejného numerického znaku ze dvou různých lahví. Na obrázcích a), c) je potisk vyfocený barevnou kamerou. Obrázky b), d) ukazují detail ze smart kamery Baumer pro naučení reference.

formát bude nastaven na „A1111“. Jedná se o kombinaci jednoho velkého písmena a čtyř cifer.

V pořadí třetí funkce pro rozpoznání textu má za úkol číst text ve formátu času. Znovu lze použít masku nebo přímo typ formátu času. V případě masky je nutné zadat hodnotu „11:11“, tedy dvě cifry, poté oddělovací dvojtečku a další dvě cifry. Pokud bychom zvolili druhou možnost, tedy přímo typ času, je k dispozici formát „HH:MM“ (hodiny, minuty). V případě, že by časový údaj obsahoval také sekundy, je k dispozici typ „HH:MM:SS“ (hodiny, minuty, sekundy).

Obecnější nastavení v obou případech relativně korespondují s předešlou funkcí pro rozpoznání data. Opět se jedná o světlejší text na tmavém pozadí, v programu označováno jako „Light on Dark“. Jde hlavně o práh citlivosti nebo mód, v jakém bude rozpoznávání probíhat. Konkrétní nastavení je robustní mód (vzhledem k orientaci na přesnost, nikoliv rychlost) a práh citlivosti v číselném vyjádření je roven 61 pro šarži, respektive 58 pro čas. Největší pozornost při nastavování musí být věnována prahu citlivosti funkcí rozpoznávání tak, aby výsledky byly co nejlepší. Typ

fontu je výchozí pro plný (netečkovaný) tisk. Filtr ignorování příliš malých znaků nebyl použit. V případě kontroly výrobního čísla byl o jednu hodnotu zmenšen font. Pro kontrolu časového údaje byly zachovány filtry beze změny.

Rozpoznání čárového kódu

Rozpoznání čárového kódu najdeme v záložce identifikace s označením „Barcode“. Výhodou implementované funkce je automatická identifikace typu čárového kódu a rychlé nastavení. Program správně určil, že se jedná o čárový kód typu EAN 13. Další informace nabízí kapitola 5.2.1, která pojednává o EAN čárových kódech, konkrétně typu EAN 8 a EAN 13. V případě potřeby nebo selhání automatické identifikace je možné téměř všechny údaje a nastavení uživatelsky určit.

K dispozici jsou tři módy (profily) předvoleb. Při volbě robustního nebo rychlého módu je většina nastavení automaticky předvyplněná. K dispozici je změna typu kódu, výpočet kvality a omezení doby čtení. Po zvolení třetí možnosti, uživatelsky definovaného typu, dojde k odemknutí veškerých možných nastavení. Přestože pro tuto úlohy byl zvolen robustní typ, rád bych zde zmínil nastavení, která by mohla zlepšit čtení v jiných úlohách. Zajímavé možnosti nabízí záložka „Appearance“, kde může uživatel zvolit polaritu kódu, v tomto případě se jedná o tmavý na světlém pozadí, ale v případě potřeby lze zvolit i opačnou polaritu nebo možnost, kdy typ není přesně určen a kamera by ho měla automaticky rozpoznat. V aplikacích je lepší zvolit co nejkonkrétnější možnosti, jelikož tím dojde k omezení chybných určení a rozpoznání. Ručně lze dále určit minimální kontrast nebo optimalizovat rozpoznávání pro tečkované čárové kódy. V případě neměnnosti polohy, a tedy velikosti čárového kódu, může uživatel do programu zadat velikosti čárového kódu a jeho orientaci. Jako u ostatních identifikačních kontrol i zde, v případě, že víme očekávanou hodnotu přečteného kódu, můžeme zadat tuto hodnotu a tím urychlit rozhodování, zda se jedná o dobrý nebo špatný čárový kód.

5.2.3 Nastavení komunikace

Vzhledem k obdobnému postupu vyhodnocování pomocí tabulky, ve které jsou porovnávány reálné hodnoty a data získaná z kamery, bylo nutné nastavit výstupní komunikaci. Především formát a žádané hodnoty odesílaných dat. Jedná se o přečtené hodnoty z jednotlivých funkcí rozpoznání textu. Pořadí údajů je následující:

- Přečtený text datum
- Přečtený text šarže
- Přečtený text časový údaj
- Přečtený čárový kód (13místný číselný kód)

Jako oddělovací znak byl znovu zvolen středník. Pro láhev s datem spotřeby 07.06.21, ze šarže L5344, doplněnou časovým údajem 18:12 a čárovým kódem 8594404001418 bude výsledná zpráva „07.06.21;L5344;18:12;8594404001418“. V čárovém kódu si lze povšimnout prvního trojčíslí 859, které odpovídá kódu České republiky.

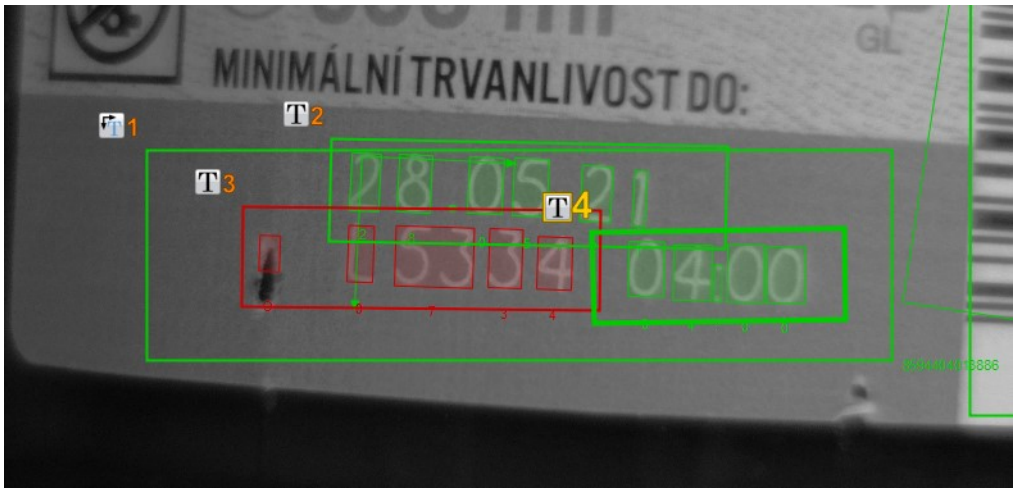
Spuštěný test na stabilní dataset, uložený v počítači, následně vytvoří soubor se záznamem výstupní komunikace. Tento záznam je uložený v textovém formátu. V testu lze nastavit, aby se generoval jeden řádek pro každý obrázek. Jednotlivé zprávy jsou v souboru odděleny znakem nového řádku. Ideální výstupní dokument obsahuje vždy deset řádků stejného textu pro každou láhev. Toto je dáno kompozicí datasetu, který obsahuje deset různých obrazů každé etikety.

