

# Digitalna obrada i analiza slike unutar LabVIEW razvojnog okruženja

---

Šimunović, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Bjelovar  
University of Applied Sciences / Veleučilište u Bjelovaru**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:660337>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied  
Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU  
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

**Digitalna obrada i analiza slike unutar LabVIEW razvojnog  
okruženja**

Završni rad br. 10/MEH/2018

Ivan Šimunović

Bjelovar, Prosinac 2018.



**Veleučilište u Bjelovaru**  
Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

## 1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Kandidat: **Šimunović Ivan**

Datum: 09.07.2018.

Matični broj: 001240

JMBAG: 0314012019

Kolegij: **LABVIEW GRAFIČKO PROGRAMIRANJE**

Naslov rada (tema): **Digitalna obrada i analiza slike unutar LabVIEW razvojnog okruženja**

Područje: **Tehničke znanosti**

Polje: **Temeljne tehničke znanosti**

Grana: **Automatika**

Mentor: **dr.sc. Alan Mutka**

zvanje: **predavač**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. Zoran Vrhovski, mag.ing.el.techn.inf., predsjednik
2. dr.sc. Alan Mutka, mentor
3. Tomislav Pavlic, mag.ing.mech., član

## 2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 10/MEH/2018

U radu je potrebno:

1. Opisati i implementirati softversku podršku za akviziciju slike s kamere unutar LabVIEW okruženja
2. Opisati i implementirati kalibraciju kamere unutar LabVIEW okruženja
3. Opisati alate za obradu slike unutar LabVIEW okruženja
4. Izraditi i opisati LabVIEW aplikaciju za prepoznavanje objekata na slici po boji i obliku.

Zadatak uručen: 09.07.2018.

Mentor: **dr.sc. Alan Mutka**



### *Zahvala*

Zahvaljujem svim profesorima Veleučilišta u Bjelovaru koji su svojim zanimljivim i zabavnim predavanjima te svojom srdačnošću i iznimnom pristupačnošću omogućili da mi ove godine studiranja ostanu u lijepom sjećanju.

Također zahvaljujem tvrtki Data Link na ustupljenoj stručnoj literaturi koja je uvelike pridonijela kvaliteti ovog rada.

# Sadržaj

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LABVIEW.....</b>	<b>2</b>
2.1 Vizijski moduli i upravljački programi .....	4
<b>3. VIZIJSKI SUSTAV.....</b>	<b>7</b>
3.1 Web kamera .....	7
3.2 Temeljni parametri vizijskog sustava.....	9
3.3 Osvjetljenje vizijskog sustava .....	12
<b>4. KALIBRACIJA KAMERE .....</b>	<b>15</b>
<b>5. AKVIZICIJA SLIKE.....</b>	<b>19</b>
<b>6. OBRADA SLIKE.....</b>	<b>20</b>
6.1 Sustavi reprezentacije boje .....	21
6.2 Prostorno filtriranje.....	24
6.3 Metoda praga .....	29
6.5 Morfološke operacije.....	31
<b>7. MACHINE VISION .....</b>	<b>35</b>
7.1 Prepoznavanje oblika .....	36
7.2 Prepoznavanje boje .....	41
<b>8. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>44</b>
<b>9. LITERATURA .....</b>	<b>45</b>
<b>10. OZNAKE I KRATICE.....</b>	<b>47</b>
<b>11. SAŽETAK.....</b>	<b>48</b>
<b>12. ABSTRACT .....</b>	<b>49</b>
<b>13. PRILOZI .....</b>	<b>50</b>



## 1. Uvod

Vizijski sustavi današnjice služe za mjerenje, prepoznavanje željenog predmeta, inspekcije, sortiranje i mogu se lako primijeniti u druge svrhe. Stoga je ideja o kameri kao senzoru uz podršku LabVIEW programskog alata za obradu slike odlična tema za razradu završnog rada. U radu je opisan vizijski sustav popraćen podrškom LabVIEW programskog alata uz module za obradu slike. Iako obrada slike ima široku primjenu kao na primjer u medicini, astronomiji, multimediji ovaj rad baziran je na praktičnoj primjeni vizijskih sustava i obrade slike u industrijskim aplikacijama. Vizijski sustav u industrijskoj primjeni može se koristiti u aplikacijama kontrole prisutnosti, lociranja značajki, prepoznavanju objekata, sortiranju, kontrole kvalitete i slično. U drugom poglavlju rada opisan je rad s modulima i komponente koje koristi LabVIEW programski alat. Za uspostavu vizijskog sustava programskim alatom LabVIEW potrebni su dodatni moduli za akviziciju slike i procesiranje slike te upravljački programi ulaznog senzora. LabVIEW je grafički programski alat u kojem se programira *drag and drop* tehnikom. LabVIEW sadrži tako zvane blokove ili virtualne instrumente koje se kraće još zovu i VI. U radu je ukratko opisano osvjetljenje i komponente vizijskog sustava koje znatno utječu na kvalitetu cijelog sustava. Kako bi mjerenja tijekom inspekcije bila što točnija potrebno je kalibrirati sustav. LabVIEW programski alat nudi nekoliko prikladnih kalibracijskih metoda, a koja će se odabrati ovisi o namjeni aplikacije i zadatku. Nakon akvizicije sliku je potrebno prilagoditi mjerenju. U poglavlju obrada slike objašnjavaju se prostorni filteri kojima se vrše razna poboljšavanja slike ovisno o uvjetima snimanja. U daljem nastavku poglavlja obrada slike objasniti će se svrha morfoloških operacija i prikazati će se njihov utjecaj na binarnoj slici. Kao zaključni dio rada biti će opisana aplikacija klasifikacije objekata i aplikacija prepoznavanje boje.

