VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH KAMEROVÉHO SYSTÉMU

DESIGN OF A ROBOTIC VISION SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. TOMÁŠ STRAPINA

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. TOMÁŠ KUBELA

SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Strapina

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh kamerového systému

v anglickém jazyce:

Design of a robotic vision system

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte kamerový systém pro detekci defektů u litinové plotny.

Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se s problematikou strojového vidění v průmyslových aplikacích a zaměřte se na systém SICK IVC 2D.
2. Analyzujte problém detekce možných druhů vad u litinové plotny a navrhněte způsob snímání a zpracování obrazu.
3. Pro danou úlohu zvolte vhodný typ osvětlení.
4. S ohledem na přísuv analyzovaných objektů pomocí pásového dopravníku navrhněte řízení pohybu dopravníku a synchronizaci snímání pomocí PLC Beckhoff.
5. Ověřte funkčnost celé úlohy.

Seznam odborné literatury:

1. NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0
2. PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Kubela

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 11.11.2010

L.S.

_____	_____
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Ředitel ústavu	Děkan fakulty

ANOTACE

Tomáš Strapina

Návrh kamerového systému

BP, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2011, str. 43, obr. 43, přílohy 0

Diplomová práce se zabývá Návrhem kamerového systému pro průmyslový robot.

Klíčová slova

Kamerový systém, Smart kamera, Průmyslový robot

SUMMARY

Tomáš Strapina

Design of a robotic vision system

DT, Institute of Production Machines, Systems and Robotics, 2011, p. 43, fig. 43, appendices 0

Diploma thesis refers about design of vision system for industrial robot.

Key worlds

Vision system, Smart camera, Industrial robot.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STRAPINA, T. *Návrh kamerového systému.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 43 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela.

Prohlášeni

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh kamerového systému. vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který je součástí této práce

Datum: ……

Tomáš Strapina

Poděkování

Tímto děkuji panu **Ing. Tomáši Kubelovi** za poskytnutí podkladů a rad k mé diplomové práci.

OBSAH

1 Úvod 7
2. Počítačové vidění 8
3. Strojové vidění 11
3.1 Rozdělení systémů pro strojové vidění 11
3.1.1 Systémy na bázi PC 11
3.1.2 Smart kamery 12
3.2 Systém SICK 2D 13
3.2.1 Kamera 13
3.2.2 IVC Studio 14
3.2.3 IVC Studio popis 16
3.2.4 IVC Studio panel nástrojů 17
4. Popis úlohy 24
4.1 Popis možných vad odlitku 24
4.2 Rozbor z pohledu rozpoznávání obrazu 26
4.3 Teoretický popis úlohy 26
5. Návrh komponent 28
5.1 Osvětlení 28
5.1.1 citlivost snímacích prvků 28
5.1.2 typy osvětlení 29
5.2 Návrh kamery – zorné pole, rozlišení. 30
5.3 Průmyslový robot 30
5.4 PLC, Dopravník a snímače 30
6. Realizace úlohy 31
6.1 Volba osvětlení pro kameru 1 32
6.2 Volba osvětlení pro kameru 2 33
6.3 Propojení komponent a komunikace 33
6.4 Program pro kameru 1 34
6.5 Program pro kameru 2 38
6.6 Shrnutí výsledků realizace 40
7. Závěr 41
Použité Zdroje 42
Seznam použitých zkratek 43

1 Úvod

Počítačové vidění (computer vision). Tento název se používá k nejobecnějšímu označení systémů vykonávajících automatizovanou činnost na základě zpracování obrazu z kamery. Rozvoj těchto technologií otevírá značné možnosti pro automatizační techniku. Robot a strojové vidění k sobě neodmyslitelně patří. Robot provádí výrobní operace a systém strojového vidění dodává informace o situaci v pracovním prostoru. Smart kamery (inteligentní kamery) jsou pro spolupráci s robotem velmi výhodné. Mají dostatečnou výpočetní kapacitu i potřebné nástroje k tomu, aby vyhodnotily situaci v zorném poli a předaly robotu potřebné informace bez nutnosti dalších výpočtů v řídicím systému robotu.

Smart kamera může dodat robotu s pevně daným programem adaptivitu na výchozí podmínky – v nejčastějším případě tím, že určí odchylky polohy součástky v prostoru od předpokládaných hodnot a umožní přepočet souřadnic programu robota na aktuální hodnoty. Užitečná je i schopnost zastavit vykonávání programu pokud součástka nesplňuje potřebná kriteria.

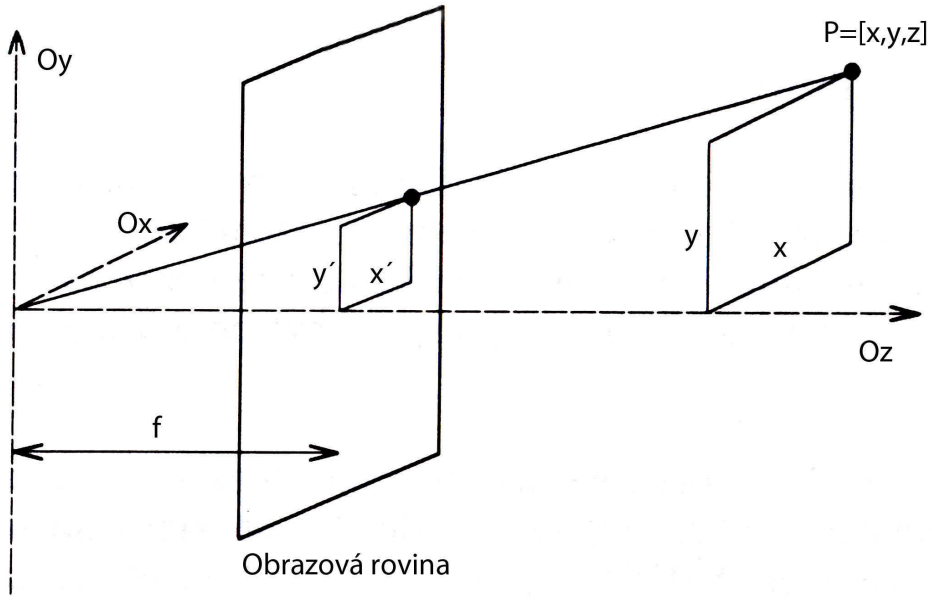
2. Počítačové vidění

Počítačové vidění je disciplína, která se snaží technickými prostředky alespoň částečně napodobit lidské vidění. Předmětem zpracování a případného rozpoznávání obrazu je obrazová informace, která do počítače vstupuje nejčastěji televizní kamerou.

Postup zpracování obrazu se rozkládá na posloupnost základních kroků:

- Snímání, digitalizace a uložení obrazu.
- Předzpracování.
- Segmentace obrazu na objekty.
- Popis objektů.
- Porozumění obsahu obrazu.

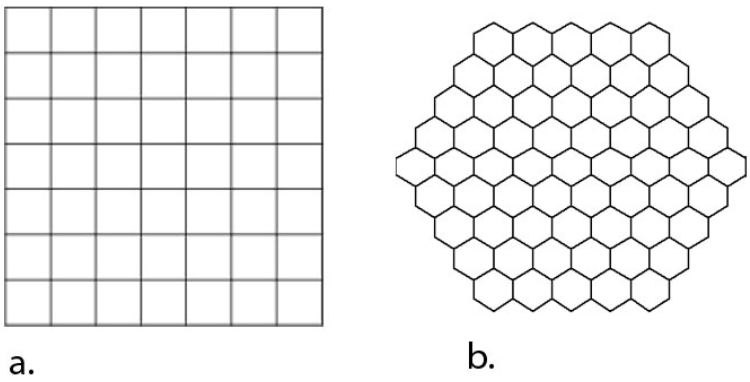
Prvním krokem ve zpracování obrazu je snímání, digitalizace a uložení obrazu v číselné formě do počítače. Při snímání se převádějí vstupní optické veličiny na elektrický signál spojitý v čase i úrovni. Vstupní veličinou může být jas světla, intenzita rentgenového záření, tepelné záření aj. Snímat se může v jednom nebo více spektrálních pásmech. Matematickým modelem obrazu může být spojitá funkce f(i,j) dvou argumentů, souřadnic v rovině. Funkci f(i,j) se říká obrazová funkce. Prostředí ve kterém se pohybujeme má trojrozměrnou povahu(3D). Dvourozměrná (2D) obrazová funkce je výsledkem perspektivního zobrazení části 3D prostředí. Při perspektivním zobrazení z 3D prostředí do 2D obrazové roviny se ztratí mnoho informací. Úloha rekonstrukce 3D vlastností z 2D obrazu je nedostatečně určena a odpovídá jí nekonečně mnoho řešení. Úlohu lze řešit pouze při další dodatečné znalosti problému.



Obr. 1 - Perspektivní projekce [1]

Digitalizací se převádí vstupní spojitý signál do diskrétního tvaru. Vstupní signál je vzorkován a kvantován. Výsledkem je matice přirozených čísel popisující obraz. Jednomu prvku matice se říká obrazový element (angl. picture element - pixel) Digitalizace spočívá ve vzorkování obrazu v matici MxN bodů a kvantování spojité jasové úrovně každého vzorku do K intervalů. Díky kvantování nabývá jasová funkce v digitalizovaných obrazech celočíselných hodnot. Čím jemnější je vzorkování a kvantování, tím lépe je aproximován původní spojitý obrazový signál. V souvislosti se vzorkováním spojité obrazové funkce f(i,j) je potřeba vyřešit dvě otázky. Za prvé je třeba určit interval vzorkování, což je vzdálenost mezi nejbližšími vzorkovacími body v obraze. Otázku plošné vzorkovací frekvence řeší Shannonova věta o vzorkování. Věta říká, že vzorkovací frekvence musí být alespoň dvakrát větší než nejvyšší frekvence ve vzorkovém signálu. Ve zpracování obrazu má Shannonova věta přirozenou fyzikální interpretaci. Interval vzorkování se musí volit tak, aby byl menší nebo rovný polovině rozměru nejmenších detailů v obraze. V praxi je ale třeba přihlédnout k přenosové funkci modulace světla objektivu (MTF), optických aberací objektivu, koeficientu plnění plochy snímacího čipu a podobně. A tento poměr příslušně zvětšit.

Za další je třeba zvolit plošné uspořádání bodů. Vzorkovací body bývají umístěny v některé pravidelné vzorkovací mřížce. Obvykle se používá čtvercová nebo hexagonální mřížka. Častější je čtvercová mřížka, která technicky odpovídá způsobu čtení hodnot intenzity osvětlení z vidikonů i CCD čipů, také odpovídá matematické reprezentaci obrazu pomocí dvojrozměrné matice. Technicky se snadno realizuje a odpovídá reprezentaci obrazu pomocí pravoúhlé matice. Výhodou hexagonální mřížky je pravidelnost vzhledem k šesti okolním bodům a jejich stejná vzdálenost. Nevýhodou je to že potřebuje speciálně konstruované procesory a je nevhodná pro Fourierovu frekvenční analýzu.



Obr. 2 - Vzorkovací mřížky. a, čtvercová. b, hexagonální [1]

Druhým základním krokem je předzpracování obrazu. Cílem předzpracování je potlačit šum a zkreslení vzniklé při digitalizaci a přenosu obrazu, nebo upravit kontrast obrazu pro další zpracování. Tyto operace jsou výpočetně poměrně náročné, a je proto snaha je co nejvíce omezit volbou správného typu osvětlení, použitím barevných nebo polarizačních filtrů, odcloněním okolního osvětlení a podobně.

Třetím krokem je segmentace. Jedná se o rozdělení obrazu na jednotlivé objekty. Za objety se považují ty části obrazu které nás z hlediska zpracování obrazu zajímají.

Čtvrtým krokem je popis nalezených objektů. Lze je popsat kvantitativně pomocí souboru číselných charakteristik a nebo kvalitativně pomocí relace mezi objekty.

Posledním krokem zpracování obrazu je porozumění jeho obsahu.

3. Strojové vidění

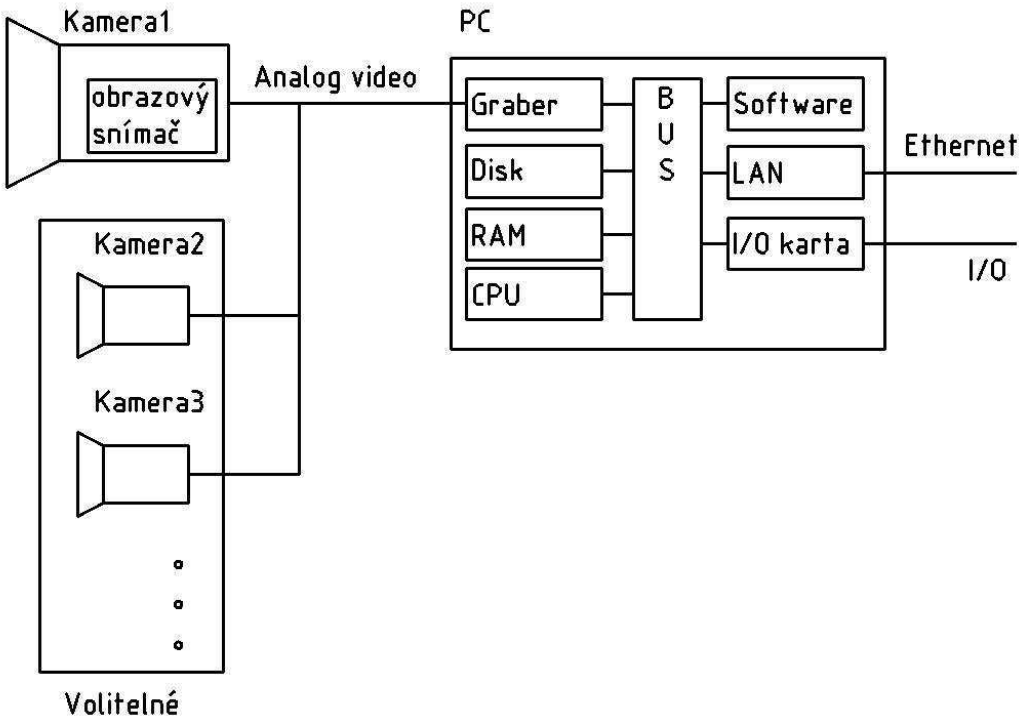
Strojové vidění je využitím počítačového vidění v průmyslové automatizaci, je charakterizováno vazbou na výrobní proces a orientací na typické úlohy výroby – vizuální inspekci, počítání objektů, hledání defektů aj. Pro plnění těchto úkolů je systém strojového vidění vybaven vazbou na výrobní proces.