5.2.4 Vady na etiketách

Vzhledem k zakoupení vzorků pro dataset přímo z maloobchodních prodejen, nepodařilo se získat vzorky s vadami, kromě jediné lahve. Konkrétně se jedná o fotografie s číslem 25 (vadnou etiketu ukazuje obrázek 5.16). K natržení etikety došlo pravděpodobně při přepravě nebo při přesunu lahve z jiné přepravky. Při úvaze, jaké vady by mohl potisk obsahovat, se dospělo k následujícím možnostem:

- rozmazaný potisk, nečitelná cifra, chybějící znaky
- natržená etiketa
- potisk na jiném než očekávaném místě
- znečištění etikety (kapky vody, barva)
- špatně nalepená etiketa (zkroucená, ohnutá etiketa, špatná poloha nalepení)

Vzhledem k rozsahu a různorodosti vad na lahvích nebyl implementován žádný přímý kontrolní mechanismus. Nejdůležitějšími body je nutnost zachovat čitelnost data spotřeby, šarže a čárového kódu. V případě, že by vada zakrývala nebo degradovala jeden z kontrolovaných prvků, kamera by nebyla schopna ho správně rozpoznat a kontrolovaná láhev by byla označena příznakem NOK (špatná). Příklad takto nerozpoznané lahve je na obrázku 5.16. Problém nastává při vyhledávání šarže, protože natržení etikety je bráno jako jeden znak. Z důvodu správného určení NOK láhve není tento vzorek započítán do celkové úspěšnosti. Pokud by byla vyšší pravděpodobnost výskytu nějaké vady a láhev s touto vadou by nesměla být distribuovaná, bylo by vhodné (pokud by to možnosti kamery umožňovaly) implementovat přímou kontrolu těchto defektů.



Obr. 5.16: Láhev s defektem etikety a chybně určeným datem spotřeby.

5.2.5 Vyhodnocení úspěšnosti jednotlivých programových částí, vyhodnocení rychlosti

Jak již bylo popsáno výše, optimalizace parametrů byla prováděna ručně. Úprava hodnot nastavení člověkem přes program VeriSens Application Suite je také doporučený postup výrobce kamer. Další doladění parametrů je možné provést přímo při nasazení ve výrobě přes webové rozhraní (například přes dotykový panel).

Ověření funkčnosti by se dále mělo také zabývat rychlostí snímání a vyhodnocování. Úloha byla prvotně koncipovaná pro co nejvyšší přesnost, přesto by v určitých případech mohla být důležitá také rychlost. V případě maximálního rozlišení kamery a všech nastavení na robustní se pohybuje rychlost na úrovni 0,7 dílu za sekundu. Po přepočtu se jedná o 2520 prvků za hodinu. Rychlosti jednotlivých částí kontrol se relativně liší, například určení čárového kódu potřebuje 480 milisekund pro nejrychlejší a 857 milisekund pro nejpomalejší určení. Časově nejnáročnější je právě tato funkce identifikace EAN kódu. Další možností zrychlení procesu identifikace by bylo zakoupit čtečku čárových kódů jako další senzor a na smart kameře nechat pouze ostatní úkoly kontroly. Tímto by se zvýšila rychlost na přibližně 6270 lahví za hodinu. Rychlosti určení pro jednotlivé kontroly jsou rozepsány v tabulce číslo 5.4.

Pro zrychlení celého procesu je možností snížit rozlišení kamery a získat tak rychlejší odezvu. Podle [36] je použit jeden pixel ze čtyř při rychlém módu. Při nižším rozlišení je nutné lehce změnit polohu vyhledávacích oblastí. Údaje o časech se sníženým rozlišením jsou uvedeny ve stejné tabulce. Výsledná rychlost se při testování pohybuje okolo 1,5 dílu za sekundu, tedy 5400 dílů za hodinu. Při pohledu do tabulky 5.4 je možné porovnat rychlosti jednotlivých částí s rychlostmi pro plné rozlišení. Pro porovnání přesnosti se sníženým rozlišením by bylo nutné vytvořit

Tab. 5.4: Srovnání rychlostí pro jednotlivé části identifikace pivních etiket. Plné a omezené rozlišení.

Typ kontroly	Průměrný čas [ms] maximální rozlišení	Průměrný čas [ms] omezené rozlišení
Získání obrazu	102,1	52,5
Lokace podle řádku textu	28,6	9,7
Rozpoznání data	171,1	141,1
Rozpoznání šarže	146,6	118,3
Rozpoznání času	125,5	97,2
Rozpoznání čárového kódu	811,3	235,0
Celkový průměrný čas	1385,2	653,8

kompletně nový dataset, korespondující s původním. Při testování malého vzorku se ukázalo problematické především osvětlení. Při malé intenzitě světla odchází k velkým nepřesnostem v identifikaci.

Pro vyhodnocení byla vytvořena tabulka, která zahrnuje správné údaje opsané přímo z kontrolovaných etiket. V druhé polovině tabulky jsou data získaná z výstupní komunikace kamery. Data z kamery jsou do tabulkového programu importována přímo, pomocí funkce vložení dat z textového souboru. Tímto způsobem lze po každé úpravě parametrů jednoduše a rychle vidět úspěšnost. V případě špatného určení některé části lze podle tabulky zjistit číslo chybně určeného obrazu a v programu jej otevřít a parametry vhodně upravit. Poté lze znovu spustit test a obnovit data v editoru tabulek a ihned získat aktuální informace. V případě této úlohy nebylo možné vzhledem k vynucenému formátování v programu Excel kontrolovat chyby po jednotlivých prvcích. I po zvolení stejného formátu u položky data dochází k automatické korekci na formát roku 2021, přestože je zobrazeno 21. Z tohoto důvodu musí ověření správnosti probíhat jako kontrola celé kompletní zprávy. Chybně určené části jsou zvýrazněny červenou barvou, obdobně jako v tabulce na obrázku 5.10. Tabulka 5.5 shrnuje úspěšnost rozhodovacího procesu pro kameru. V tabulce není zahrnuta lahev s defektem etikety, kde kamera nemohla správně určit všechny kontroly textu.

Ukázka špatně rozpoznaných textů a čárového kódu je na obrázku 5.17. V případě chyby na obrázku 5.17a dochází k identifikaci první cifry jedna ještě před natisknutými znaky. Po chybné identifikaci prvního znaku se program snaží nalézt další znaky odpovídající masce a například znak tečky je určen jako cifra 0. Co se týká chybně rozpoznané šarže na obrázku 5.17b, je chybně rozpoznaná šarže způsobená příliš velkým polem pro vyhledávání požadovaného textu. Při zmenšení tohoto

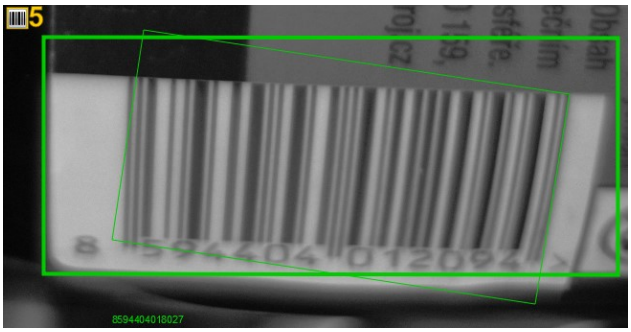
Tab. 5.5: Tabulka úspěšnosti kontroly etiket na pivních lahvích. Dataset o velikosti 330 fotografií.