## 2. LABVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) je grafički programski jezik čije aplikacije služe za testiranje, mjerenje te kontrolu s brzim pristupom računalnoj opremi i podacima[1]. LabVIEW programski alat kao grafički jezik s dodatnim modulima i širokom bibliotekom mnogobrojnih funkcija, generatora signala te funkcija za procesiranje i analizu odličan je za izradu prototipskih aplikacija. Kako bi ispunio zahtjeve aplikacije koja prikuplja, manipulira i obrađuje sliku s kamere, unutar LabVIEW programskog alata na raspolaganju je bogata biblioteka i moduli razvijeni upravo za tu namjenu. Primjerice moduli *Vision development module* (VDM) i *Vision acquisition software* (VAS) opisani u nastavku ovog poglavlja omogućuju obradu i akviziciju slike. Sučelje LabVIEW programskog alata sastoji se od dva glavna prozora od kojih se jedan naziva prednji panel, a drugi blok dijagram. Prednji panel koristi se kao grafičko i upravljačko sučelje. Na njemu se nalaze indikatori, kontrole i očitane vrijednosti mogućih instrumenata. Blok dijagram prozor koristi se za programiranje odnosno za pisanje grafičkog koda. Ova dva prozora su međusobno povezana na način da se dodavanjem jedne kontrole ili indikatora na prednji panel pojavljuje pripadajući element na blok dijagramu. Nakon pisanja koda unutar blok dijagrama završava kreiranje virtualnog instrumenta (VI) kako se i naziva svaka aplikacija u LabVIEW programskom alatu. Podatci blok dijagramom putuju kroz žice. LabVIEW programski alat sadrži tri uobičajena tipa podatka, a to su numerički, binarni te *string* tip podatka. Osim uobičajenih tipova podatka u vizivskoj aplikaciji pojaviti će se tipovi podataka kao što je podatak o fotografiji ili slici koju kamera pribavi. Ovaj tip podatka ili informacije je prikazan kao ljubičasta žica. Slika 2.1 prikazuje razne tipove podataka.



	Skalar	1D Niz	2D Niz	Skup podataka
Numerički	 	 	 	Narančasta ( Float tip podatka) Plava (cijeli broj)   Smeđa
Boolean				Zelena  Roza
String				Roza  Roza
Put datoteke				Tamno zelena  Roza
Referenca				Tamno zelena  Roza
Hardverski resurs				Ljubičasta  Roza
Varianta				Ljubičasta  Roza
Valni oblik				Smeđa  Roza
Klasa				Crvena  Roza

Slika 2.1 : Podatkovne žice [2]

## 2.1 Vizijski moduli i upravljački programi

Za vizijsku aplikaciju potrebno je koristiti dodatne module i upravljačke programe, kao što je primjerice *Vision development module* (VDM). Ovaj modul pruža mogućnost razvoja aplikacija strojne vizije i sadrži dodatne blokove za obradu slike koji se mogu pronaći na paleti funkcija pod izbornikom *Vision and Motion*. VDM u sebi sadrži alat *Vision assistant* koji služi za brzu izradu prototipa aplikacije bez dodatnog programiranja. Iznimno je koristan za razvoj aplikacija vizije zbog svog pojednostavljenog i pristupačnog sučelja. Općenito VDM blokovi koriste se za obradu i analizu slike. Neki od primjera korištenja tih blokova su: izrada histograma, filtriranje, metoda praga, analiza čestica, detekcija ruba, prepoznavanje oblika. Za implementaciju kamere u sustav potrebni su upravljački programi NI-IMAQ, NI-IMAQ I/O, NI-IMAQdx koji će omogućiti komuniciranje programskog alat s kamerom. Ovi upravljački paketi instalirani su pomoću *NI Vision Acquisition Softwarea* (VAS). VAS je modul koji je odgovoran za akviziciju slike s kamere ili drugog uređaja. Svaki upravljački program uključuje skup blokova koji se mogu koristiti za visoku razinu kontrole različitih uređaja za snimanje slika. U nastavku je prikazano za koje uređaje se koristi koji upravljački program te koje standarde i komunikacijske protokole podržavaju.

NI-IMAQ upravljački program podržava samo NI hardverske uređaje i potreban je za korištenje sljedećih uređaja za prikupljanje slike:

- *National Instrument frame grabbers*
- *National Instruments frame grabbers with paralell communication*
- *National Instruments analog frame grabbers*
- *National Instruments 17xx smart camera*