3.1 Rozdělení systémů pro strojové vidění

3.1.1 Systémy na bázi PC

Personální počítače umožnily díky otevřené architektuře se sběrnicí ISA a později PCI připojení specializovaných karet pro měření elektrických signálů, karty ovládání galvanicky oddělených vstupů a výstupů, tedy vše potřebné pro řízení technologických procesů. S postupným nárůstem frekvence procesoru narostl výpočetní výkon tak, že bylo možné zpracovat obrazovou informaci v reálném čase. Proto vznikly koncem 80. let minulého století speciální karty pro digitalizaci TV signálu z kamer, které se díky nové technologii nábojově vázaných prvků CCD staly levnějšími a mechanicky odolnějšími. V návaznosti na tento hardware vznikla i celá řada softwarových produktů ve formě knihoven nebo vývojového prostředí usnadňujících tvorbu aplikací, jako například Halcon, NeuroCheck, Intel Common Vision Library, Matlab a podobně.

Vzhledem k tomu, že architektura procesorů x86 používaná v PC není optimální pro zpracování obrazu, je snahou vývojářů zapojit do výpočtů grafické karty jejichž procesor, paměti a vnitřní sběrnice byly navrženy speciálně pro práci s grafikou.

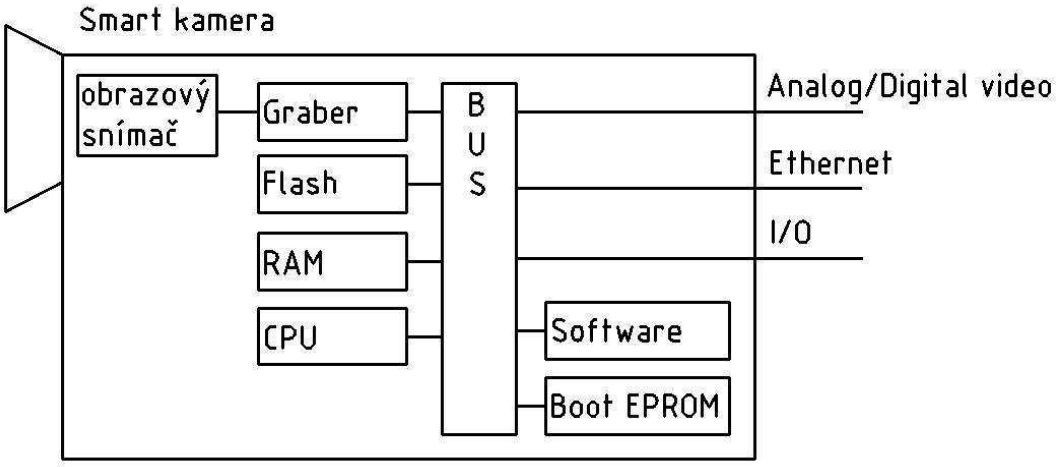


Obr. 3 - Schéma kamerového systému na bázi PC

3.1.2 Smart kamery

Smart kamery vznikly jako levná a jednoúčelová zařízení jako například bezdotykové čtečky čarového nebo data matrix kódu, polohování součástek, počítání počtu výrobků před zabalením a podobně. Za tímto účelem konstruktéři doplnili desku s CCD čipem signálovým procesorem a dalšími obvody pro komunikaci s nadřazeným počítačem. Program bývá uložen v paměti EPROM a kamery mají vyřešený automatický start úlohy po zapnutí, nebo výpadku napájení. Signálové procesory byly použity z důvodu vhodnější architektury a rychlejšího přístupu do paměti. Díky signálovým procesorům při stejné frekvenci dokázaly zpracovat stejné úlohy zpracování obrazu až 10x rychleji než procesory řady x86. Nevýhodou je obtížnější programování, většinou na úrovni assembleru, nebo omezený počet před-programovaných úloh, které jsou v trvalé paměti kamery.

Hranice mezi skupinami systémů se postupně stírají. Smart kamery jsou běžně programovány pomocí vývojového prostředí na notebooku, které dokáže emulovat všechny funkce signálového procesoru kamery. Naopak v některých smart kamerách byl použit miniaturizovaný hardware PC umožňující využití známého operačního systému a programů, jako například kamera Sony XC-SX1, která má v těle o rozměrech 55x55x128mm integrován i procesor Pentium Geode 500 MHz s realtime op. systémem Linux MontaVista.



Obr. 4 - Schéma Smart kamery

3.2 Systém SICK 2D

Pro realizaci úlohy této diplomové práce bude použita smart kamera SICK IVC-2DM1122 ve vlastnictví ÚVSSaR VUT Brno.

Obr. 5 - Kamera SICK IVC 2DM1122 [3]

3.2.1 Kamera

Technická specifikace kamery:

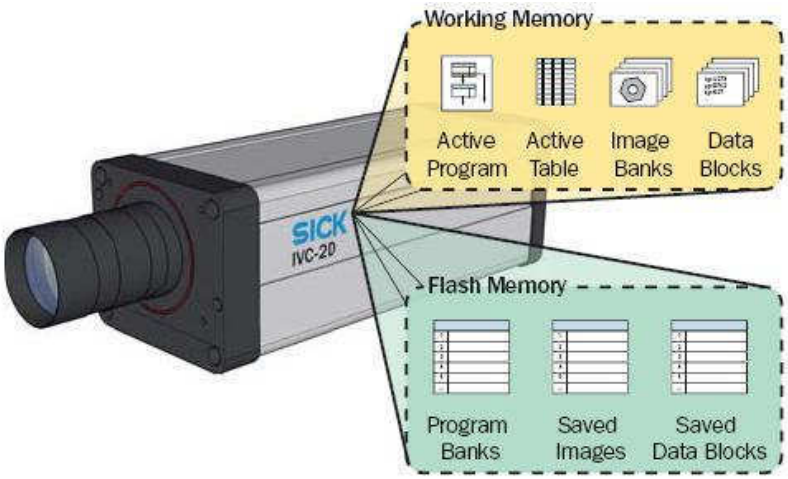
Obrazový senzor:	1/3" CCD
Procesor:	800 MHz
Rozlišení:	1024 x 768 px
Paměť:	128MB RAM, 16MB flash
Uživatelské rozhraní:	IVC Studio
Dig. výstupy:	3 programem ovládané výstupy
Dig. vstupy:	4 programem čtené vstupy (včetně spouště)
Komunikační rozhraní:	RS-485 Fast Ethernet
Montáž objektivu:	C nebo CS-mount
Krytí:	IP 54 (IP 65 s krytem objektivu)

Kamera obsahuje obrazový procesor a 2 druhy paměti. Pracovní paměť (working memory) a Flash paměť (flash memory)
V pracovní paměti jsou nahrány toto prvky:

- Aktivní program (active program). Sekvence příkazů pro sejmutí a analýzu obrazu.
- Aktivní tabulka (active table). Tabulka pro čtení a ukládání dat v průběhu analýzy obrazu.
- Zásobník obrazů (image banks). V této kameře je zásobník pro 4 obrazy.
- Blok dat (data block). Další data která můžou být využita programovými nástroji jako jsou například vzory pro porovnávání obrazové shody.

Ve flash paměti jsou uloženy tyto prvky:

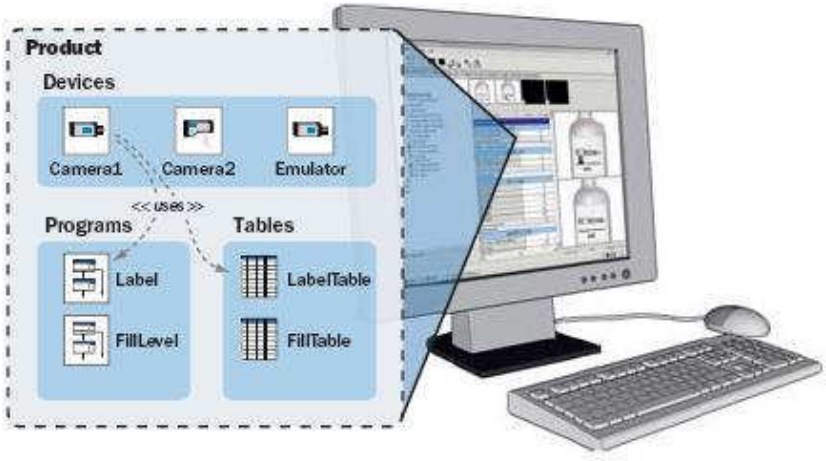
- Neaktivní prog. (program banks) Tato kamera má možnost uložit 100 různých programů které je možné jednotlivě nahrát do pracovní paměti s spouštět je.
- Uložené obrazy (saved images) obrazy dříve sejmuté které můžou být využity při tvorbě programu. Například pro učení kamery rozpoznávat konkrétní objekty.
- Uložené data (saved data blocks) Další data. Například porovnávací vzory pro neaktivní programy.



Obr. 6 - Vnitřní struktura paměti kamery SICK [3]

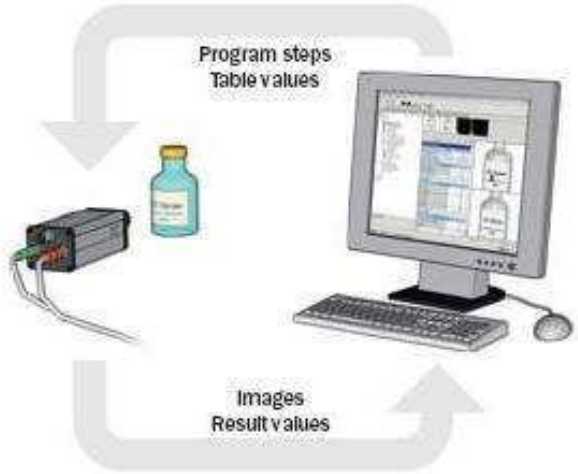
3.2.2 IVC Studio

IVC Studio je software pro vytváření programů které jsou spouštěny na kameře. Tento software je pro 2D i 3D kamery. Výstupem IVC Studia je produkt. Produkt obsahuje seznam použitých zařízení a kopii všech programů a tabulek potřebných k činnosti úlohy. Pro práci je potřeba být spojen se zařízením pro které je vytvářen program. Zařízení může být hardwarové (skutečná kamera) a nebo emulované (kamera emulovaná programem).

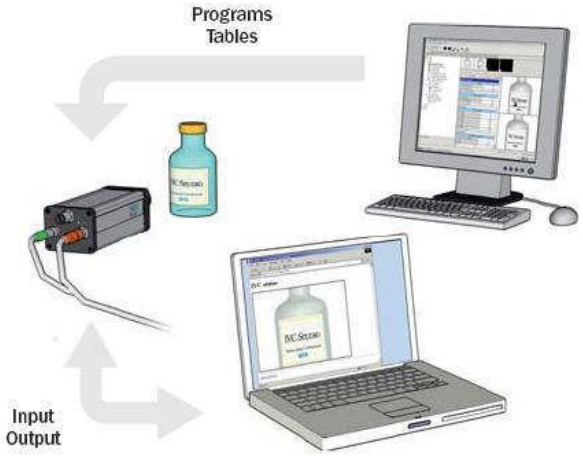


Obr. 7 - Struktura produktu v IVC Studiu [3]

Všechny kroky programu jsou i při návrhu vykonávány v zařízení. Pokud je připojena skutečné kamera tak program vykonává image procesor v kameře. A pokud je kamera emulovaná vykonává program emulátor na počítači odkud je spuštěno IVS Studio. Počítač (IVC Studio) je nutný jen pro vytváření a modifikaci programu. Pro samotný běh programu nutný není ale lze jej využít například pro monitorování.



Obr. 8 - Komunikace kamery a vývojového prostředí při aldění pragramu [3]



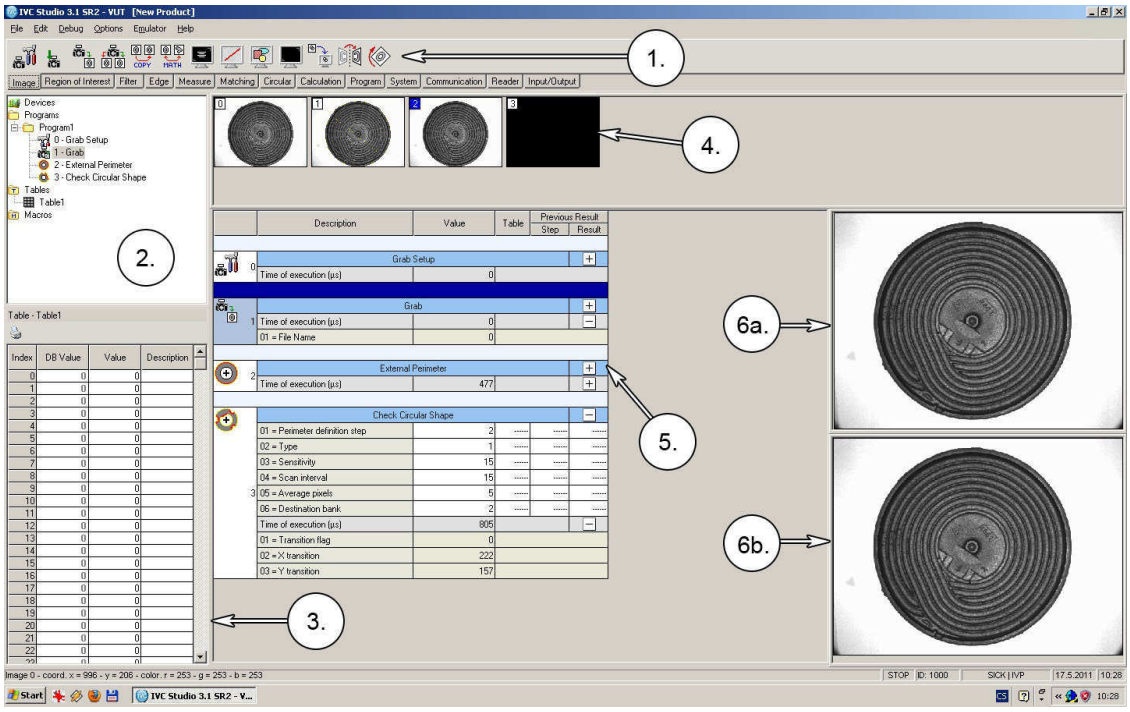
Obr. 9 - Komunikace kamery při běhu odladěného programu [3]

Emulátor je software který zastupuje kameru. Je dostupný v IVC Studiu a umožňuje vytváření programu offline. Může emulovat jak 2D kamery tak 3D kamery. Hlavní rozdíl mezi emulátorem a kamerou je v tom, že kamera obraz snímá a emulátor je načítá z disku.