Funkce kontroly	Počet správně určených (pro 330 obrazů)
Nalezen řádek textu pro lokalizaci etikety	330
Správně rozpoznáno datum	329
Správně rozpoznána šarže	329
Správně rozpoznaný čas	330
Správně rozpoznaný čárový kód	329

pole dojde ke správné identifikaci textu, ovšem v dalších případech jsou výsledky nepřesné. Takto nastavená funkce přináší největší možnou úspěšnost. Poslední obrázek ukazuje chybně určený čárový kód, konkrétně poslední čtyři cifry. Problém s čárovým kódem může nastat, protože vzhledem ke kulatosti láhve je část kódu již rozmazaná, protože je ve větší vzdálenosti než rozpoznávaný text. V tomto konkrétním případě se ale nepodařilo odhalit přesnou příčinu.

(a) Chybně určené datum. Přečtené datum 10.00.21.

(b) Chybně určená šarže. Přečtená hodnota L5014.



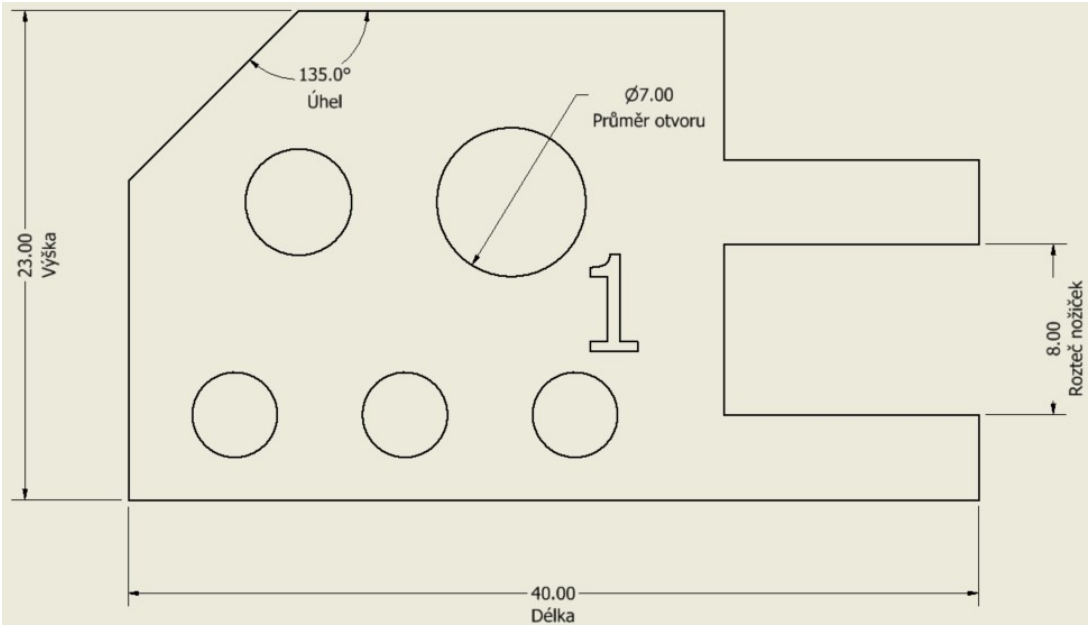
(c) Chybně určený čárový kód. Špatně rozpoznány poslední čtyři cifry.

Obr. 5.17: Chybně určené kontroly vlastností.

5.3 Kontrola rozměrů dílů

Při kompletaci různých mechanických součástí musí být zaručeny tolerance všech jejich rozměrů. Již při výrobě dílů lze vyřazovat chybné kusy za pomocí měření jednotlivých rozměrů. Ruční kontrola nemůže dosahovat takové rychlosti jako měření za pomocí kamer doplněných vhodným softwarem. Výhodou strojového vidění při určování rozměrů jsou především možnost kontroly více rozměrů v jednom kroku, kontrola úplnosti dílu nebo čtení kódů a označení. Rozměry a tvary součástek často zahrnují délku, průměr otvorů, počet výstupů/výřezů nebo úhly natočení určitých částí. V některých případech je možné spojit měření vzdáleností s kontrolou kvality povrchů. U smart kamer je možné za pomoci relativně jednoduché úpravy měřit součásti odlišného typu.

Jako třetí byla zvolena úloha právě z oblasti kontroly rozměrů, bude mít za úkol ověřit další obecné funkce kamery. Podle dokumentace by měla být kamera schopná kontrolovat jak rozměry kulatých otvorů nebo výstupků, tak vzdálenosti rovných ploch a dále úhel mezi určenými hranami.



Obr. 5.18: Navrhnutý díl pro kontrolu rozměrů. Slovně popsány měněné rozměry.

5.3.1 Návrh dílu pro kontrolu, sestavené pracoviště

Pro potřeby úlohy byl navržen díl pro kontrolu, který je vidět na obrázku 5.18. V obrázku jsou pouze rozměry pro kontrolu, které se budou u NOK dílů měnit. Ostatní rozměry jsou pevné. Měněné jsou ve výkresu popsány také slovně, konkrétně

jde o délku, výšku, úhel, průměr otvoru a rozteč nožiček. Návrh dílu probíhal pomocí programu Autodesk Inventor a jeho nástroje iPart. Přes tuto službu lze vytvořit parametrické kóty a pomocí tabulkového procesoru Excel nastavit každému dílu požadované rozměry. Po načrtnutí dílů je nutné je exportovat a zpracovat v programu pro přípravu tisku. V tzv. sliceru dojde k „rozřezání“ modelu, který je poté připraven k tisku ve formě g-kódu. Díly byly vytvořeny z černého PLA (kyselina polymléčná) materiálu, aby byl zajištěn co nejlepší kontrast na bílé podložce. K tisku byla využita FDM (Fused Deposition Modeling) tiskárna s běžnou, univerzální tryskou 0,4 mm. V této tiskárně dochází k tavení vlákna a poté je nanášen na desku pomocí trysky. Při přeměřování vytvořených dílů byly tolerance mezi jednotlivými kusy přibližně 0,15 mm. Několik testovacích sad bylo tedy vytištěno s menší tryskou o průměru 0,2 mm, ovšem tolerance v rozměrech jednotlivých kusů se nezměnily. Část vytvořených dílů je uvedena, spolu s rozměry, v tabulce 5.6. Bylo vytištěno několik sad testovacích dílů (se stejnými nebo různými rozměry). Jednotlivé díly jsou označeny číslem, které je přímo natištěno na dílu (stejnou barvou a nedochází k narušení kontroly).

Tab. 5.6: Část vytvořených dílů pro kontrolu a jejich rozměry. Díly byly navrhnuty v programu Autodesk Inventor a vytisknuty na 3D tiskárně.

Název	Vzdálenost mezi piny	Délka	Průměr otvoru	Potisk	Úhel
1A	8,0 mm	40 mm	7 mm	1	135°
2D	7,9 mm	40 mm	7 mm	29	135°
2E	8,1 mm	40 mm	7 mm	21	135°
3D	8,0 mm	39,9 mm	7 mm	39	135°
3E	8,0 mm	40,1 mm	7 mm	31	135°
4D	8,0 mm	40 mm	7,1 mm	41	135°
4E	8,0 mm	40 mm	6,9 mm	46	135°
5D	8,0 mm	40 mm	7 mm	54	134,5°
5E	8,0 mm	40 mm	7 mm	55	135,5°

Vzhledem ke kontrole rozměrů dílu se ukázalo jako nejvhodnější osvětlit díl zespodu a snímat siluetu. Za tímto účelem bylo sestrojeno pracoviště, které je možné vidět na obrázku 5.19. Vytvořené řešení je složeno z plexisklové desky, která slouží jako podložka, pod kterou je položeno světlo, dále ze svítidla, difuzoru osvětlení a samozřejmě z kamery. Technologie osvětlení je LED, konkrétně typ COB (Chip On Board). Toto technologické řešení spojuje několik LED čipů na jedné desce a světelný zdroj. Díky této technologii nabízí vyšší výkon, který je navíc rovnoměrněji plošně rozdělen. Kamera snímá scénu z horní strany, kde jsou díly postupně vkládány.