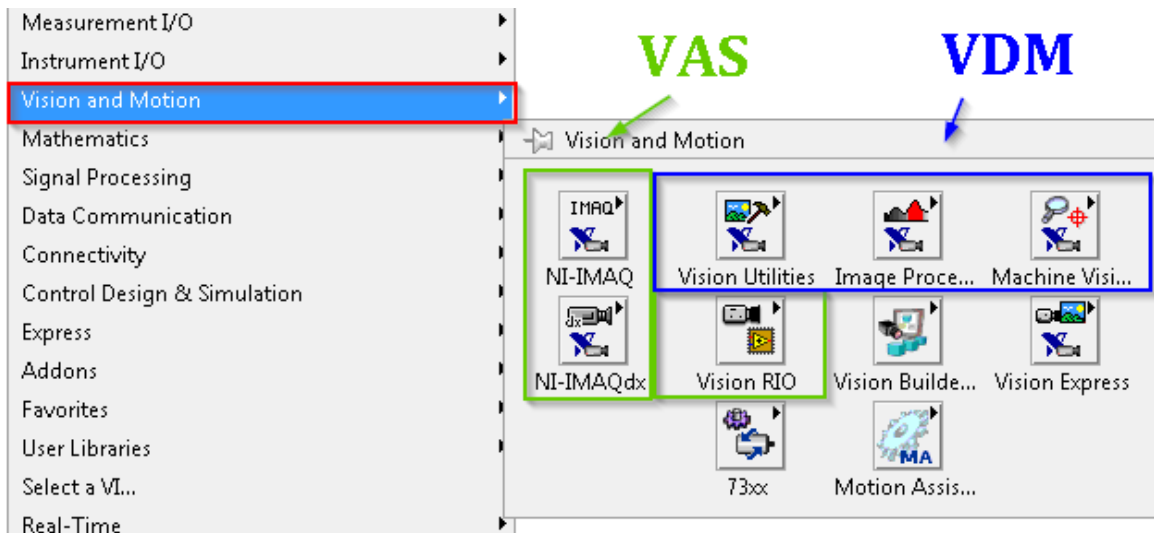
NI-IMAQdx upravljački softver potreban je za korištenje uređaja za prikupljanje slika trećih strana koji koriste sljedeće protokole i standarde:

- *Gigabit Ethernet* kamere koji podržavaju *GigE Vision*
- *FireWire IEEE 1394* kamere
- USB 2.0 kamere koji podržavaju *Microsoft DirectShow*
- USB 3.0 kamere koji podržavaju *USB3 Vision*

NI-IMAQ I / O upravljački program manji je upravljački program koji se koristi isključivo za programiranje *NI Vision RIO* kartica za snimanje slika, uključujući sljedeće kartice:

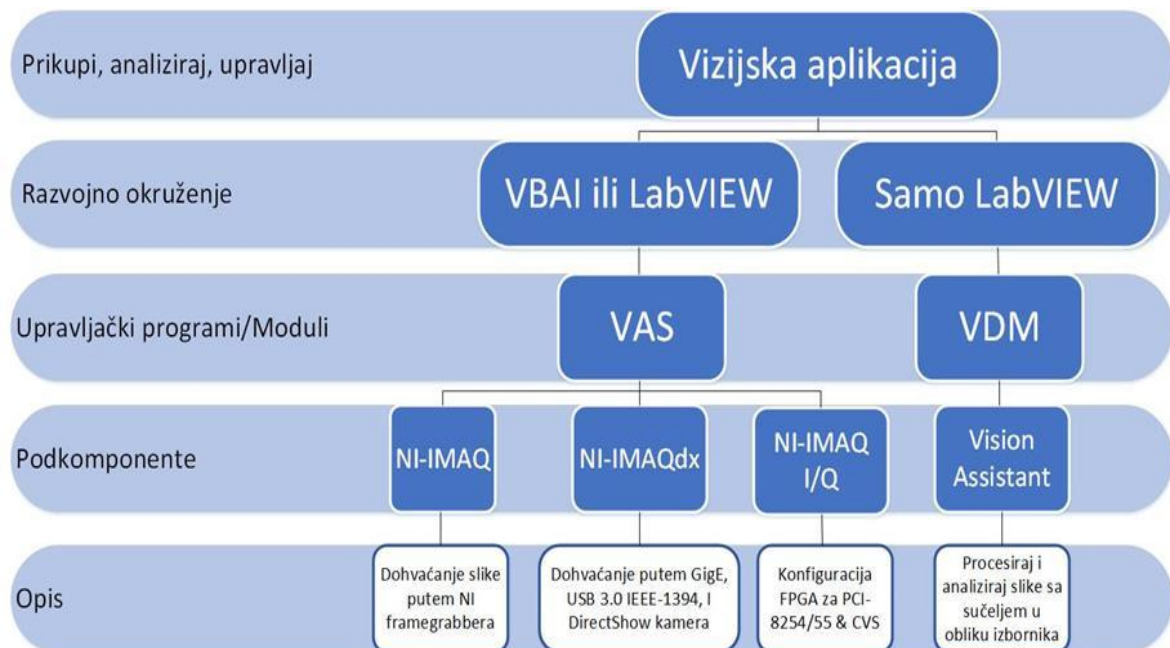
- NI PCIe-8255R
- NI PCI-8254R
- NI PCIe-8237R
- NI PCIe-1473R
- NI PCIe-1473R-LX110
- NI 1483 modul *FlexRIO* adaptacije [3]

Na slici 2.2 označeni su blokovi koji su dostupni na paleti funkcija nakon instalacije VDM te VAS modula.



Slika 2.2: Prikaz blokova vizije [4]

Slika 2.3 prikazuje hijerarhiju vizijske aplikacije, podjelu pojedinog modula i upravljačkog programa te isto tako dodatnih alata koji dolaze u paketu s navedenima modulima.



Slika 2.3: Hijerarhija vizijske aplikacije [5]

### 3. VIZIJSKI SUSTAV

Vizijski sustav čine mnogi elementi od kojih je najvažniji kamera. No vizijski sustav sam po sebi može biti sačinjen od još mnogo elemenata kao što su: osvjetljenje, izolirana okolina, parametri kamere. U narednom poglavlju opisani su elementi koji čine vizijski sustav te važnost i težina tih istih elemenata.