3.2.3 IVC Studio popis

Aplikace IVC Studio je určená pro operační systém windows. Vytváří se v ní programy pro kamery SICK a to jak 2D tak i 3D.

V levém horním rohu se nachází standardní rozbalovací menu. Z tohoto menu se řídí například vytváření a ukládání produktů, nastaveni a spuštění emulátoru a nebo export připraveného programu do kamery. Níže pod menu je panel nástrojů odkud se do programu vkládají jednotlivé programové kroky (steps). Dále vidíme okno se strukturou vytvářeného produktu. Lze odtud přistupovat do dostupných zařízení, samotných programů a jejich tabulek s daty. V okně níže je otevřena aktivní tabulka. Ve středu pod panelem nástrojů je náhled na obsah obrazových zásobníků (image banks). A pod ním jsou jednotlivé programové kroky a nastavení jejich parametrů. Zcela vlevo je náhled pro aktivní krok. Horní obrázek slouží k nastavení nástroje aktivního kroku a spodní zobrazuje výsledek provedeného kroku. Při poklepání na obrazový zásobník nebo náhledy nástrojů se otevře okno s obrázkem v plném rozlišení který lze ještě přibližovat.



Obr. 10 - IVC Studio 3.1

1. Panel nástrojů
2. Okno struktury programu
3. Aktivní tabulka
4. Náhled na Obrazové zásobníky
5. Jednotlivé kroky programu
6a. Náhled na aktivní krok (nastavení nástroje)
6b. Náhled na aktivní krok (náhled na výsledek)

3.2.4 IVC Studio panel nástrojů

Panel nástrojů je rozdělen do skupin sdružujících funkčně podobné nástroje.

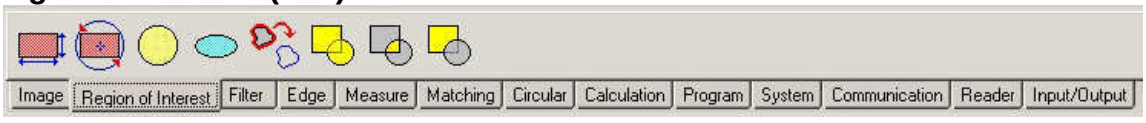
Image

Obr. 11 - Panel Nástrojů - Image

Skupina nástrojů spravujících obrazové zásobníky. Obsahuje tyto nástroje:

Grab Setup	Tímto nástrojem uživatel nastavuje parametry kamery pro snímání jako je shutter a gain.
Start Snapshot	Nástroj používaný v kombinaci s grab image. Používá se u aplikací kde časování sejmutí hraje roli.
Grab Image	Hlavni nastroj pro získání obrazu. Nástroj sejme obraz a uloží jej do nastaveného obrazového zásobníku. Pokud se používá emulátor místo kamery tak tento nástroj získává obrázky ze složky přednastavené v nastavení emulátoru.
Ping-Pong Grab	Používá se pro časově kritické aplikace. Obrázky se snímají a zpracovávají střídavě pomocí 2 různých obrazových zásobníků.
Copy	Kopíruje obsah jednoho obrazového zásobníku do druhého.
Math	Tento nástroj kopíruje vybranou oblast pixelů z jednoho obrazového zásobníku do druhého a je schopen spočítat novou hodnotu úrovně šedé z rozdílu hodnot stávajících a vkládaných pixelů.
Add Text	Vepíše text do obrázku. Toto se využívá například pokud se obrázek zobrazuje operátorovi. Pak je možnost upozornit například na velikosti naměřených parametrů.
Draw Line	Nakreslí do obrázku čáru podle zadaných parametrů.
Draw ROI	Nakreslí do obrázku zvýraznění oblasti podle nastavené oblasti zájmu.
Reset Image Bank	Resetuje příslušný obrazový zásobník
Display	Umožňuje zobrazit v runtime režimu obsah obrazového zásobníku a tabulku 10 parametrů.
Mirror Image	Zrcadlení obrazového zásobníku.
Rotate Image	Natočení obrazu podle zadaného středu o zadaný úhel.

Region of Interest (ROI)

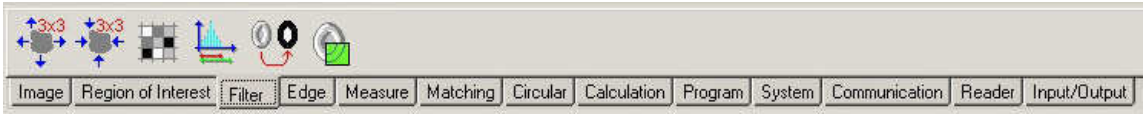


Obr. 12 - Panel Nástrojů - Region of Interest

ROI Rectangle	Definuje zájmovou oblast obdélníkového tvaru rovnoběžně s řádky kamery.
ROI Rotated Rectangle	Definuje zájmovou oblast obdélníkového tvaru různoběžně s řádky kamery.

ROI Circle	Definuje zájmovou oblast tvaru kruhu.
ROI Elipse	Definuje zájmovou oblast tvaru elipsy.
ROI Perimeter	Definuje zájmovou oblast podle tvaru a polohy výsledku nástroje perimeter.
ROI Union	Definuje zájmovou oblast spojením dvou dříve definovaných oblastí
ROI Intersection	Definuje novou oblast zájmu jako průnik dvou dříve definovaných oblastí
ROI Difference	Definuje novou oblast zájmu jako rozdíl dvou dříve definovaných oblastí

Filter

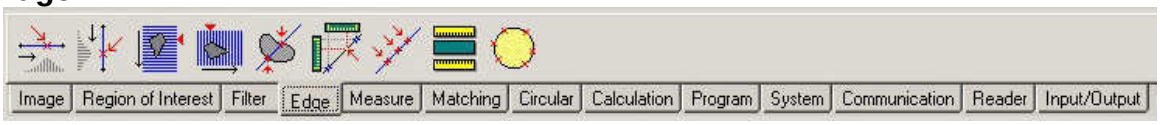


Obr. 13 - Panel Nástrojů - Filter

Všechny filtry se aplikují na definovanou oblast (ROI) ne na celý obraz.

Dilate 3x3	Filtr který posouvá po obrazu matici 3x3 a pro hodnotu středního elementu použije nejvyšší hodnotu okolních pixelů.
Erode 3x3	Filtr který posouvá po obrazu matici 3x3 a pro hodnotu středního elementu použije nejnižší hodnotu okolních pixelů.
Filter	Aplikuje jeden z nastavených filtrů. (Smooth, Edge, Median)
Stretch Gray	Úprava úrovní obrazu.
Binarize	Úprava úrovní šedé pouze na černou a bílou.
Detail Extraction	Funkce pro zvýraznění detailů. Používá se pro zvýšení kontrastu a zvýraznění detailů proti pozadí.

Edge

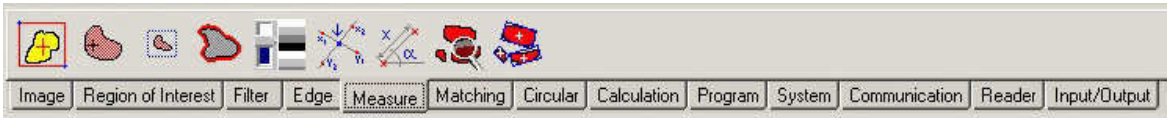


Obr. 14 - Panel Nástrojů - Edge

Sada nástrojů pro detekci hran v obrazu.

Find Row Edge	Nalezne hranu na zadaném řádku.
Find Column Edge	Nalezne hranu v zadaném sloupci.
Find Row	Nalezne řádek s nastavenou intenzitou.
Find Column	Nalezne sloupec s nastavenou intenzitou.
Find Line Edge	Nalezne hranu podél zadané úsečky.
Find subpixel	Edge Nalezne hranu podél zadané úsečky a prací souřadnici s přesností pod rozlišení pixelů.
Find Multiple Edges	Nalezne více hran podél zadané úsečky a vrací pole hodnot těchto průsečíků.
Find Mean of Edges	Proloží přímku nejblíže pixely v zadané oblasti.
Find Circle Edges	Nalezne hrany podél pruhové nebo eliptické dráhy.

Measure

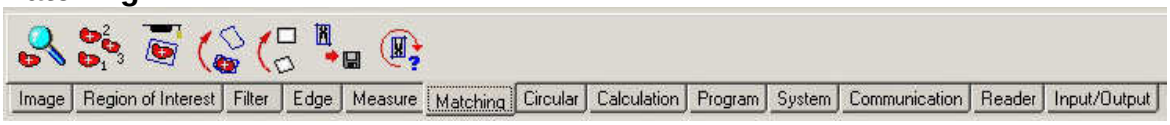


Obr. 15 - Panel Nástrojů - Measuring

Sada nástrojů pro analýzu rozměru a jiných parametrů objektů v zorném poli.

Centroid	Vyhledá objekt v zadané oblasti zájmu definovaný rozsahem intenzity šedé a vrací souřadnice těžiště.
Single Blob Analysis	Od zadaného místa hledá všechny spojená pixely v zadaném rozsahu intenzity šedé a vrací počet nalezených pixelů a souřadnice těžiště.
Area	Vrací počet pixelů které se jsou pro zadaný objekt v zadaném rozsahu intenzity šedé.
Perimeter.	Hledá obvod objektu. Požaduje startovací bod uvnitř analyzovaného objektu.
Mean Intensity	Vybere všechny pixely z nastavené oblasti zájmu které jsou v zadaném rozsahu intenzity šedé.
Line Intersection	Vypočte průsečík dvou přímek a vrátí souřadnice průsečíku.
Distance and Angle	Vypočítá a vrací velikost vzdálenosti a úhlu mezi dvěma zadanými body.
Blob Finder	Vyhledává oblasti (blobs) spojených pixelů v zadaném intervalu intenzity šedé.
Blob Analyzer	Analyzuje bloby nalezené nástrojem Blob Finder. Po jednom obvykle cyklem.

Matching

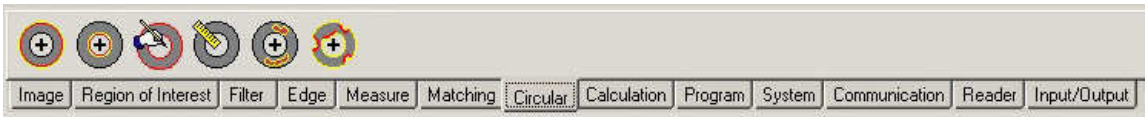


Obr. 16 - Panel Nástrojů - Matching

Sada nástrojů pro porovnávání a vyhledávání obrazových vzorů.

Shape Locator	Najde v obrazu referenční obrázek. (shodu s referenčním obrázkem)
Get Shape	Tento nástroj se používá v kombinaci s nástrojem Shape Locator. Vrací informace o nalezeném objektu.
Add Shape Runtime	Nástroj pro vytvoření referenčního objektu.
Transform ROI	Používá se spolu s nástrojem Shape Locator. Umožňuje posunutí předen definovaného ROI na pozici nalezeného objektu.
Transform Image	Otočí a posune obraz v obrazovém zásobníku tak aby odpovídal pozici a rotaci ve vzoru.
Teach Rotation	Nalezení charakteristických znaků za účelem nalezení rotace vůči referenčnímu vzoru.
Match Rotation	Nástroj pro nalezení natočení objektu vůči naučenému vzoru.(Tlach Rotation)

Circular

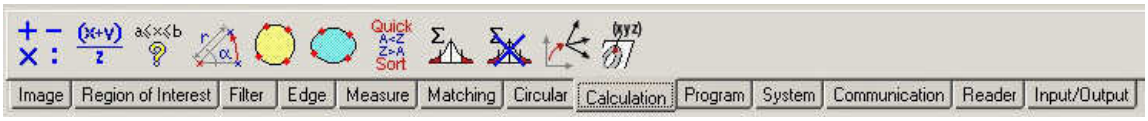


Obr. 17 - Panel Nástrojů - Circular

Nástroje pro detekci a analýzu kruhových objektů.

External Perimeter	Nástroj na detekci vnějších kruhových hran.
Internal Perimeter	Nástroj pro detekci vnitřních kruhových hran.
Circular Perimeter ROI	Vytvoří oblast zájmu (ROI) z nalezené vnější kruhové kontury a současně může uvnitř odebrat prostor až tří vnitřních kruhových kontur.
Circular Analysis	Nástroj vrací vlastnosti vnitřních/vnějších kruhových kontur nebo mezikruží.
Check Circular Surface	Nástroj vyhodnocuje homogenitu intenzity šedé uvnitř kruhových ROI
Check Circular Shape	Nástroj pro vyhodnocení obvodu kruhu. Hledá zuby nebo výčnělky.