Vzhledem ke kontrole rozměrů musí být díl na přesně dané pozici a jeho poloha se nesmí měnit. K účelu kontroly polohy slouží načrtnutá vodítka na difuzní podložce.

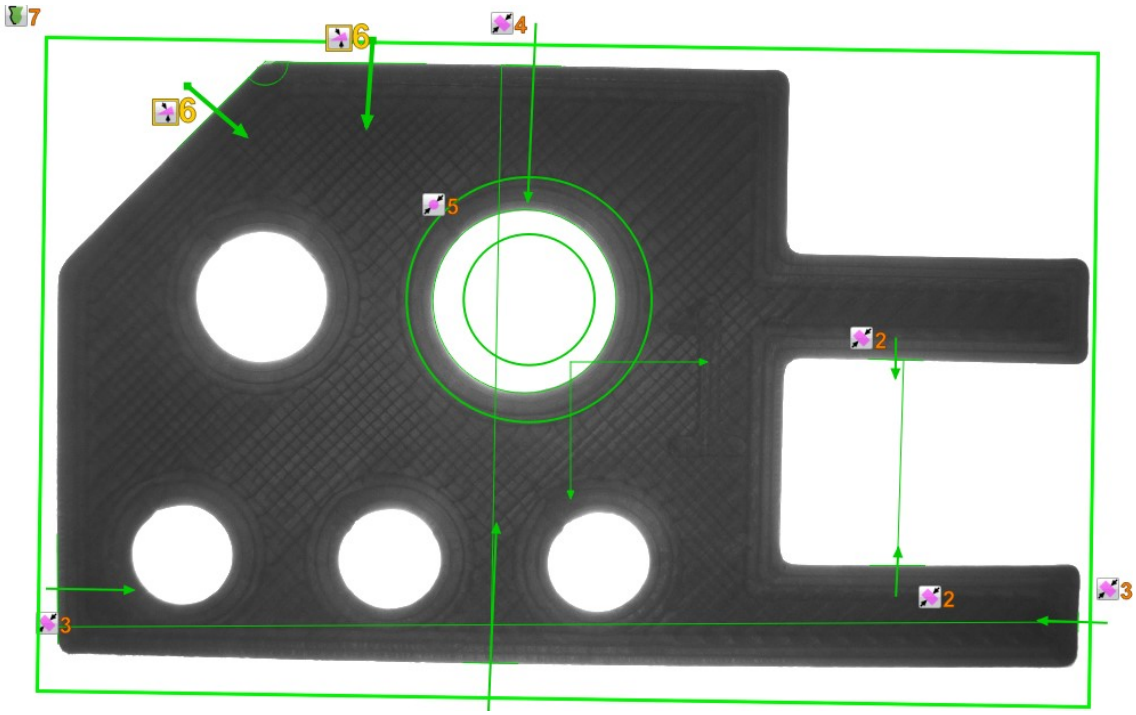
5.3.2 Nastavení obrazu a prvků kontroly

Nastavení získání obrazu odpovídá postupu v předchozích kapitolách. Nejprve nastavíme expoziční čas, popřípadě clonu a dále je objekt zaostřen. Kontroly vlastností korespondují s jednotlivými rozměry, které je nutné kontrolovat. Průběh kontroly se bude skládat z následujících funkcí:

- Nalezení dílu podle kontury
- Vzdálenost nožiček
- Kontrola délky
- Kontrola výšky
- Kontrola průměru největšího otvoru
- Kontrola úhlu
- Kontrola kontury celého dílu

Obr. 5.19: Pracoviště s umístěnou kamerou a zapnutým spodním osvětlením pro kontrolu rozměrů dílu.

Postup získávání obrazu byl proveden podle následujícího schématu. Pod kameru se zapnutým osvětlením byl vložen díl správných rozměrů (v několika verzích) a podle rozměrů, které byly uvedeny v programu pro ovládání kamery, byly nastaveny meze, kterým musí správný díl odpovídat. Tyto rozměry v milimetrech, respektive v pixelech jsou uvedeny tabulce 5.7. Po sadě dílů se správnými rozměry byly do měřicího místa položeny NOK díly se špatnými rozměry. Pro různě velké odchylky od správných velikostí bylo sledováno, zdali hodnoty budou mimo zvolené hranice. Nejmenší rozdíl, který je kamera v nastavené konfiguraci schopna spolehlivě rozpoznat je 0,15 mm. Tento výsledek byl zjištěn pomocí dílů s různými rozměry. Vzhledem k tloušťce trysky použité na vytvoření dílů rozměry přesně neodpovídaly vytvořenému modelu. Každý vytvořený díl byl přeměřen a bylo rozhodnuto, do jaké kategorie patří, tak, aby rozdíl mezi dobrým a špatným dílem odpovídal předpokladům.



Obr. 5.20: Ukázka pořízeného snímku pro kontrolu rozměrů dílu. Všechny kontroly jsou zelené a celkové hodnocení dílu je OK (Pass).

Nalezení dílu v obraze probíhá jako v první úloze pomocí nalezení kontur odpovídajících naučenému modelu. Vytvořený model, po vhodném nastavení citlivosti hranového detektoru, nebylo nutné upravovat. I u dílů s nějakým špatným rozměrem se shoda pohybuje okolo 95 %. Vzhledem ke spodnímu osvětlení a minimu hran, které by mohly znemožnit správné nalezení dílu, je lokace dílu velmi přesná.

Po úspěšném vyhledání dílu se začnou kontrolovat rozměry. V této úloze byly využity tři typy kontrol - kontrola vzdálenosti, kontrola rozměrů kruhu a měření úhlu. Nastavení první funkce probíhá následovně. Nejprve jsou určeny dvě hrany, mezi kterými se má měřit vzdálenost. Vzdálenost je možné kontrolovat mezi bodem, hranou, kruhem a jejich různými kombinacemi. V této úloze byl použit typ obdélníkové vzdálenosti mezi hranami. Směr hledání hrany použité pro kontrolu vzdálenosti je možné upřesnit (tmavá-světlá, světlá-tmavá nebo libovolná), určením lze zlepšit výsledky vyhledávání. Takto jsou nastaveny tři funkce, které kontrolují vzdálenost nožiček, délku a výšku dílu. Každé funkci je třeba nalézt optimální parametry a jak bylo popsáno výše, zvolit správné hranice. Hranice pro OK díl je možné určit přímo v pixelech a nebo procentech. Například pro vzdálenost pinu je hranice nastavena na 99-101 %.