#### 3.1 Web kamera

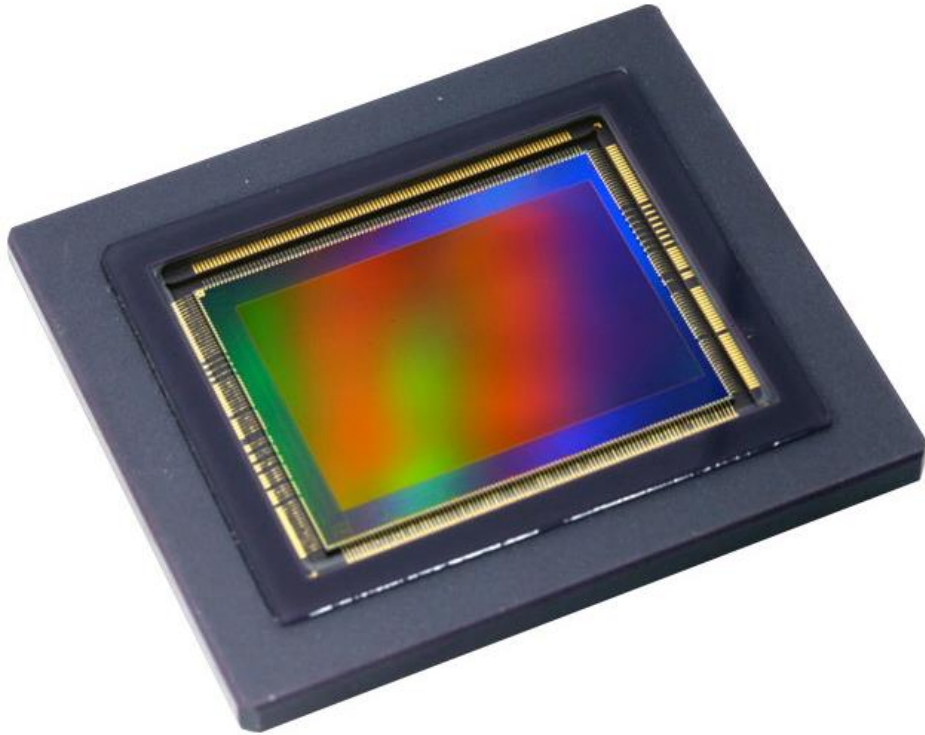
Sastavni dio vizijskog sustava je naravno kamera. Kao glavni senzor koristi se web kamera koja u svakodnevici služi za fotografiranje i video pozive. Kamera koja se koristi marke je *Logitech c525* s kvalitetom fotografije 8 MP, standardne tehnologije leće te auto fokusom. Upravljački program NI-IMAQdx povezuje kameru s LabVIEW programskim alatom.



Slika 3.1: Kamera sustava

Digitalna fotografija koja se dohvati kamerom je zapravo dvodimenzionalni niz podataka čije vrijednosti predstavljaju intenzitet svjetlosti. Digitalna fotografija može

se prikazati jednostavnom funkcijom dviju varijabli  $f(x, y)$ . Gdje je  $f$  intenzitet svjetline u točki s koordinatama  $(x, y)$ , a  $x$  i  $y$  predstavljaju elemente slike koji su raspoređeni kao  $x$  redaka i  $y$  stupaca. Srce kamere je senzor kamere. Senzor kamere je *Solid-state* uređaj koji prikuplja svjetlost potrebnu za formiranje slike. Senzor kamere je zapravo integrirani sustav s hrpom foto detektora i pojačalom signala, a jedan takav primjer CMOS senzora prikazan je na slici 3.2 .



Slika 3.2: CMOS senzor[6]

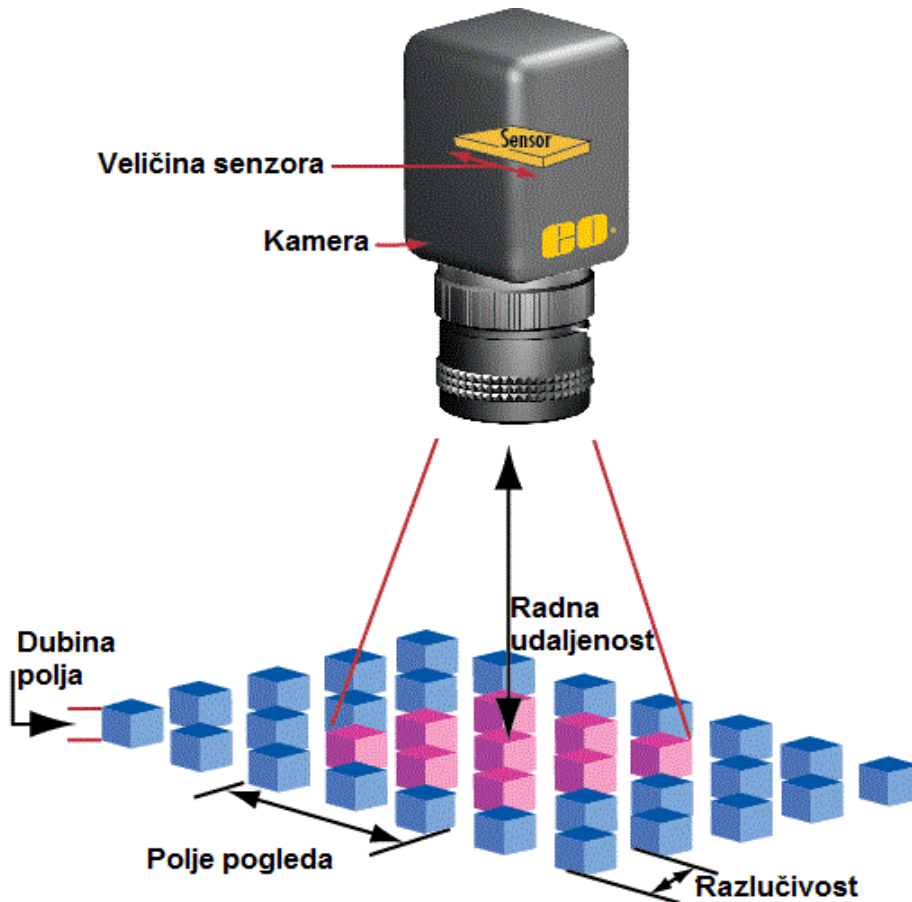
U procesu pretvorbe stvarne slike u digitalnu sliku mjeri se intenzitet svjetla na svakom pikselu te se pretvara u cijeli broj. Prikupljena slika sa senzora je slika sivih tonova. Korištenjem Bayerovog filtera koji se nalazi na senzoru dobiva se slika u boji. Upravo Bayerovim filterom dobiva se RGB (red, green, blue) format slike koji u LabVIEW programskom alatu zauzima memoriju od 32 bita. RGB je standardni format prikaza slike i u ovom slučaju slika se sastoji od tri ravnine koje skupa čine jednu sliku u boji.