Calculation

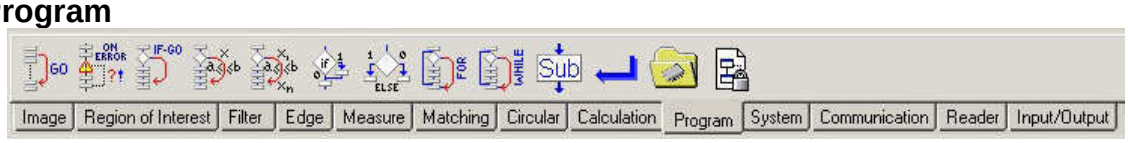


Obr. 18 - Panel Nástrojů - Calculation

Matematické nástroje pro vyhodnocení nebo zpracování získaných parametrů.

Mathematical Operation	Provede jednu ze základních matematických operací mezi dvěmi vstupními hodnotami.
Mathematical Expression	Vrací hodnotu výsledku zadaného matematického výrazu
In Range	Vyhodnocuje jestli je vstupní hodnota v zadaných mezích
Polar to Cartesian Coordinates	Přepočet z polárních do kartézských souřadnic
Fit Circle	Proloží kružnici čtyřmi zadanými body a vrátí její střed a poloměr
Fit Elipse	Proloží elipsu šesti zadanými body a vrátí její střed a velikosti hlavní a vedlejší osy.
Sort	Seřadí zadané parametry sestupně nebo vzestupně.
Update Statistics	Vypočte statistické hodnoty pro zadané vstupní data (min., max., aritmetický průměr a směrodatnou odchylku)
Reset Statistic	Resetuje data v nástroji Update Statistics
Coordinate Alignment	Slouží pro zarovnání souřadných systémů IVC a cíle.
Get Calibrated Point	Vrátí kapírovanou hodnotu v milimetrech bodu zadaného v pocelech. Pracuje na základě provedené kalibrace souřadných os. (Coordinate Alignment)

Program

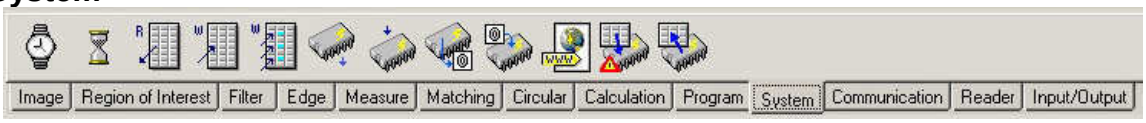


Obr. 19 - Panel Nástrojů - Program

Sada nástrojů pro řízení běhu programu.

Goto	Nepodmíněný programový skok na libovolný krok programu.
If Error Goto	Programový skok podmíněný výskytem chyby.
If Then Goto	Programový skok podmíněný uživatelsky definovanou podmínkou.
If In Range Goto	Programový skok podmíněný velkostí předaného parametru.
If All in Range Goto	Obdobný jako předchozí s rozdílem možnosti kontroly až čtyř parametrů najednou.
If	Uživatelsky definovatelná podmínka.
Else	Další podmínka v pořadí pokud není splněna prvotní podmínka IF.
For	Programový cyklus podmíněný číselným indexem a intervalem ve kterém se musí nacházet.
While	Programový cyklus podmíněný pravdivostí uživatelsky definovaného výrazu.
Subroutine Start	Ohraničuje sekvenci příkazů. Obvykle se volá po ověření nějaké podmínky a provedení programového skoku. Sekvence Subroutine je ukončena příkazem End.
End	Pomocná programová komponenta označující konec Subroutine nebo cyklu.
Run Flash Program	Umožňuje nahrát a spustit program uložený ve flash paměti.
Program Protection	Umožňuje uzamčít program pro konkrétní zařízení a znemožnit jeho otevření a editaci po zkopírování do jiného zařízení.

System



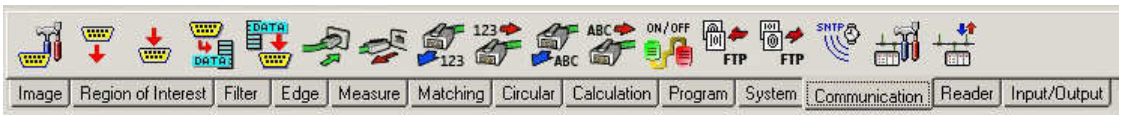
Obr. 20 - Panel Nástrojů - System

Pomocné systémové nástroje

Get Timer	Vrací hodnotu systémového času. Rozdílem dvou hodnot lze spočítat čas mezi jednotlivými volání této funkce.
Wait	Nepodmíněné čekání programu po dobu specifikovanou uživatelem.
Read from Table	Načtení jednoho údaje z tabulky.
Write to Table	Zápis jednoho údaje do tabulky.
Fill Table	Naplní určitou část tabulky zadanou hodnotou.
Load Data Block from Flash	Načte blok dat ze specifikovaného souboru ve flash pamětí.

Save Data Block to Flash	Uloží blok dat do specifikovaného souboru ve flash paměti.
Load Image from Flash	Načte obraz z obrazového zásobníku flash paměti do live paměti zařízení.
Save Image to Flash	Z live paměti zařízení uloží obraz do flash paměti.
Web Status Page	Předané parametry jsou zobrazeny na informativní webové stránce dostupné během runtime provozu zařízení. Takto lze během provozu monitorovat parametry.
Write Table to Flash	Uloží celou tabulku do flash paměti.
Load Table from Flash	Načte celou tabulku z flash paměti.

Communication



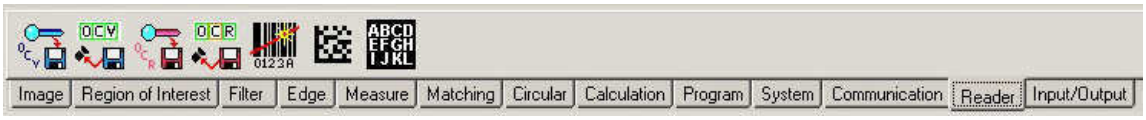
Obr. 21 - Panel Nástrojů - Communication

Nástroje pro datovou komunikaci za použití protokolů RS485, Ethernet a FTP.

Setup RS485	Inicializace komunikace přes RS485 nutné provést před operacemi read/write
Read RS485 Values	Načte specifikovaný počet hodnot z RS485 do tabulky. Načte maximálně osmi-bitové hodnoty.
Write RS485 Values	Odešle specifikovaný počet hodnot z tabulky na RS485
Read RS485 String	Načte řetězec o velikosti maximálně 4095 znaků z RS485
Write RS485 String	Odešle řetězec o velikosti maximálně 4095 znaků na RS485
Open Ethernet Raw	Nastaví komunikaci s jiným zařízením pomocí rozhraní Ethernet
Close Ethetnet Raw	Ukončí komunikaci se specifickým zařízením.
Read Ethernet Bites	Načte specifikovaný počet bajtů ze specifikovaného zařízení do tabulky.
Write Ethernet Bites	Odešle specifikovaný počet bajtů z tabulky na specifikované zařízení.
Read Ethernet String	Načte řetězec o velikosti maximálně 4095 znaků ze specifického zařízení.
Write Ethernet String	Odešle řetězec o velikosti maximálně 4095 znaků na specifické zařízení.
Enable Ethernet	Umožňuje zakázat a povolit komunikaci zařízení pomocí Ethernetu.
Get from FTP	Načte obraz nebo tabulku ze vzdáleného souboru pomocí protokolu FTP.
Send to FTP	Odešle obraz nebo tabulku jako soubor pomocí protokolu FTP.
Get SNTP Time	Umožňuje synchronizaci kamery s SNTP serverem.
Communication Setup	Nastavení které parametry zařízení mohou být zveřejněny pomocí komunikačních protokolů.

Communication Read/Write Nastroj určený k aktualizaci parametrů zařízení pomocí komunikačních protokolů.

Reader

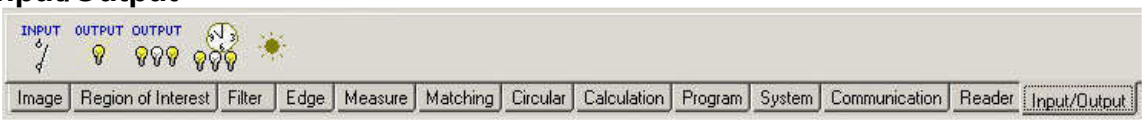


Obr. 22 - Panel Nástrojů - Reader

Nástroje pro rozpoznání a vyhodnocení standardních čarových anebo maticových kódů a pro rozpoznání textu.

OCV Learn	Nástroj pro naučení konkrétního textového vzoru pro rozpoznání.
OCV Read	Ověřuje zda se naučený textový vzor nachází v obrazu.
OCR Learn	Umožňuje naučit program rozpoznávat určitý font písma.
OCR Read	Čte text z obrazu který je fontem který má naučený rozpoznávat.
Read Barcode	Nástroj pro rozpoznání hodnoty známého čarového kódu.
2D Code	Nástroj pro čtení DATAMATRIX kódu.
Character Alignment	Pre-processing nástroj pro OCV a OCR nástroje.Upravuje orientaci a velikost obrazu k porovnávacímu vzoru.

Input/Output



Obr. 23 - Panel Nástrojů - Input/Output

Nástroje pro nastavení hodnot na hardwarových výstupech a čtení z hardwarových vstupů.

Read Input	Čte hodnotu hardwarového vstupu a vrací jeho hodnotu.
Set Output	Vystaví předanou hodnotu na hardwarová výstup.
Set All Outputs	Nastaví hodnoty na všech výstupech najednou.
Set Timed Output	Umožňuje nastavení hodnot výstupů s časovým zpožděním.
Set LED	Nastavení barvy LED na zařízení.

4. Popis úlohy

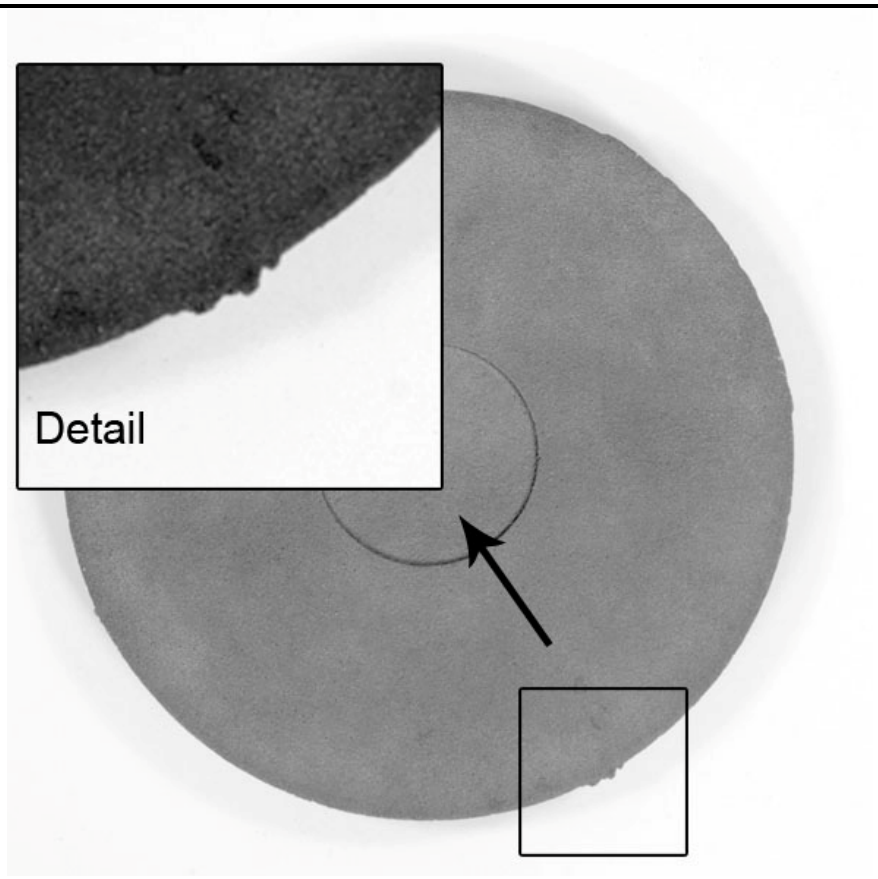
4.1 Popis možných vad odlitku

Obráběný objekt je odlitek plotýnky o průměru 190mm litý do pískové formy. Jedná se o plotýnku elektrického stolního vařiče. Na odlitku se mohou vyskytnout tvarové vady a vady povrchu.

Vyhodnocovány budou odchylky od kruhového tvaru vnějšího obrysu. Tato hrana je místem dělení polovin pískové formy. V tomto místě dochází často k chybám jako je poškození hrany formy nebo nedostatečnému sevření. Tomu odpovídají i nejčastější vady tohoto odlitku. Vzhledem k povaze odlitku se předpokládají pouze vady vyčnívající z obrysu. Vady mají různou výšku a délku po obvodu.

Dále pak se mohou vyskytnout vady v drážkách pro topné těleso. Předpokládají se drobné výstupky snižující hloubku drážky. Tyto vady by mohly způsobit chybné uložení topného tělesa a nebo jeho nedostatečné zalití.

Obr. 24 - Předmět zájmu - odlitek plotýnky



Obr. 25 - Typická vada odlitku

Obr. 26 - Finální produkt - elektrický vařič ETA [7]

4.2 Rozbor z pohledu rozpoznávání obrazu

Jediný snímek

Nejjednodušší variantou je montáž kamery na stacionární rám. Takto umístěná kamera snímá oblast předpokládaného výskytu součásti a vyhodnocuje ji na jediném snímku. Takovéto řešení má výhodu v jednoduchosti přepočtu souřadného systému kamery do souřadného systému robotu. Pokud by byla kamera osazena na pohyblivém rameni robotu a chtěli bychom zachovat jednoduchou transformaci souřadných systémů muselo by docházet k snímání objektů ze stejného místa. (stejné natočení ramena robotu). Nevýhodou takovéhoto řešení je malé rozlišení součásti a vad. Toto se dá omezenými prostředky optimalizovat. Například použitím kamery s vyšším rozlišením a nebo větším využitím zorného pole. Ovšem toto nese zvýšené požadavky na polohování součásti. Pokud součást přijíždí volně ložená na pásovém dopravníku lze přesnost polohování, ve směru kolmém na směr posuvu, zvýšit například vodícími lištami které součást navedou relativně přesně doprostřed zorného pole kamery.