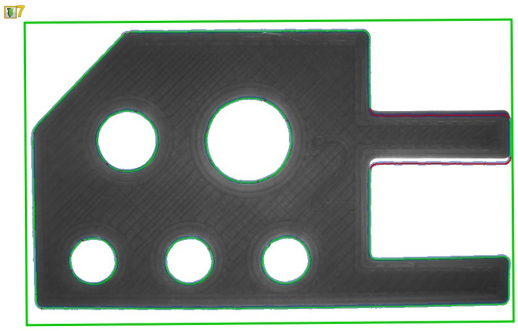
Pro vyhodnocení kruhových otvorů nebo výstupků je určena funkce „Geometry Circle“. Funkce rozměr kruhu v sobě integruje celkově tři kontroly: kontrolu pozice středu kruhu, měření průměru a kontrolu kulatosti. Všechny tři kontrolované vlastnosti jsou porovnávány oproti naučené referenci. Uživatel může zvolit libovolnou kombinaci těchto kontrol. Pro vymezení oblasti vyhledání hrany kruhu jsou určeny dvě soustředně kružnice, mezi kterými má být nalezena kontrolovaná hrana a zároveň je na nich znázorněn směr hledání. Nastavení vyhledávání hrany je obdobné jako v případě měření vzdálenosti. Volby pro nastavení zahrnutí délku hledané hrany, směr vyhledávání, minimální kontrast a směr vyhledávání. Směr musí být definován jednou ze dvou voleb - ze středu ke kraji nebo naopak. Ve všech kontrolách nalezené kružnice je nutné správně nastavit hranice pro OK a NOK případ. Hranice se nastavuje pomocí dvou posuvníků, popřípadě přímo napsáním počtu pixelů, respektive procent do příslušné kolonky. V případě pozice a průměru je výsledná hodnota zobrazena v pixelech, zde se již volba hodnot v procentech nenabízí. Naopak pouze procentuálně zobrazenou hodnotu nabízí vyhodnocení kulatosti. V některých případech lze využít také další funkci pro kontrolu velikosti především nekruhových otvorů. Jedná se o funkci „Area size“, která počítá body, které mají menší, respektive větší jas než nastavená mez. Pro zpřesnění výsledků může uživatel nastavit místo pro získávání jasové reference. V případě této úlohy, kontroly kruhového otvoru, nabízí funkce kontroly kruhu lepší výsledky než tato funkce.

Úhel lze v případě navrženého dílu kontrolovat pomocí měření rozměrů nebo přímo pomocí funkce „Angle“. Vzhledem k tomu, že jde v tomto úkolu především o otestování funkcí kamery, byl vybrán přímý způsob kontroly úhlu. Pro správné fungování kontroly velikosti úhlu je nutné nastavit nejprve vyhledání dvou hran. Toto je provedeno obdobně jako u kontroly vzdálenosti a dalších. Mezi nejdůležitější nastavení k vyhledání hran patří délka hrany, směr vyhledávání (tmavá-světlá nebo světlá tmavá) a kontrast hrany s pozadím. Program poté vypočte nejmenší úhel mezi

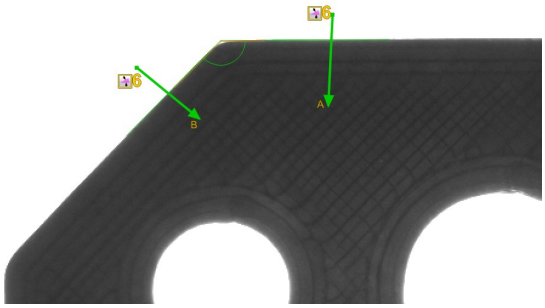
nimi. K dispozici jsou také další dvě možnosti - úhel ve směru hodinových ručiček z hrany A na hranu B nebo naopak. Program zobrazuje aktuálně vypočítaný úhel na dvě desetinná místa a s obdobnou přesností lze nastavovat také hranice. Ukázka určeného úhlu na dílu je na obrázku 5.21b.

Poslední funkce kontroly umožňuje porovnat konturu celého dílu s naučeným modelem. Porovnání aktuálního snímku s referencí pro porovnání je vidět na obrázku 5.21a. Jedná se o díl s rozdílnou roztečí nožiček, v obrázku jsou odlišné body označeny červeně. K dispozici je nastavení pro maximální odchylku (v pixelech) a minimální hodnota korelace pro OK díl. Naučený model je možné upravit za pomocí gumy, případně dokreslovat chybějící části. V případě spodního osvětlení nebylo nutné model upravovat, vzhledem k chybějícím šumovým hranám a bodům. V případě porovnávání celé kontury není nastavena pevná hranice nejmenší korelace pro dobrý díl. Jako vhodnější řešení se jeví ukládat hodnotu shody. V případě pochybností nebo potřeby přehledu kvality by pak bylo možné otevřít potřebný soubor s uloženými daty. Bohužel pomocí této funkce nelze zjistit, který z rozměrů dílu je chybný. Určitou možností by bylo rozdělit porovnání kontury na několik částí a kontrolovat je samostatnými funkcemi.

V této úloze byla vybrána pouze část rozměrů pro kontrolu, ovšem v jiném případě by mohlo být nutné kontrolovat rozměrů více. V takovém případě by bylo řešení přidat další kontroly rozměrů. Funkce by mohly například kontrolovat počet otvorů nebo počet výstupků, počítat drážky a další.



(a) Porovnání aktuálně měřeného dílu s naučeným modelem. Červeně zvýrazněné odchylky (jiná rozteč nožiček).



(b) Výřez z programu VeriSens při měření úhlu na horní straně testovaného dílu.

Obr. 5.21: Ukázka porovnání aktuálního dílu s naučeným modelem. Ukázka měřeného dílu.

Nastavení komunikace

Ověření úspěšnosti neprobíhalo na stabilním datasetu jako v předchozích případěch, přesto byly nastaveny parametry a formát výstupní komunikace. Jednotlivé části zprávy odpovídají výčtu kontroly vlastností uvedených v kapitole 5.3.2. Kontroly vzdáleností mají na výběr pouze dvě možnosti - výsledek (P, F) a vzdálenost. Při ověřování vlastností kruhu je to možností více, v tomto případě byl využit průměr kruhu, ale jako další jsou na výběr pozice středu, vzdálenost středu (od naučeného modelu) a kulatost. Nejvíce možností odeslaného obsahu nabízí kontrola úhlu. Nejčastější využití najde pravděpodobně hodnota výsledného úhlu měřeného rohu. K dispozici je také poloha rohu (absolutní nebo v diferenci od naučeného modelu), rozdíl ve velikosti měřeného úhlu a další. Formát výsledné zprávy může být následující „183;898;525;158;134.72;90“. 183 vzdálenost nožiček, 898 a 525 délka, respektive výška. Průměr největšího otvoru 158. Rozměry jsou udávány v počtech pixelů. Měřený úhel má hodnotu 134,72 °. Konečný údaj ze zprávy udává korelaci 90 %. Hodnoty bez jednotek jsou v hodnotách pixelů. V případě potřeby lze vybrat i volbu procentuálního rozdílu od naučené reference.

5.3.3 Vyhodnocení úspěšnosti jednotlivých programových částí, vyhodnocení rychlosti

Ověření funkčnosti a spolehlivosti probíhalo již v průběhu hledání optimálních parametrů, protože bylo nutné zjistit hranice, ve kterých je díl OK a kde již nikoliv. Díky dostatečné zásobě testovacích sad bylo možné ověřit odchylky jednotlivých rozměrů a jejich vliv na zobrazení v programu v počtu pixelů (nebo procent velikosti).

Nalezení dílu probíhalo bez problémů, vzhledem k minimu dalších hran, které by mohly ovlivnit vyhledání dílu. Ve funkci nalezení polohy je také možné omezit oblast pro vyhledávání, protože díl musí být na co nejpřesnější pozici, aby se jednotlivé rozměry na čipu zobrazovaly stále stejně.