### 3.2 Temeljni parametri vizijskog sustava

Sljedeći parametri su najosnovniji parametri vizijskog sustava te će biti detaljnije opisani i prikazani u nastavku.

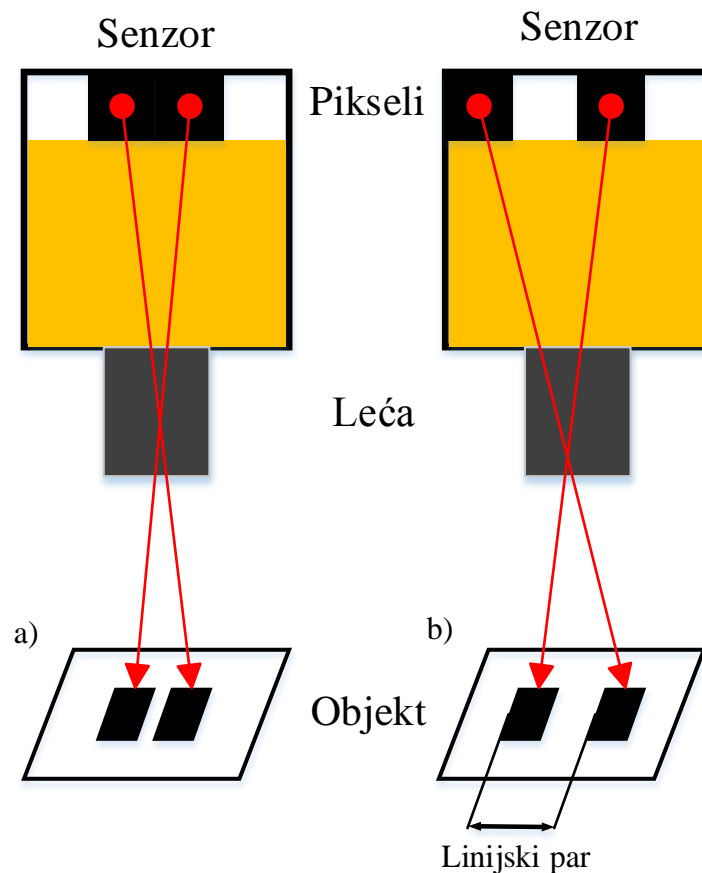
- Polje pogleda (FOV) – vidljivo područje kamere. Ovo je područje koje senzor kamere može prikupiti.
- Radna udaljenost (WD) – udaljenost od predmeta do leće.
- Razlučivost – broj piksela od kojih je sastavljena slika. Njom se definira mogućnost razlikovanja i razaznavanja sitnih detalja na slici. Razlučivošću se također opisuje kakvoća slike.
- Dubina polja (DOF) – DOF leće je mogućnost zadržavanja željene kvalitete slike bez ponovnog fokusiranja ako se predmet inspekcije nalazi bliže ili dalje od najbolje točke fokusa.
- Veličina senzora kamere – veličina aktivnog područja senzora kamere, tipično je specificirana kao horizontalna dimenzija senzora.

Osnovni parametri kamere i vizijskog sustava prikazani su na slici 3.3 .



Slika 3.3: Parametri vizijskog sustava [7]

Parametar koji definira kameru je razlučivost. Razlučivost je mogućnosti vizijskog sustava da reproducira male detalje objekta koji je pred vidnim poljem kamere. Na razlučivost utječu faktori kao što su tip osvjetljenja, veličina piksela senzora kamere te mogućnosti leće. Što su detalji na objektu manji to je potrebna što veća razlučivost. Na slici 3.4 je prikazan primjer granica razlučivosti kamere. Linijski par je jedna linija sačinjena od jedne crne i jedne bijele linije kako je na slici prikazano. Linijski parovi su zapravo crni pravokutnici na bijeloj podlozi koji se nalaze na malom razmaku. Ako je razmak između pravokutnika mali kao na slici 3.4 a) senzor kamere neće prepoznati sliku kao dva različita pravokutnika. Na zadanoj razlučivosti mogućnost razlikovanja linijskog para kao dva pravokutnika ovisiti će o kontrastu odnosno o razlici sivih tonova. Kontrast opisuje koliko kvalitetno se u ovom slučaju crni pravokutnik razlikuje od bijelog za zadanu razlučivost. Što je veća razlika u intenzitetu između bijelog i crnog pravokutnika to je kontrast bolji.