Více snímků

Použitím více snímku pro vyhodnocení jedné součásti vede k vyššímu rozlišení z použití stejného hardwarového vybavení. Takovýto způsob snímání je vhodnější také pro použití strukturovaného osvětlení a detekci reliéfních vad. Nevýhodou takovéhoto snímání je nutnost složitějšího vyhodnocení. Kamera bude v tomto případě připevněna na rameně robotu a převod souřadných systémů bude mnohem složitější protože se bude měnit poloha kamery vůči globálnímu souřadnému systému robotu. Souřadnice kamery ale lze v tomto případě považovat za souřadný systém nástroje. Je ale vhodné dodržovat konstantní vzdálenost od snímaného objektu aby nedocházelo ke zkreslení velikostí vlivem perspektivy.

4.3 Teoretický popis úlohy

Odlitek je nutné kompletně obrobit, a to jak z důvodů lícování tak i z estetických. Obrábět se bude vnější hrana plotýnky a případně se budou opravovat drážky pro topnou spirálu. Předpokládá se přísuv neobrobených kusů po pásovém dopravníku. Kusy budou orientovány stranou s drážkami nahoru.

Odlitek musí být dopraven do zorného pole kamery pro první analýzu. Napolohování do zorného pole bude provedeno v jedné ose vodícími lištami a ve druhé ose zastavením dopravníku pomocí optické závory.

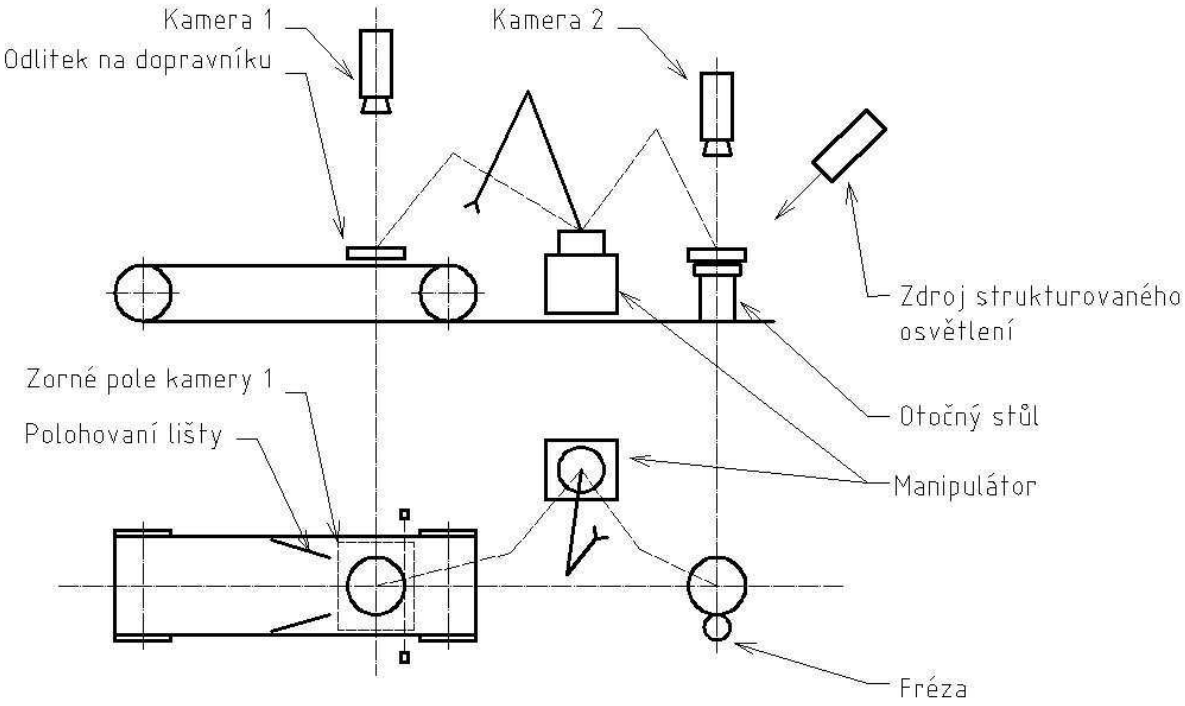
Po zastavení dopravníku optickou závorou bude kamera čekat, dokud se nezastaví pohyb dílů. V tomto případě stačí krátká 0,5s prodleva. Poté dojde ke spuštění kamery. Kamera sejme celý odlitek a vyhodnotí polohu jeho středu a natočení. Dále bude provedena kontrola hrany odlitku. Tuto hranu je nutné obrobit v každém případě, pokud se nebude vyskytovat větší přetok, lze ji obrobit standardní rychlostí, v případě detekce většího přetoku pak bude rychlost obrábění snížena. Není nutné předávat přesné souřadnice kde se vada vyskytuje.

Dále bude provedena manipulace odlitku průmyslovým robotem. Nyní je již známá poloha středu a orientace odlitku na dopravníku. Robot uchopí odlitek za jeho střed a přenese jej na otočný stůl a napolohuje jej na střed a orientuje jej do výchozí pozice. Odlitek je k otočnému stolu fixován elektromagnetem.

Na otočném stolu dojde k obrobení vnějšího obvodu. To bude provedeno obvodovou frézou. Obrobení proběhne na jedno otočení odlitku. Rychlost obrábění se bude měnit v závislosti na předchozí analýze obvodu.

Na otočném stole bude provedena druhá analýza druhou kamerou. Tady se bude vyhodnocovat stav drážek pro topné těleso. Tato analýza vyžaduje strukturované osvětlení. Při této analýze se bude odlitek na stole znovu pootáčet. Snímání obrazu současně při obrábění obvodu není vhodné kvůli vibracím a nepřerušovaném pohybu součásti. Polohování odlitku pro analýzu drážek bude prováděno po asi 20 stupních. Při detekci vady bude cyklus zastaven a vada odstraněna. Takovéto vady lze obrobit brusným hrotem na koncovém efektoru robota který byl použit i pro manipulaci. Po obrobení bude pokračovat dál kontrola drážek a detekce vad dokud neprovede celou otočku.

Po dokončení obrábění obvodu a oprav drážky robot přenese odlitek na dopravník který bude posouvat odlitek k dalším operacím.



Obr. 27 - Schéma pracoviště

5. Návrh komponent

5.1 Osvětlení

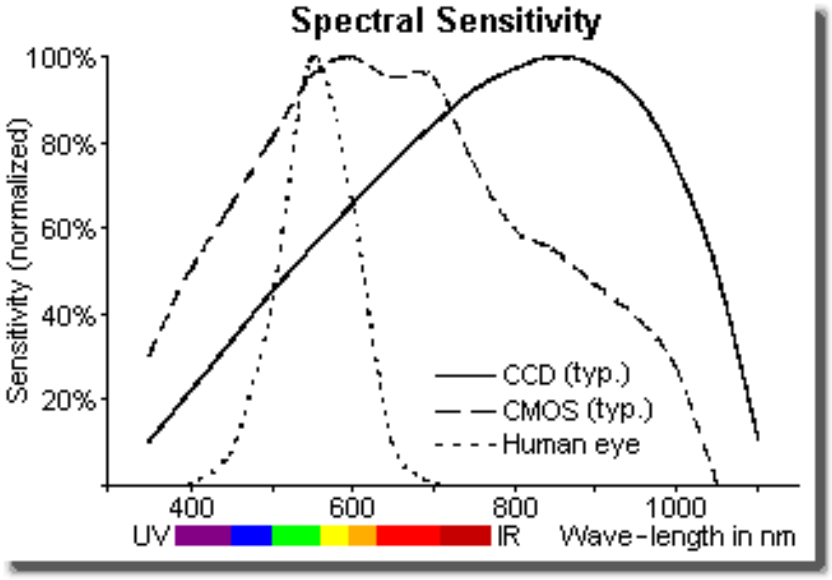
Volba správného osvětlení je nejdůležitější část vývoje kamerového systému. Správnou volbou osvětlení můžeme ovlivnit jak nezávislost na okolních podmínkách tak rychlost vyhodnocení úlohy.

Software pro vyhodnocení obrazu sice dokáže filtrovat obraz tak aby bylo zvýrazněny chtěné nebo bylo potlačeny nechtěné efekty na obrazu, ale každá takovéto filtrace potřebuje nějaký výpočetní čas a to se negativně projevuje v celkovém čase vyhodnocení obrazu. Toto je nežádoucí zejména v úlohách kde je nutné vyhodnocovat značné množství obrazů za jednotku času.

Dalším faktorem který je nutné brát v úvahu je stabilita snímání obrazu vzhledem k okolnímu osvětlení. V automatizovaném provozu je kladen důraz na vliv změny okolí na výsledný proces snímání. Není tedy možně aby například při zhasnutí osvětlení místnosti nebo zastínění okna došlo k velké změně snímaného obrazu a tím možného zkreslení vyhodnocení. Tomuto se předchází obvykle tak že se použije osvětlení s mnohonásobně vyšší intenzitou než je okolní světlo. Světla s velkou intenzitou mají nevýhody v podobě velkého příkonu a případného generování parazitního tepla. Toto nevýhody se dají minimalizovat použitím světel v zábleskovém režimu. Záblesky je ovšem nutno synchronizovat se snímáním. Další možností jak minimalizovat vnější světelné podmínky je použití osvětlení v jiném frekvenčním spektru obvykle v infračervené oblasti.

5.1.1 citlivost snímacích prvků

V dnešních kamerách převažují jako snímací prvek čipy typu CCD a CMOS. Tyto snímací prvky dokáží zaznamenat obraz nejen ve spektru viditelném lidským okem ale i mimo něj, zvláště pak v blízkém infračerveném spektru. Toto platí obzvlášť pro CCD čipy které mají dokonce v infračerveném spektru větší citlivost než ve viditelném.



Obr. 28 - Porovnání citlivosti CCD a CMOS snímacích prvků [8]

Tohoto je možné využít při návrhu osvětlení. Například použitím intenzivního osvětlení složeného z LED s infračerveným světlem. Případně lze ještě použít na objektiv filtr který nepropustí světlo o vlnové délce kratší než blízkého infračerveného světla. Ale je nutné zohlednit hardware pro který je osvětlení určené protože některé snímače mohou mít infračervenou oblast úmyslně potlačeny výrobcem.

5.1.2 typy osvětlení

Protisvětlo

Šikmé osvětleni hrany odlitku se na sejmutém obrazu projeví kontrastním zvýrazněním hran. Jedná se vlastně o projekci profilu. Osvětleni samotného odlitku je minimální profil je osvětlen světlem odraženým od pozadí.

Výhody: Takovýto druh osvětlení není citlivý na vnější podmínky protože intenzita světelného zdroje bývá obvykle vysoká aby docházelo k stejnoměrnému osvětlení všech hran.

Nevýhody: Tento způsob však neumožňuje kontrolu součásti uvnitř jejího obrysu protože tato část není vůbec osvětlena. Na mé součásti například nebudou vidět spirálové drážky pro topné těleso.

Rozptýlené světlo (difusní)

Pro tento druh osvětlení se obvykle používá osvětlení koncentrické okolo objektivu s vestavěným nebo přidaným difusním filtrem. Tento typ je vhodný pro zobrazení struktury povrchu a nebo pro osvětlení reflexivních povrchu které by tvořily výrazné nechtěné lesky.

Výhody: Při tomto světlení nevznikají nežádoucí lesky na povrchu a dají se jím zobrazit i hrany objektů. Jedná se o jakési universální osvětlení které lze použít u většiny vision úloh.

Nevýhody: Nevýhodou takovéhoto osvětlení je citlivost na vnější osvětlení protože takovéto difusní osvětlení se obvykle provádí osvětlovacím zařízením s relativně malým vyzařovacím výkonem. Použití zábleskového osvětlení s vyšším výkonem je možné ale je nutné použít dostatečně účinný difusní filtr. Při použití obvyklého osvětlení je nutno odclonit rušivé vlivy vnějšího osvětlení jako jsou například zářivky a sluneční světlo. Při pevně nastavených prahových hodnotách může docházet ke zkreslení velikosti vad. A při vyšší intenzitě osvětlení se mohou ztratit některé malé detaily.

Strukturované osvětlení

Je vhodné pro vizualizaci 3. rozměru. Jedná se o promítání jedné nebo více rovnoběžných čar na reliéf objektu. Při dopadu na vystupující objekty se čáry deformují a tyto deformace se poté analyzují.

Výhody: Používá se převážně pro systémy pracující s 3. rozměrem ale jeho použití pro klasické 2D úlohy je možné dosahuje se jím projekce vad které jsou výškového charakteru do roviny zobrazení.

5.2 Návrh kamery – zorné pole, rozlišení.

Pro první úlohu (poloha dílu a přetoky) vychází návrh nejvyššího využitelného rozlišení kamery z chyby opakovatelnosti polohování robota - lepší než 0,1 mm. Pro nejmenší možnou velikost zorného pole 200 mm (pro desku o průměru 190mm) je tedy minimální počet pixelů : 200mm / 0,1 mm/px = 2000 pixelů. Druhým limitujícím kritériem je drsnost povrchu dílu, která se pohybuje okolo 0,3 mm. Z tohoto pohledu je minimální potřebný počet pixelů : 200 / 0,3 = 667 px. Kamera SICK IVC-2DM1122 disponuje rozlišením 1024 x 768 px, disponuje tedy rozlišením u spodní hranice požadovaného rozsahu.