Další vyhodnocení probíhalo při pokládání dílů pro kontrolu pod kameru a ověření, že správné rozměry jsou v určených hranicích. U některých sad byly záměrně změněny rozměry tak, aby neodpovídaly zadaným hranicím a byly příkladem špatných dílů. Před každou kamerovou inspekcí byl díl změřen pomocí posuvného měřidla s přesností 0,05 mm a poté položen na snímací místo pod kameru. Jak rozměry podle posuvného měřidla (v milimetrech), tak rozměry podle kamery (v pixelech) byly zapsány do tabulky. Takto získané údaje byly shrnuty do přehledové tabulky 5.7.

Další zpracovaná tabulka ukazuje počty dílů s určitými rozměry (a jejich odchylkami) a úspěšnost určení ověřovaných rozměrů.

Tab. 5.7: Porovnání změřených rozměrů dílu pomocí posuvného měřidla a kamery

	Změřená velikost měřidlem	Identifikace velikosti kamerou
Vzdálenost nožiček	7,95 - 8,05 mm	179-181 px
Délka	40,1 - 40,25 mm	891-895 px
Výška	23,15 - 23,25 mm	522-525 px
Největší otvor	7,2 - 7,35 mm	157-162 px
Úhel	134,9 - 135,3 °	134-136 °

Rychlosti jednotlivých vyhodnocovacích částí jsou shrnuty v tabulce 5.8. Vzhledem k relativně vysoké rychlosti a potřebě maximálního rozlišení při určení rozměrů byla tabulka zpracována pouze pro plné rozlišení (1600x1200 pixelů). Při omezeném rozlišení se, díky snížení počtu pixelů, rapidně snižuje přesnost měření. Po součtu časů potřebných pro všechny kontroly a pořízení obrazu je možné vypočítat průměrný počet dílů zkontrolovaných za sekundu, jedná se o 3,1. V textovém protokolu o provedeném testu figuruje hodnota 6,3 kontrol za sekundu. Po přepočtu se jedná o 11 160 dílů za hodinu, respektive 23 400 dílů za hodinu.

Tab. 5.8: Rychlosti jednotlivých částí rozpoznání rozměrů dílu.

Typ kontroly	Průměrný čas [ms] maximální rozlišení
Získání obrazu	109,40
Lokace dílu podle kontury	128,70
Vzdálenost nožiček	0,48
Délka	0,46
Výška	0,61
Největší otvor	3,44
Úhel	3,24
Porovnání kontury	16,35
Celkový průměrný čas	262,07

Závěr

Tato diplomová práce se zabývá tématem smart neboli inteligentních kamer, jejím cílem bylo vybrat a otestovat vybraný model na reálné úloze. V teoretické části byl představen vlastní termín a dále byly popsány části přístroje. Od vstupní části s optikou, snímačem a osvětlením, přes část zpracování obrazu, až po fyzické vstupy a výstupy kamery.

V následující části práce byl proveden průzkum trhu se smart kamerami. Nejznámější a nejrozšířenější výrobci v oblasti průmyslového vidění mají téměř všichni ve svém portfóliu zástupce v hledané kategorii. Ne všechny modely označují výrobci jako inteligentní (smart) kamery a naopak, někteří výrobci takto pojmenovávají i modely, které plně neodpovídají definici smart kamery. Konkrétně firma Keyence nemá integrovanou kameru a řídicí jednotku do jednoho těla, přesto byl do výběru zařazen i tento výrobce. Od každé firmy zastoupené v rešerši byl vybrán jeden konkrétní model, který má vhodné parametry pro případné testování. Základní vlastnosti těchto modelů jsou zobrazeny ve vypracované tabulce (tabulka 2.2). Jako nejvhodnější se ukázala nabídka firmy Baumer, především pro velkou šířku portfolia s kamerami s vhodnými parametry pro testovací úlohu a dále pro možnost zapůjčení od firmy AJP - tech. Po zvážení dalších možných modelů byla vybrána kamera Baumer VS XC200M20X00EP, jejíž parametry a vlastnosti jsou v práci rozebrány.

První testová úloha byla převzata z reálné průmyslové aplikace. Jedná se kontrolu potisku tantalových SMD kondenzátorů a hledání případných vad na povrchu. Rozpoznání označení a vad bylo prováděno na stabilních datasetech pořízených kamerou. Jeden dataset obsahuje 500 fotografií. Před záznamem bylo nutné nastavit scénu a zaostřit objektiv. Soustava nebyla doplněna stabilním osvětlením, ale pouze proměnným (denní, wolframová žárovka), pro otestování robustnosti a reakci právě na tyto světelné podmínky. V první části kontroly vlastností bylo nutné nalézt objekt v obraze pomocí naučeného modelu podle kontur kondenzátoru. V dalších částech je rozpoznán potisk a jsou nalezeny nečistoty a vady na povrchu kondenzátoru. Vyhodnocení úspěšnosti pomocí nástroje „Test job“ a připravené tabulky probíhalo následovně. Nejprve byly nastaveny všechny kontroly vlastností, byl spuštěn test a dále byly porovnány získané hodnoty z kamery a reálný stav z vizuální kontroly. Tímto způsobem byla získána úspěšnost kontrol vlastností a tato byla zpracována v tabulce (tabulka 5.2). Otestována byla také rychlost snímání a vyhodnocování a byly vyzkoušeny kroky pro případné zlepšení - zmenšení rozlišení.

Vzhledem k rozsáhlým možnostem kamery byly doplněny a otestovány další dvě úlohy. Jedna se zabývala kontrolou potisku data spotřeby a výrobní šarže na pivních lahvích, respektive etiketách, a znovu se jedná o úlohu, která je v reálném nasazení v několika firmách. Pro úlohu byly vybrány designy v různých barevných odstínech

lahví pivovaru Velkopopovický Kozel, z důvodu stejného umístění a formátu potisku i na odlišných typech piv. Do vytvořené aplikace byla přidána také funkce čtení čárového kódu. Nalezení etikety není možné provést pomocí porovnání kontur, ale bylo řešeno s pomocí funkce hledání polohy na základě řádku textu - data spotřeby. Nalezení vhodných parametrů a následné vyhodnocení úspěšnosti probíhalo pomocí stabilního datasetu, který zahrnoval deset fotografií každé láhve. Fotografie se lišily pootočením nebo posunutím lahve a změněnými světelnými podmínkami. Vyhodnocení úspěšnosti proběhlo obdobně jako v úloze první - pomocí porovnání údajů získaných kamerou (vyexportovány při testování) a údajů opsaných přímo z lahve. Detekce vad není přímo implementovaná, ale například při natržení nebo nenalepení etikety nedošlo ke správnému rozpoznání a lahev byla označená jako vadná. Při testování rychlosti se ukázalo jako nejpomalejší čtení čárového kódu, jednotlivé časy jsou uvedeny v tabulce (tabulka 5.4). Při zachování maximálního rozlišení se pohybuje rychlost okolo 0,7 lahve za sekundu, respektive 2520 dílů za hodinu. Při použití sníženého rozlišení se zvýší rychlost na 5400 lahví za hodinu.