Slika 3.4: Granice razlučivosti kamere [8]

Točnost mjerenja vizijskog sustava biti će izražena najmanjom značajkom koju sustav može jasno prikazati. Tablica 3.1 prikazuje jedne od temeljnih parametara vizijskog sustava i njihove mjerne jedinice.



Tablica 3.1: Parametri vizijskog sustava

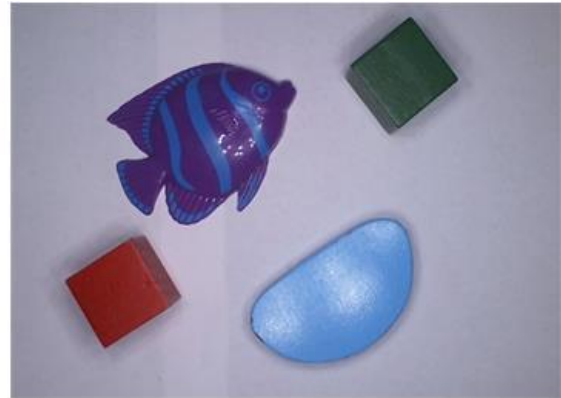
Naziv	Oznaka	Mjerna jedinica
Rezolucija kamere	Rc	Piksel
Prostorna rezolucija	Rs	mm/piksel
Polje pogleda	FOV	mm
Veličina najmanje značajke	Sf	mm
Broj piksela najmanje značajke	Nf	piksel
Radna udaljenost	Wd	mm

### 3.3 Osvjetljenje vizijskog sustava

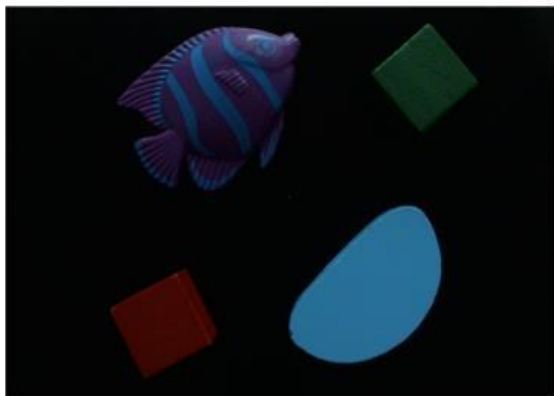
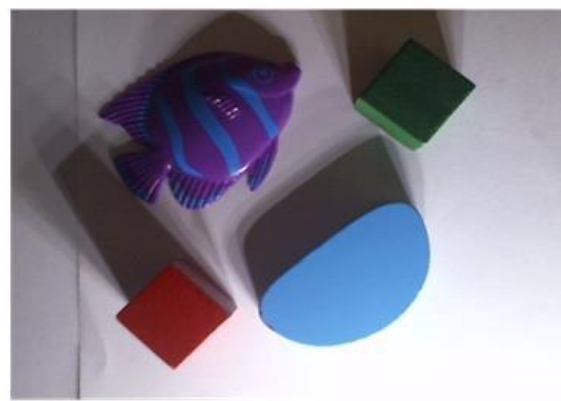
Koliko je važno osvjetljenje vizijskog sustava? Kako bi se poboljšala kvaliteta vizijskog sustava nije uvijek potrebno uložiti u kameru bolje razlučivosti ili kameru s boljom lećom. Kvalitetno i točno postavljeno osvjetljenje je od iznimne važnosti za sustav, a nepravilno osvjetljenje može prouzročiti mnoge probleme pri inspekciji i obradi slike. Odabir osvjetljenja vizijskog sustava nije strogo propisan nego je spoj teorijskog znanja i empirijskih zaključaka. Značajke na slici moraju biti prikazane što jasnije. Svako poboljšanje rasvjete će povećati performanse vizijskog sustava te izraziti pouzdanost sustava. Osvjetljenje se mora prilagoditi objektu inspekcije. Treba voditi računa od kojeg materijala je objekt sačinjen i kakve je teksture. Predmet sačinjen od plastike i predmet sačinjen od drveta drugačije će reflektirati svjetlost te se koristi drugačiji tip osvjetljenja za te predmete. Slika 3.5 prikazuje utjecaj dva tipa osvjetljenja i kontrast predmeta i pozadine. U lijevom stupcu slika predmeti su postavljeni na crnu no reflektivnu površinu, a u desnom stupcu predmeti su postavljeni na bijelu manje reflektivnu površinu. Prstenasto osvjetljenje spada u direktno osvjetljenje te se zrake svjetlosti nalaze na istoj osi kao i leća kamere. Ovim osvjetljenjem mogu se ukloniti sjene koje uvode smetnje na slici ali se i prilikom osvjetljenja reflektivne pozadine može pojaviti odsjaj koji dodatno pogoršava čitanje informacija sa slike. Utjecaj ovog osvjetljenja na dvije različite pozadine može se vidjeti na slici 3.5 a). Bočno osvjetljenje koristi se kada se želi izraziti topografija predmeta. Ovakvo osvjetljenje koristi se kod identifikacije mana i nedostataka kod predmeta. Mana ovog osvjetljenja su sjene koje se javljaju baš zbog kuta pod kojim se obasjavaju predmeti. Slika 3.5 b) na crnoj pozadini prikazuje jasno ocrtanu konturu eliptičnog predmeta dok slika na bijeloj pozadini prikazuje manju ovog osvjetljenja, a to su sjene. Slika 3.5 c) prikazuje predmete bez osvjetljenja. Slika predmeta na crnoj i bijeloj pozadini daje jasnu predodžbu važnosti kontrasta u vizijskom sustavu. Zbog činjenice da će se vizijski sustavi koristiti za inspekciju raznih tipova predmeta koji će se razlikovati po obliku, materijalu, boji, teksturi postoje razni tipovi osvjetljenja koji su prilagođeni pojedinim predmetima i daljoj analizi slike.