Pro druhou úlohu (vnitřní povrch drážek) je nutné použití vyššího rozlišení. Při volbě zorného pole 60x45 mm odpovídá pro kameru SICK jednomu pixelu 60 mm/1024px = 0,0585 mm a kompletní ploténka může být prohlédnuta na 16 –18 pootočení desky.

5.3 Průmyslový robot

Pro úlohu tak jak je popsána v kapitole 4.3 je nutný manipulátor s nosností vyšší než je hmotnost odlitku (1,5 kg) a s pracovním prostorem který bude schopný obsluhovat obě pracoviště.Pokud bude manipulátor použit pro manipulaci i obrábění, pak bude vhodné použít 6-ti osý manipulátor.Pokud bude použit pouze na manipulaci z jednoho pracoviště na druhé, pak stačí 4-osý manipulátor například typu scara.

Je předpokládána možnost rotace zápěstí robota a elektromagnetické uchopení dílu.

5.4 PLC, Dopravník a snímače

Pro propojení systému je potřeba zvolit vhodný komunikační bod který zajistí propojení všech komponent. Pro tento účel je vhodné PLC rozšířené o moduly s vhodnými vstupy a výstupy. Digitální I/O typu bool jsou potřeba pro kontrolu optické závory, výstupů z kamery.a spouštění kamery. Dále pak digitální výstupy typu integer pro řízení frekvenčního měniče (ovládání dopravníků). Pro přenos souřadnic mezi kamerou, PLC a robotem je potřeba využití Ethernetu a DeviceNetu.

6. Realizace úlohy

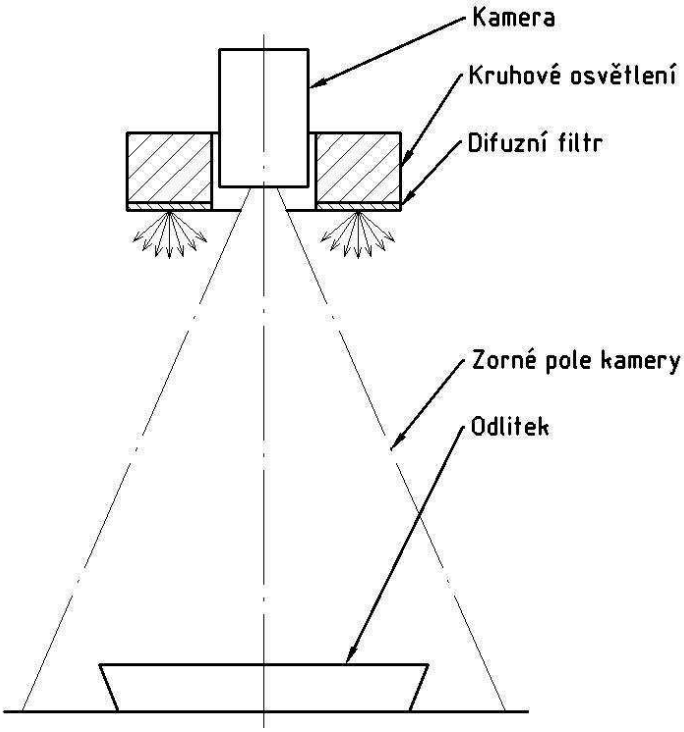
Volba veškerých hardwarových komponent pro tuto práci je dána komponentami vlastněnými ÚVSSaR VUT Brno, kde tato práce vznikla, případně možností zapůjčení nebo vlastní výrobou. Práce a úpravy pracoviště byly přizpůsobovány zároveň také pracem na druhé souběžně vytvářené diplomové práci využívající stejné zařízení.

Původní návrh ověření úlohy zahrnoval i ovládání pásového dopravníku, který v současné době není funkční z důvodu poruchy frekvenčního měniče napájejícího motor dopravníku, proto byl s díl pod kamerou polohován ručně.

Realizace úlohy je tedy zaměřena na ověření vhodnosti navrženého osvětlení a funkčnosti programu pro sejmutí, vyhodnocení obrazu a komunikaci s okolím. Prakticky se jedná se o dva samostatné programy realizované na kameře SICK s různým osvětlením a nastavením objektivu. První program lokalizuje polohu a natočení odlitku a souběžně detekuje přetoky na obvodu. Druhý program je zaměřen na detekci vad označených uvnitř drážek pro topnou spirálu.

6.1 Volba osvětlení pro kameru 1

S dostupných komponent byl vybrán světelný prstenec vyzařující ve směru osy objektivu. Prstenec je opatřen difusním filtrem pro eliminaci odlesků od nerovností na povrchu součásti.



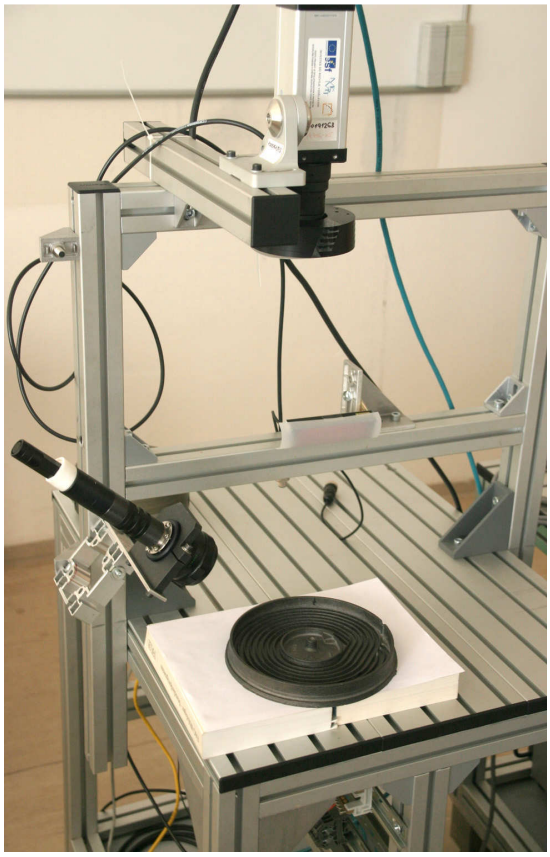
Obr. 29 - Schéma osvětlení pro kameru 1

Obr. 30 - Foto osvětlovacího zařízení pro kameru 1

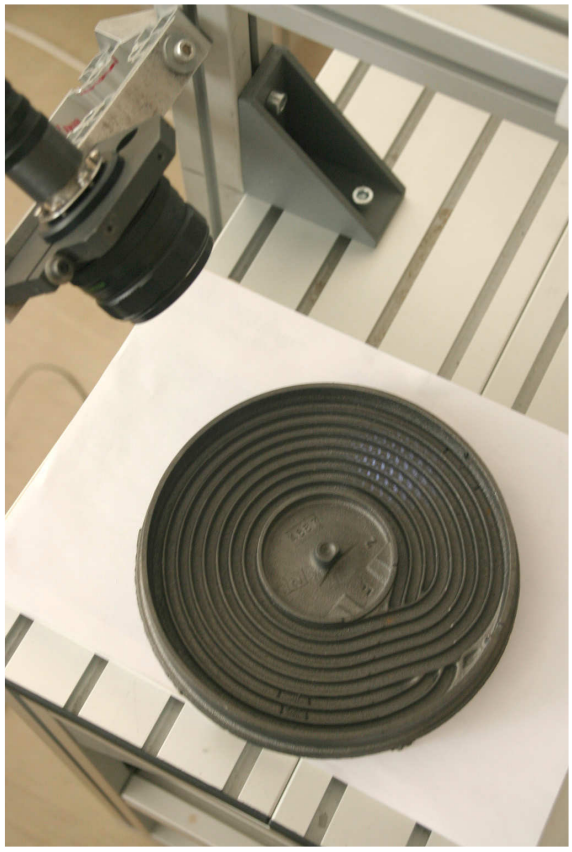
6.2 Volba osvětlení pro kameru 2

Pro úlohu detekce vad uvnitř spirálových drážek bylo sestaveno zařízení pro projekci rovnoběžných úzkých světelných paprsků. Toto zařízení má malý vyzářený výkon a difusní osvětlení použité pro kameru 1 by příliš snížilo kontrast obrazu. Proto v tomto případě pro osvětlení odlitku bylo použito denní světlo. Další zvýšení kontrastu je možné zastíněním okolního světla.

Pokus o použití světla laserové diody byl nevhodný. Světlo se na struktuře povrchu odráží nedefinovatelným způsobem a vytváří optické artefakty v obrazu.



Obr. 31 - Konfigurace osvětlení

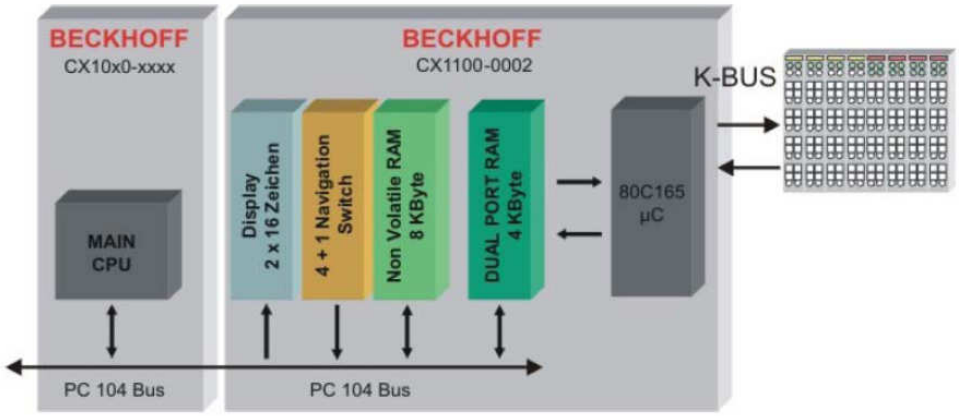


Obr. 32 - Detail projekce

6.3 Propojení komponent a komunikace

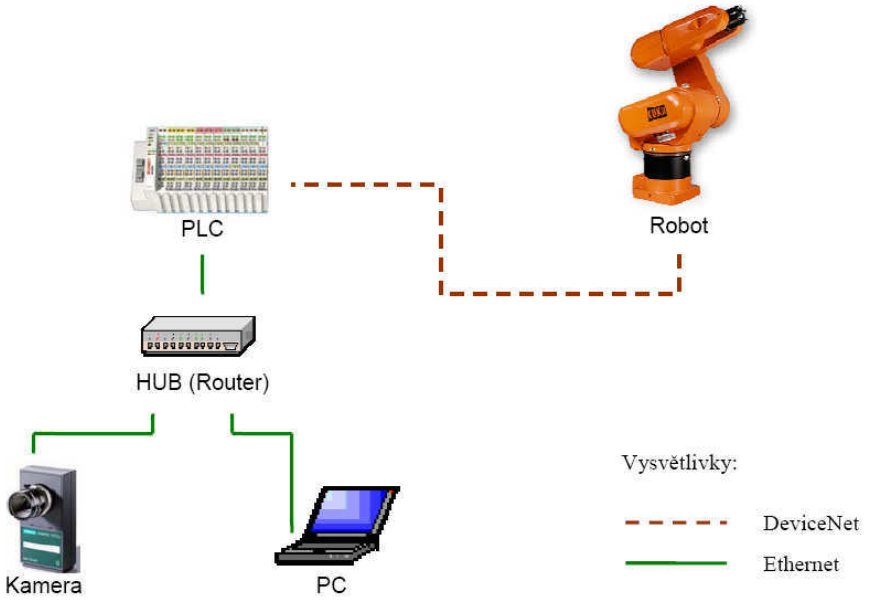
Jako hlavní manipulátor jsem zvolil průmyslový robot KUKA KR3 s nominální nosností 3kg. Tento robot je ve vlastnictví ÚVSSaR a je jednoduše dostupný. Jedná se o robot se 6-ti stupni volnosti. Robot může v základní konfiguraci komunikovat přes rozhraní Ethernet (OPC), DeviceNet a RS232.

PLC volím Beckhoff řady CX1000. Opět z důvodů vlastnictví toho to zařízení na ústavu. Jde o embedded PC s rozšiřujícími moduly rozšiřujícími jeho komunikační možnosti. Základ tvoří modul embedded PC, vybavený operačním systémem Windows CE. Modul PC je připojen na sběrnici PCI ve standartu PC104. Na tuto sběrnici jsou připojeny i moduly s ethernetovým rozhraním, DeviceNet a moduly pro vstupy/výstupy.



Obr. 33 - Struktura PLC Beckhoff [4]

Robot komunikuje přes rozhraní DeviceNet a kamerový systém po rozhraní Ethernet. Dále je potřeba monitorovat optickou závoru a předávat signály pro spuštění kamery. Proto se jako spojovací komponent použije PLC které je schopné komunikovat se všemi těmito zařízeními.



Obr. 34 - Schéma propojení komponent [5]

Potřebná komunikace mezi jednotlivými komponentami systému byla již dříve úspěšně odzkoušena a podrobně popsána v předchozí diplomové práci která se zabývala tímto zařízením viz. Jan Krutílek [5] a je plně vyhovující i pro stávající aplikaci, proto nebyla dále modifikována.

6.4 Program pro kameru 1

Pro ověření funkčnosti úlohy je použita kamera a systém vyhodnocení obrazu SICK popsaný v kapitole 3:2.

Program se sestává z několika programových kroků. Na začátku je inicializace parametrů kamery. Dále pokračuje sejmutí obrazu které je spuštěno externí spouští (spouští ji PLC). V dalším kroku je detekce druhového tvaru. Pokud nebude kruhový tvar nalezen je program ukončen a přivolána obsluha.

Při úspěšném nalezení kruhového tvaru je vyhodnocen jeho obvod zda-li se na něm vyskytují vady větší než je nastavená citlivost programu. Podle výsledku je vystaven příslušný bit na výstupu kamery podle kterého je následně řízena rychlost obrábění.