Poslední úloha se týkala kontroly rozměrů dílů navrhnutých a vytištěných na 3D tiskárně. V tomto případě muselo být sestrojeno také pracoviště se spodním osvětlením tak, aby došlo k maximálnímu zvýraznění kontur dílu. Využita byla plexisklová deska s difuzorem a pod ní byl umístěn zdroj světla typu LED. Kontrolovány byly tři vzdálenosti, rozměr jednoho kulatého otvoru a jeden úhel mezi hranami. Vytvořené díly byly přeměřeny posuvným měřidlem, aby bylo možné ověřit přesnost kamerového měření. Vyrobeno bylo vícero sad dílů s různými rozměry tak, aby se otestovala úspěšnost určování kontrolovaných rozměrů. Hodnoty hranic dobrých a špatných dílů lze v ovládacím programu zadávat v procentech nebo v počtu pixelů.

Smart kamery mohou být náhradou standardního řešení v nejrůznějších aplikacích. Dosahují skvělých výsledků v jednodušších úlohách a kontrolách. V provedených úlohách se kamera osvědčila především pro nalezení dílu v obrazu, kontroly čárového kódu, čtení většího textu. Kamera dosáhla mírně horších výsledků při hledání vad na kondenzátoru. Důvodem byl vysoký počet různorodých typů defektů a nemožnost vytvoření jejich komplexního modelu. Výhody jsou především rychlé nastavení (i pro lidi bez programovacích zkušeností), jednoduché propojení s výrobním systémem nebo možnost rychlé rekonfigurace na jinou úlohu. Nevýhody plynou z využití určeného ovládacího software a nemožnosti přidat nové funkcionality, je nutné využívat pouze dodané funkce. Zároveň jejich nevýhodou mohou být jak omezené schopnosti, které někdy nelze rozšířit o vlastní nestandardní funkce, tak také omezené výpočetní zdroje, které se nemohou srovnávat s výkonem PC a mohou tak snížit vyhodnocovací takt kamery. Přesto, jak jsem ukázal na výše zmíněných úlohách, mohou být s úspěchem využity právě v méně náročných úlohách nebo s některými omezeními vykoupenými nízkou cenou a rychlostí implementace.

Literatura

[1] Ukázka smart kamery mvBlueGEMINI. In: *Smart camera mvBlueGEMINI* [online]. Oppenweiler: Neuvedeno, 2016 [cit. 2020-9-27]. Dostupné z: <https://lh3.googleusercontent.com/proxy/lHRTTYEtoUr9hZIYvjJYd846xivasIZT4V1PvF-4Fo8Lx4Vmzd8NihsD_qEuCaCoiZGXqlx7XJzbUI1OHlpvxJ196R9RZt28t0LVM-kI9Q>.

[2] HLAVÁČ, Václav. Geometrická optika a fotoaparát, prakticky. *České vysoké učení technické v Praze* [online]., 58 [cit. 2020-9-28]. Dostupné z: <http://people.ciirc.cvut.cz/~hlavac/TeachPresCz/11DigZprObr/03GeomOpticsCameraCz.pdf>.

[3] Vision A NEW DIMENSION IN VISION. *Sick Vision* [online]. 9.12.2016, s. 16 [cit. 2020-11-2]. Dostupné z: <https://cdn.sick.com/media/docs/3/83/883/product_segment_overview_vision_en_im0069883.pdf>.

[4] Sick. *Sick Vision* [online]. [cit. 2020-11-2]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/>.

[5] Sick. *SICK AppSpace Software Tools* [online]. [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/sick-appstudio/p/p448644>.

[6] Sick. *Sick Vision - řada InspectorP63x* [online]. 17.3.2021, s. 11 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://cdn.sick.com/media/familyoverview/1/51/751/familyOverview_InspectorP63x_g401751_cs.pdf>.

[7] ifm electronic. *Vision sensors forrecognition and assessmentof objects and scenes.* [online]. 8.2012, s. 14 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/ifmweb/downcont.nsf/files/ifm-brochure-vision-sensors-english-2012/$file/ifm-brochure-vision-sensors-english-2012.pdf>.

[8] ifm electronic. *O nás.* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/shared/company/o-nas>.

[9] ifm electronic. *Programming manual - PC operating programfor O2V* [online]. 10.2012, s. 83 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/mounting/706100UK.pdf>.

[10] ifm electronic. *Programming manual - PC operating programfor O2D* [online]. 8.2008, s. 83 [cit. 2020-10-7]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/mounting/704420UK.pdf>.

[11] ifm electronic. *Programming guideConfiguration software for dualis Multicode Reader* [online]. 12.2015, s. 90 [cit. 2020-10-20]. Dostupné z:<https://www.ifm.com/mounting/706359UK.pdf>.

[12] ifm electronic. *O2V105 - O2VWRNKG/O/V/GM/E1/E2/Ts.* [online]. s. 9 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/restservices/cz/cs/assets/c3VwcGxpZXJzL2lmbS9kb2N1bWVudHMvUERGL08yVjEwNS5QREY=>.

[13] *Machine Vision* [online]. 2020, s. 20 [cit. 2020-10-5]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/machine-vision-product-guide-9956>.

[14] *Cognex — The Leader in Machine Vision* [online]. [cit. 2020-10-5]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/company>.

[15] Cognex. *VISION SOFTWARE - POWER AND FLEXIBILITY FOR VISION APPLICATIONS* [online]. 2020, s. 12 [cit. 2020-10-5]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/machine-vision-product-guide-9956>.

[16] Cognex Corporation. *IN-SIGHT D900 vision system* [online]. 2020, s. 5 [cit. 2020-11-2]. Dostupné z: <https://www.cognex.com/downloads/in-sight-d900-datasheet>.

[17] Matrix Vision. *Vision sensors forrecognition and assessmentof objects and scenes.* [online]. 21.11.2019, s. 43 [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: <https://www.matrix-vision.com/smart-cam-compact-application-camera.html?file=files/mv11/support/Manuals/mvBlueGEMINI_Technical_Manual_EN.pdf>.

[18] MvBlueGEMINI - Tool box technology camera. *Matrix Vision.* [online]. 2020, [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: <https://www.matrix-vision.com/smart-cam-compact-application-camera.html>.

[19] BAUMER GROUP. *VeriSens® vision sensors* [online]. květen 2017, s. 26 [cit. 2020-10-25]. Dostupné z: <http://vt.baumer.com/fileadmin/user_upload/international/Downloads/BR-CT/Baumer_VeriSensVisionSensors_BR_EN_1705_11184304.pdf>.

[20] Baumer Group. *Baumer Group, About Us* [online]. 2020 [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://cz.linkedin.com/company/baumer-group>.

[21] KEYENCE. *Intuitivní kamerový systémSMART CAMERA TECHNOLOGY.* [online]. 2020, s. 58 [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/cscz/mykeyence/downloadFromDLList?downloadAssetId=AS_110173&downloadZipFSMARTCAMERATECHNOLOGYlag=0>.

[22] KEYENCE. *Smart camera technology.* [online]. 2020, [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/landing/lpc/1811cvxensmartcamera.jsp>.

[23] CV-X series. *The Reason Why Customers Choose KEYENCE - Machine Vision* [online]. 2020 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/ss/products/vision/visionsystem/>.

[24] National Instruments. *NI Smart Cameras.* [online]. 2.1.2018, s. 10 [cit. 2020-11-3]. Dostupné z: <https://www.ni.com/pdf/product-flyers/smart-cameras.pdf>.