a)



b)

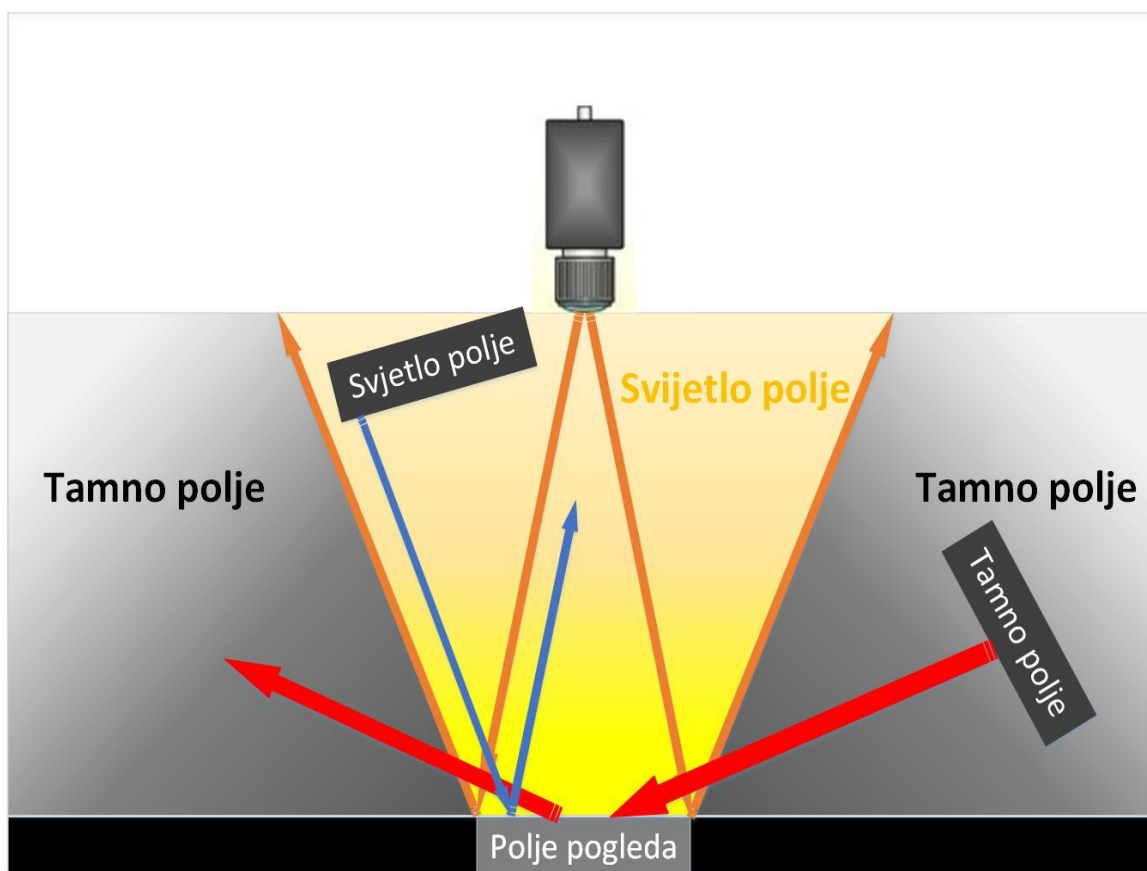


c)



Slika 3.5: Utjecaj osvjetljenja i kontrasta a) Prstenasto osvjetljenje b) Bočno osvjetljenje c) Bez osvjetljenja

Tipovi osvjetljenja mogu se podijeliti na dva tipa osvjetljenja. Osvjetljenje tamnog polja te osvjetljenje svijetlog polja. Osvjetljenje svijetlog polja naziva se tako jer se nalazi u području u kojem osvjetljuje predmet na način da se raspršene zrake svjetla odbijaju u leću. Zbog prikupljanja viška zraka svjetlosti dolazi do odsjaja i gubljenja željenih informacija sa slike. No unatoč manji odsjaja ovim tipom osvjetljenja se postiže dobar kontrast predmeta i pozadine. Osvjetljenje tamnog polja nalazi se u području u kojem je prikupljanje raspršenih zraka svjetlosti znatno manje. Slika 3.6 dodatno objašnjava razliku između ova dva osvjetljenja.