Vyhodnocení natočení je provedeno funkcí typu matching (nalezení shody se vzorem). V IVC je na toto vhodná funkce Shape Locator která vyhledává zadaný vzor v obrazu. Pro tento případ je zvoleno vyhledávání charakteristického křížení spirál v těle odlitku. Pokud nedojde k nalezení shody s referenčním obrazem pak je pravděpodobně odlitek položen na dopravníku obráceně. V takovém případě je program ukončen a přivolána obsluha.

Dalším krokem programu je matematické převedení nalezených souřadnic (souřadný systém kamery udávaný v pixelech) do souřadného systému robotu. Následuje odeslání upravených souřadnic a skok na začátek programu.

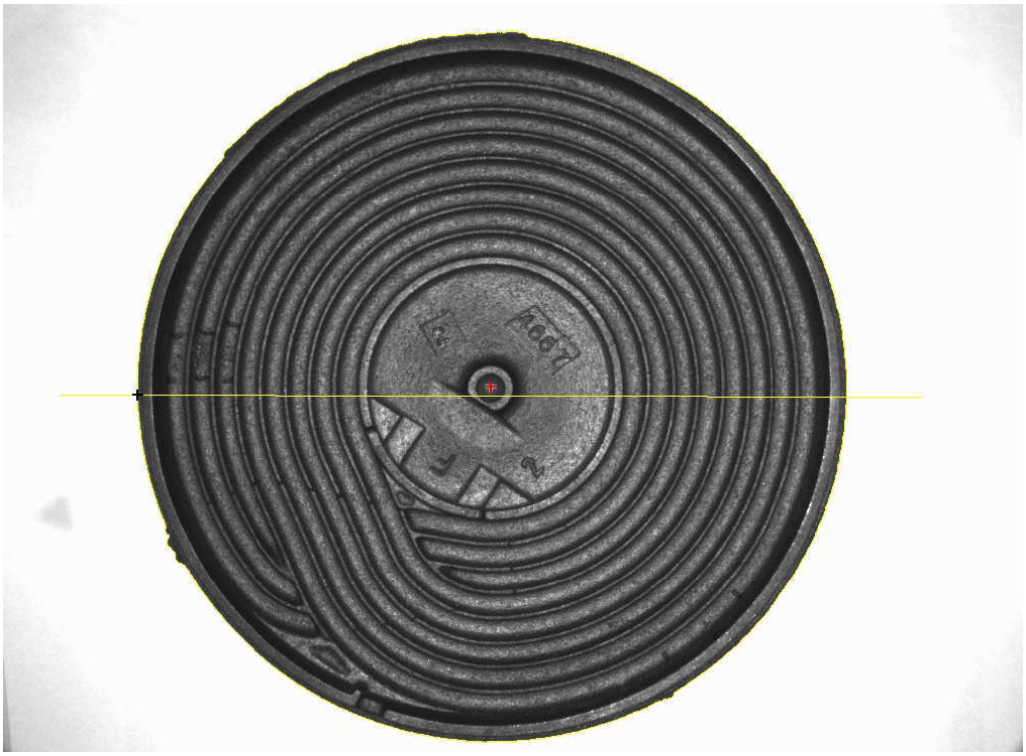
Souřadný systém robotu je zarovnaný na střed obrazu kamery.

$$X_r = X_{0r} + \left(\left(\frac{X_{\max_kam}}{2} + X_{kam} \right) \cdot k_x \right)$$

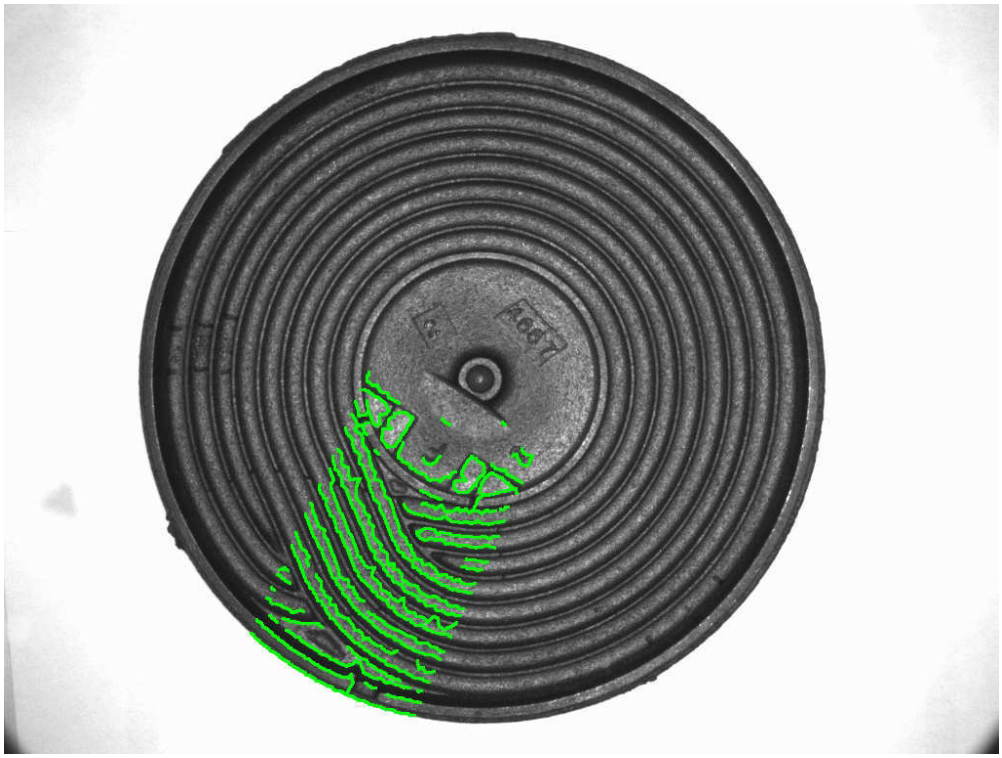
$$Y_r = Y_{0r} + \left(\left(\frac{Y_{\max_kam}}{2} + Y_{kam} \right) \cdot k_y \right)$$

X_r, Y_r	Souřadnice v souřadném systému robotu [mm].
X_{0r}.Y_{0r}	Souřadnice středu obrazu kamery v souř. systému robotu [mm].
X_{max_kam}, Y_{max_kam}	Rozsah souřadného systému kamery. [px]
X_{kam}, Y_{kam}	Souřadnice v souřadném systému kamery [px]
k_x, k_y	Koeficienty pro převod souřadnic ($k_x = k_y$) [-]

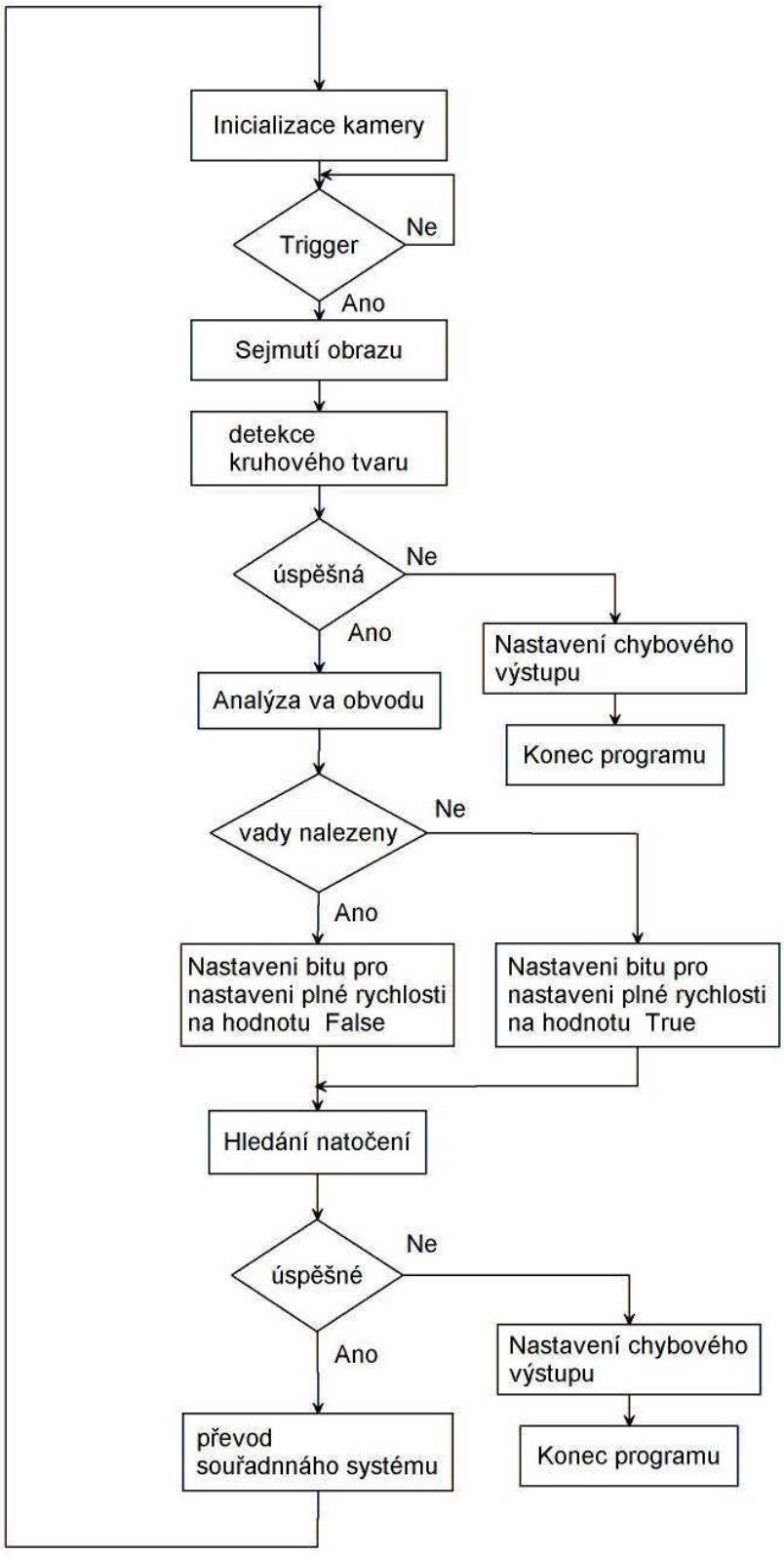
Obr. 35 - Struktura programu pro kameru 1



Obr. 36 - Výsledek úspěšné detekce kruhového tvaru - nalezení středu a obvodu



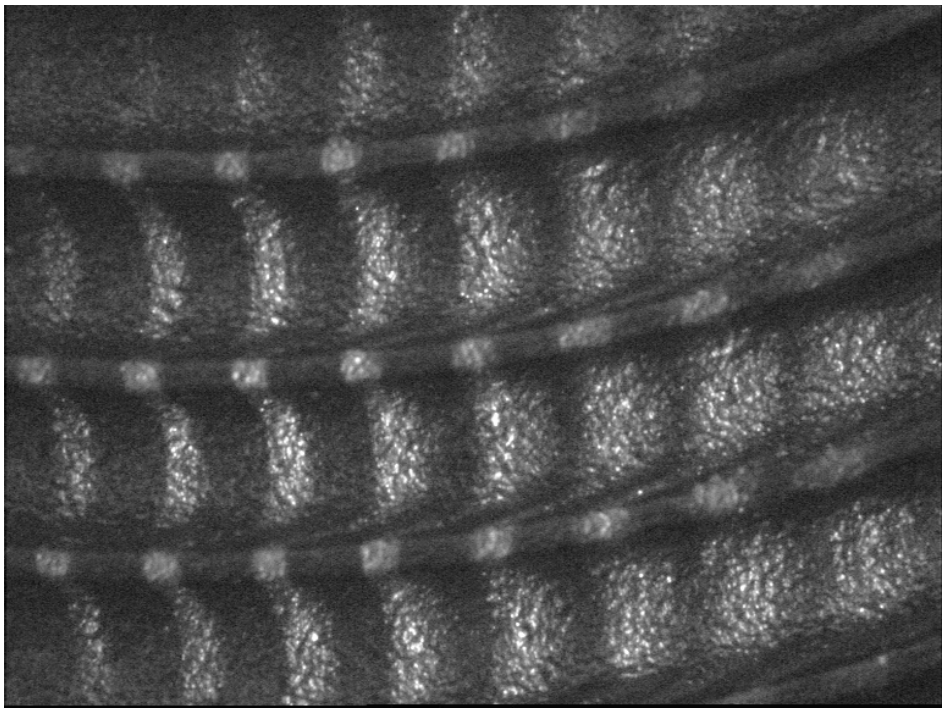
Obr. 37 - Úspěšné nalezení porovnávacího vzoru



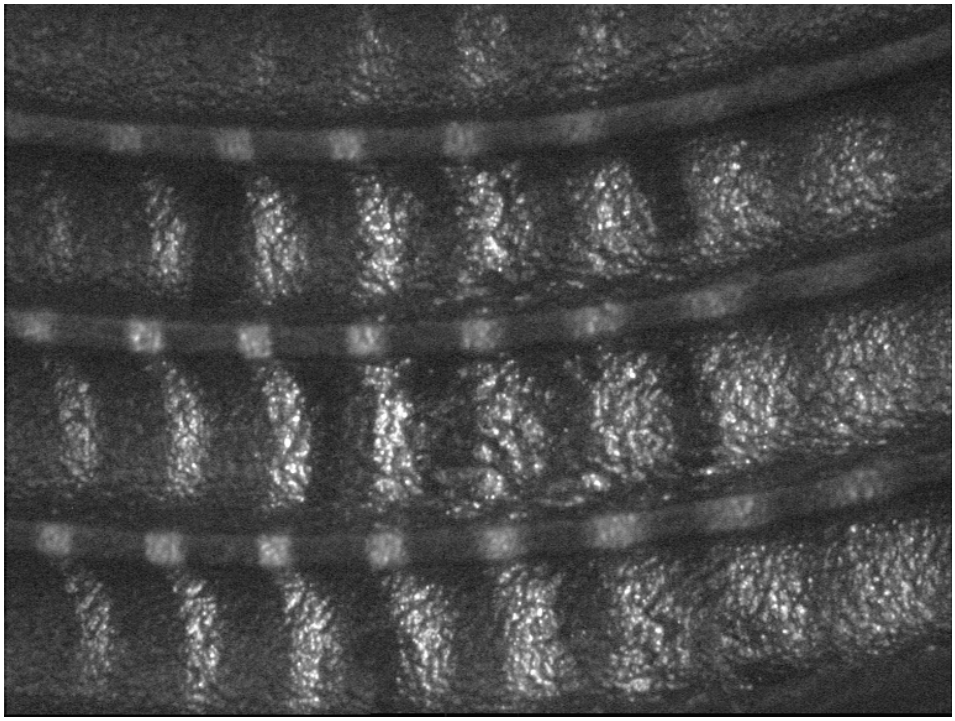
Obr. 38 - diagram funkce programu pro kameru 1

6.5 Program pro kameru 2

Úkolem pro kameru 2 je detekovat vady uvnitř spirálovitých drážek o šířce cca 4.5mm a hloubce 6mm. K tomuto účelu bylo navrženo a sestaveno osvětlení promítající na odlitek rovnoběžné pásy světla. Vyhodnoceno mělo být deformování hran promítnutých paprsků a lokalizace vady. Avšak ukázalo se, že velikost vady je 0.4-0.8 mm a drsnost povrchu je okolo 0.3 mm. Rozpoznání vad ve spirálovité drážce metodou měření polohy pruhu není spolehlivé.