[25] National Instruments. *NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial.* [online]. 9.2011, s. 102 [cit. 2020-11-3]. Dostupné z: <https://www.ni.com/pdf/manuals/373379h.pdf>.

[26] BRADY, David, Minghao HU, Chengyu WANG, et al. Smart Cameras. ArXiv.org [online]. Ithaca: Cornell University Library, arXiv.org, 2020 [cit. 2020-9-24]. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/2354570695/>.

[27] KOVÁŘ, Josef, Zuzana PROKOPOVÁ a Ladislav ŠMEJKAL. PLC - hardware – LYT [online].s. 50 [cit. 2020-9-24]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/7942503-Plc-hardware-lyt-autori-ing-josef-kovar-ing-zuzana-prokopova-ing-ladislav-smejkal-csc-partneri-projektu.html/>.

[28] BELBACHIR, Ahmed Nabil. *Smart Cameras.* Boston: Springer-Verlag US, 2009. ISBN 978-1-4419-0953-4.

[29] HORNBERG, Alexander. *Smart Cameras.* New York: Springer, 2006. ISBN 978-3-527-40584-8.

[30] REAL, Fábio, François BERRY. 2010. *Smart Cameras: Technologies and Applications.* 10.1007/978-1-4419-0953-4.

[31] HAVLE, Otto. Přehled trhu: inteligentní kamery. *Automa: časopis pro automatizační techniku* [online]. 2009, **2009**(5), 3 [cit. 2020-10-24]. Dostupné z: <https://automa.cz/cz/casopis-clanky/prehled-trhu-inteligentni-kamery-2009_05_39009_4959/>.

[32] CARROLL, James. Smart cameras: Six examples of smart camera-based vision systems. *Vision Systems Design* [online]. 29.září 2015, [cit. 2020-11-28]. Dostupné z: <https://www.vision-systems.com/cameras-accessories/article/16740594/smart-cameras-six-examples-of-smart-camerabased-vision-systems>.

[33] JANÁKOVÁ, Ilona. *Úvod a motivace* [online]. VUT V BRNĚ. Brno, 13, [cit. 2020-11-30]. Dostupné z URL: <http://vision.uamt.feec.vutbr.cz/POV/lectures/01_Uvodamotivace.pdf>.

[34] Baumer Vision sensors. *Baumer VS XC100M20X00RP* [online]. 2020 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.baumer.com/medias/sys_master/images/images/h82/h34/8982736142366/mamfile-1563351-720Wx540H-retina.png>.

[35] Baumer Vision sensors. *Baumer VS XF700M03W12IP* [online]. 2020 [cit. 2020-12-04]. Dostupné z: <https://www.baumer.com/medias/sys_master/images/images/h88/h72/8981769093150/mamfile-148203-720Wx540H-retina.png>.

[36] Baumer Optronic GmbH. *Technical Documentation VeriSens® ID- / CS- / XF- / XC-Series*, říjen 2019.

[37] JANÁKOVÁ, Ilona. *Optika v počítačovém vidění* [online]. VUT V BRNĚ. Brno, 39, [cit. 2020-11-29]. Dostupné z URL: <http://vision.uamt.feec.vutbr.cz/POV/lectures/03_Optika_v_pocitacovem_videni.pdf>.

[38] HLAVÁČ, Václav. *Pořízení obrazu, kamery* [online]. CVUT, FELK. Praha, 39, [cit. 2020-11-29]. Dostupné z URL: <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/33zsl1zima2005/slidy/KameryPoriz.pdf>.

[39] MALÍŘ, Ivo. *Značení rezistorů a kondenzátorů* [online]. 17, [cit. 2020-02-21]. Dostupné z URL: <https://www.ssph.cz/vyuka/wp-content/uploads/2020/03/vy_32_inovace_v04.pdf>.

[40] *Kontrola součástek: UniscanCVS.* In: CAMEA [online]. 2016 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.camea.cz/underwood/download/files/cvs_cat_cs_20160916_web.pdf>.

[41] *Kontrola přítomnosti a polohy etiket, přesahu celoobvodové etikety a tisku data - EXAN LABEL CCD* In: Nate [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.nate.cz/soubory/files/ke%20stazeni/exan_label_ccd_cz.pdf>.

[42] *Kontrola lahví: UniscanBOTTLE.* In: CAMEA [online]. 2016 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.camea.cz/underwood/download/files/bottle_cat_cs_20160919_web.pdf>.

[43] *Čárový kód: Základní prostředek automatické identifikace zboží.* In: Kodys [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z URL: <https://www.kodys.cz/technologie/carovy-kod>.

[44] *Rozdělení čárových kódů: Druhy čárových kódů.* In: FASK, spol. s r.o. [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z URL: <http://www.fask.cz/115-rozdeleni-carovych-kodu.html>.

[45] *EAN 13 a EAN 8 - nejznámější čárový kód pro zboží v obchodní síti.* In: Kodys [online]. [cit. 2021-02-24]. Dostupné z URL: <https://www.kodys.cz/technologie/carovy-kod/ean-13-ean-8>.

Seznam symbolů a zkratek

CCD	zařízení s vázanými náboji - Charge-Coupled Device
CMOS	technologie výroby polovodičů - Complementary Metal Oxide Semiconductor
COB	technologie výroby světelných diod - Chip On Board
DSP	digitální signálový procesor
FDM	technologie 3D tisku - Fused Deposition Modeling
FPGA	programovatelné hradlové pole - Field Programmable Gate Array
GUI	grafické uživatelské rozhraní - Graphical user interface
HW	Hardware
Hz	hertz
LED	elektroluminiscenční dioda - Light-Emitting Diode
mm	milimetr
MPx	mega pixel
NOK	nesprávně - not OK
NPN	typ tranzistoru pro spínání
OCR	optické rozpoznávání znaků - Optical Character Recognition
OK	správně - OK
PLA	kyselina polymléčná
PNP	typ tranzistoru pro spínání
SD	typ paměťové karty - Secure Digital
SW	Software
TCP	transportní protokol v síti internet- Transmission Control Protocol
UDP	jeden ze sady protokolů internetu - User Datagram Protocol
USB	univerzální sériová sběrnice - Universal Serial Bus
VGA	video konektor - Video Graphics Array

A Obsah přiloženého DVD

- `/xhonsv00_dvd` ..... kořenový adresář přiloženého DVD
  - `Textová_část.zip` ..... zdrojové soubory textu práce
  - `Kontrola_dilu`
    - `Kontrola_dilu.app` ..... vytvořená aplikace v programu VS app Suite
    - `díl1.ipt` ..... vytvořený díl v programu Inventor
  - `Kontrola_etiket`
    - `Dataset` ..... dataset s fotografiemi lahví
    - `Konrtola_etiket.app` ..... vytvořená aplikace v programu VS app Suite
    - `Kontrola_lahvi_out.txt`
    - `určení_úspěšnosti.xlsx`
  - `Kontrola_kondenzatoru`
    - `Datset1` ..... dataset s fotografiemi kondenzátorů
    - `Dataset2` ..... dataset s fotografiemi kondenzátorů
    - `kond_out2.txt`
    - `Kond_úspěšnosti.xlsx`
    - `Kondenzátory.app` ..... vytvořená aplikace v programu VS app Suite
    - `kondenzatory_out.txt`
  - `Text_práce.pdf`