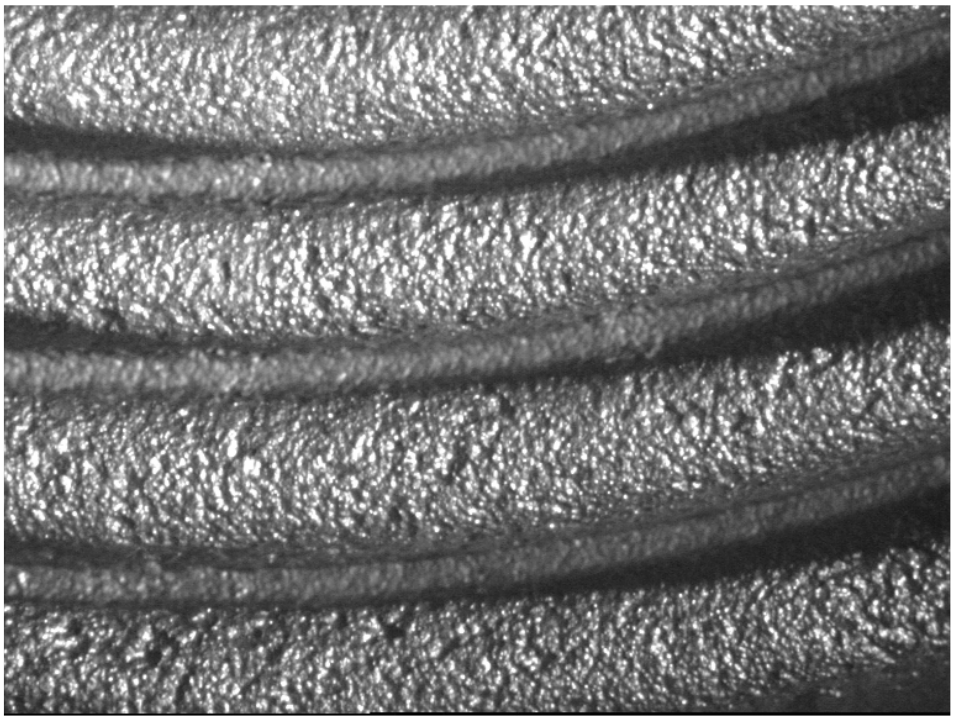


Obr. 39 - Místo bez vady pod strukturovaným osvětlením

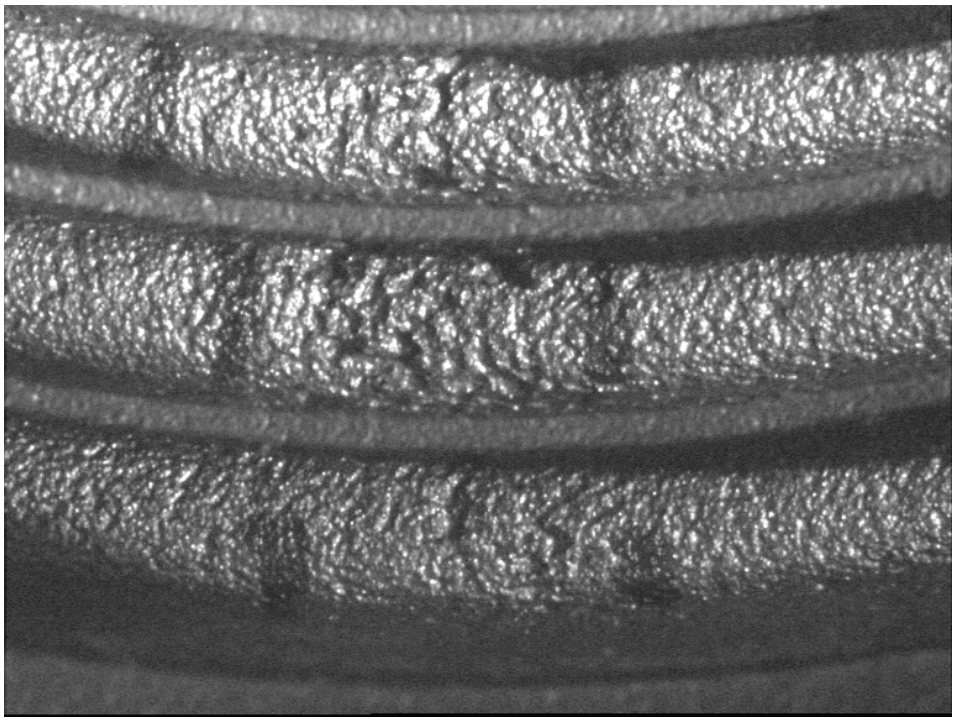


Obr. 40 - Místo s vadou pod strukturovaným osvětlením

Lokalizace vad takovéhoto by byla nejspíše možná vyhodnocením obrazu pomocí neuronových sítí. Jednalo by se o vyhodnocení textury povrchu a srovnávání s referenčními vzorky. Pro takovouto úlohu by bylo nutné využít šikmé osvětlení které zvýrazní texturu povrchu.



Obr. 41 - Místo bez vady pod šikmým osvětlením



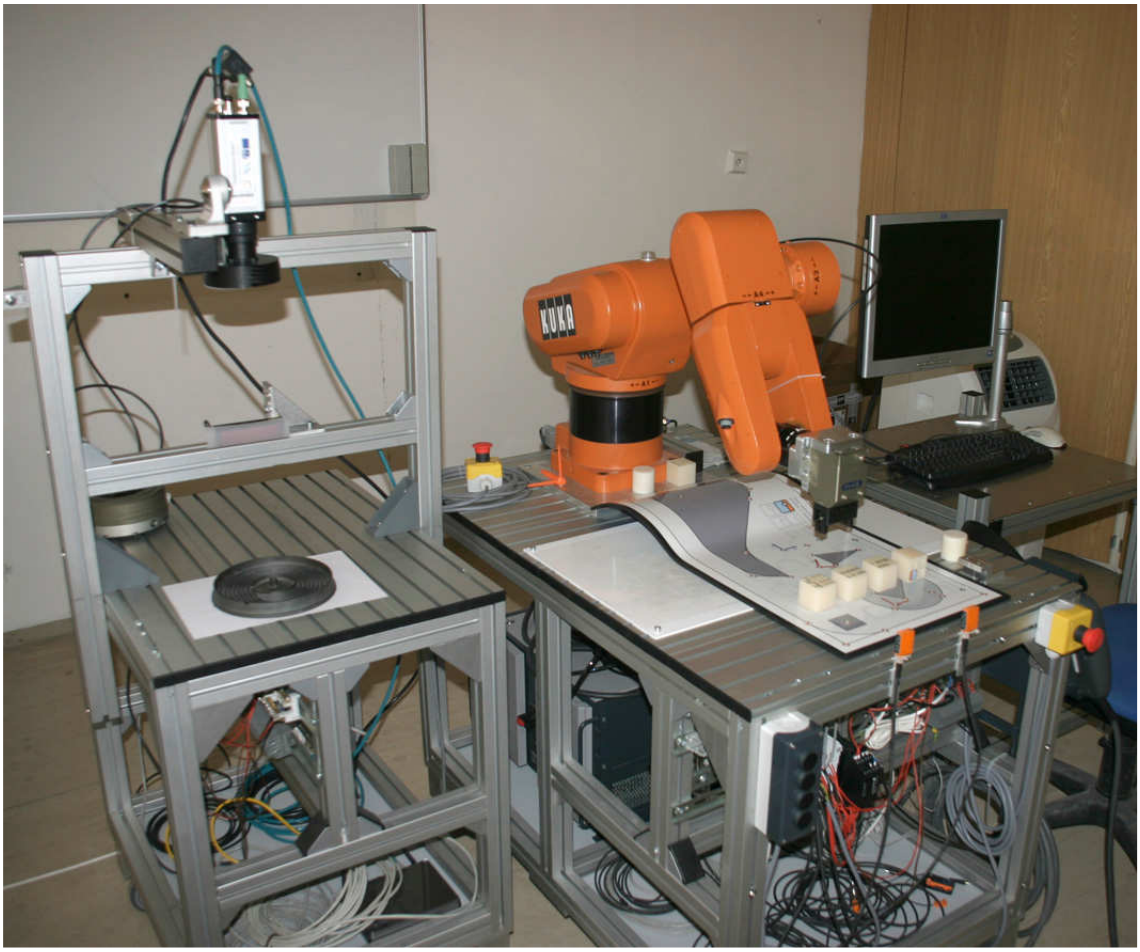
Obr. 42 - Místo s vadou pod šikmým osvětlením

Další možností lokalizace vad ve spirálových drážkách by bylo použití taktilního snímače. Vada by nebyla rozpoznávána kamerou ale kontaktním

způsobem by byl kontrolován profil drážky. Pro vedení snímače v drážce byl s výhodou použit robot procházející po naprogramované trajektorii kopírující drážku. Po stejné trajektorii by se následně pohyboval i nástroj pro opracování přetoků.

6.6 Shrnutí výsledků realizace

V rámci realizace úlohy byla otestována funkčnost navržených prvků rozpoznání obrazu. Program pro kameru 1 funguje dle očekávání a je schopen detekovat přítomnost odlitku, jeho polohu, natočení a ověřit přítomnost vad na obvodu. Program pro kameru 2 nebylo možné dokončit protože dostupným programovým vybavením není možné dostatečně spolehlivě detekovat vady. IVC Studio neumožňuje analýzu obrazu pomocí neuronových sítí. Proto by bylo při dalším řešení úlohy vhodné využít jiný software nebo kontaktní snímání.



Obr. 43 - Foto pracoviště

7. Závěr

V této diplomové práci byla zevrubně popsána metoda vyhodnocování obrazu a její základní pojmy. Dále pak byly rozlišeny základní typy systémů pro zpracování obrazu a podrobně rozebrán systém od společnosti SICK.

Podstatnou částí je navržení systému pro detekci defektů litinové plotny a návrh komponent základních potřebných k realizaci takového systému.

V poslední části je provedeno ověření funkčnosti jednotlivých komponent na zjednodušeném pracovišti. Výsledkem je potvrzená správnost navrženého řešení pro první část problému. A návrh dalšího směru vývoje pro druhou část řešeného problému. Druhá část řešeného problému nebyla vyřešena uspokojivě pro praktické použití a zasloužila by prostor pro další práci s použitím naznačených technických prostředků.

Použité Zdroje

[1] ŠONKA, Milan ; HLAVÁČ, Václav. *Počítačové vidění*. Praha : Grada, 1992. 272 s. ISBN 80-85424-67-3.

[2] HAVLE, Otto. Smart kamery pro strojové vidění. *Automatizace* [online]. Leden 2007, 50, 1, [cit. 2011-01-20]. Dostupný z WWW: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=1588>.

[3] SICK. *IVC-2D Manual EN*. Vydáno 31.3.2010

[4] BECKHOFF [online]. 2010 [cit. 2010-04-28]. *Documentation*. Dostupné z WWW: <http://www.beckhoff.com/>.

[5] KRUTÍLEK, J. *Systémy průmyslového vidění s roboty Kuka a jeho aplikace na rozpoznávání volně ložených prvků.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 60 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Kubela.

[6] SONKA, Milan; HLAVAC, Vaclav; BOYLE, Roger. *Image Processing, Analysis, and Machine Vision*. International student edition. Toronto : Thomsom Learning, 2008. 828 s. ISBN 0-495-24438-4.

[7] ETA [online]. 2011 [cit. 2011-05-22]. *Kuchyňské spotřebiče/vařiče*. Dostupné z WWW: <http://www.eta.cz/>.

[8] PREISS, Walter. *SloMo CCD and CMOS Sensor Info* [online]. [cit. 2011-05-22] Dostupné z WWW: <http://www.fen-net.de/walter.preiss/e/slomoinf.html>

Seznam použitých zkratek

Značka	Jednotka	Popis
X_r, Y_r	mm	Souřadnice v souřadném systému robotu
X_{0r}, Y_{0r}	mm	Souřadnice středu obrazu kamery v s.s. kamery
x_{max_kam}, $Y_{max\ kam}$	px	Maximální rozsahy souřadného systému kamery
x_{kam}, Y_{kam}	px	Souřadnice v s.s. kamery
k_x, k_y	-	Koeficienty pro převod souřadnic mezi s.s. robotu a kamery
ÚVSSaR	-	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.
CCD	-	Charge Coupled Device
CMOS	-	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
PLC	-	Programmable Logic Controller
MTF	-	Modulation Transfer Function