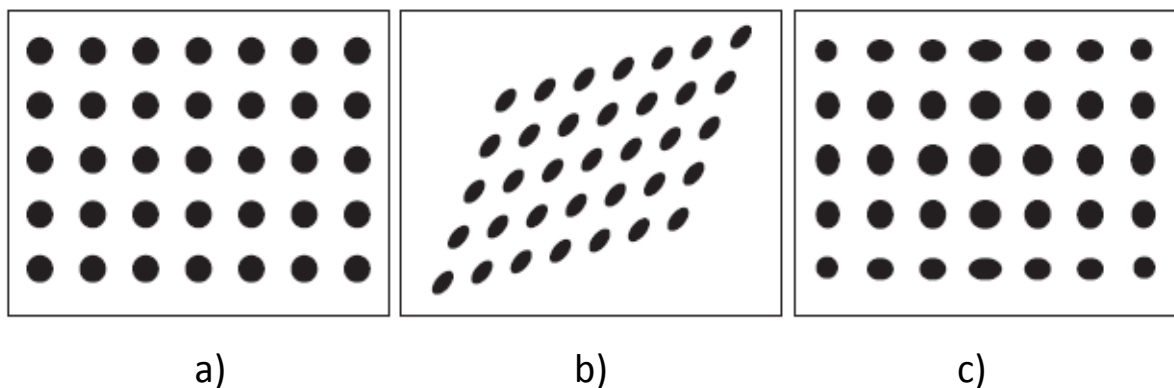


Slika 3.6: W polje osvjetljenja [9]

Na slici 3.6 je zamišljeno slovo W koje ograničava dva polja osvjetljenja. Zrake koje čine polje pogleda kamere zrcalno su preslikane prema van. Kako ljudsko oko vidi boje u rasponu između približno 400 nm do 700 nm valne duljine tako i osvjetljenje predmeta različitim spektrom svjetlosti može kako poboljšati tako i sniziti kvalitetu vizijskog sustava. Vizijski sustavi su kompleksni sustavi za koje je potrebno uskladiti dovoljno praktičnog znanja s teorijom optike i računalne obrade slike. Ključni faktori kvalitetnog osvjetljenja su smjer osvjetljenja, spektar svjetlosti, tip osvjetljenja.

## 4. KALIBRACIJA KAMERE

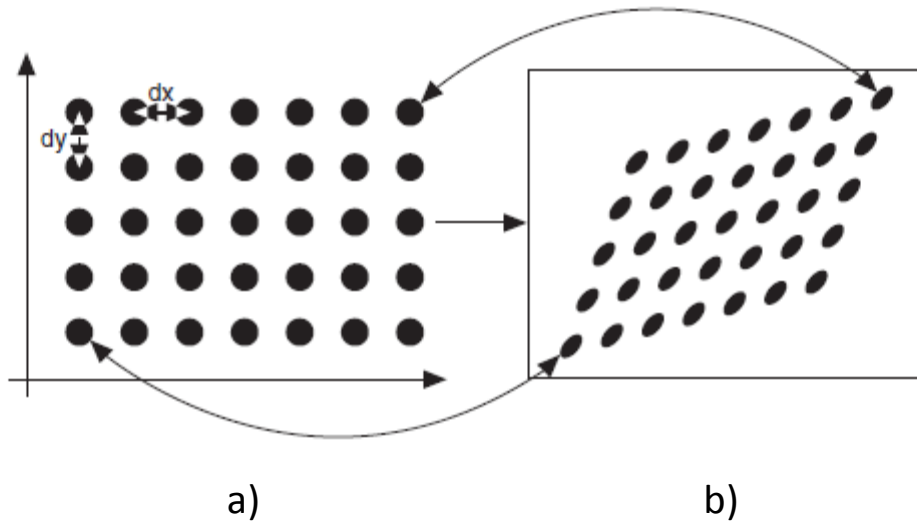
Prije početka akvizicije i obrade slike potrebno je sustav pravilno podesiti odnosno kalibrirati. Zbog nesavršenosti proizvodnog procesa leće javljaju se distorzijske greške koje je potrebno ispraviti kalibracijom. Kalibracijom se pokušavaju popraviti perspektivne greške i distorzija leće. Perspektivne greške javljaju se zbog lošeg položaja kamere u odnosu na predmet koji se promatra. Ako je moguće, greške loše percepcije mogu se izbjeći postavljanjem osi kamere okomito na promatrani predmet. Nekada nije moguće postaviti os kamere okomito na promatrani predmet pa se stoga vrši kalibracija kako bi se kompenzirale nastale greške. Slika 4.1 b) prikazuje perspektivnu grešku kamere uzrokovanu postavljenjem kamere pod kutom u odnosu na promatranu ravninu.



Slika 4.1: Perspektivne i distorzijske greške [10]

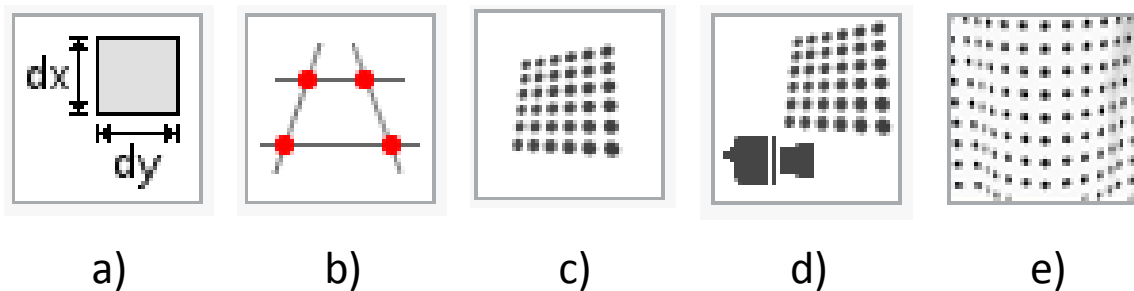
Slika 4.1 a) predstavlja polje točkova bez grešaka, a slika 4.1 c) pokazuje grešku distorzije. Nelinearna distorzija je geometrijsko odstupanje prouzročeno optičkim greškama u samoj leći. Kod tipične kamere javlja se radijalna distorzija. Radijalna distorzija prikazuje točke na rubu polja pogleda udaljenijima nego što one zapravo jesu u stvarnom svijetu. Radijalna distorzija je upravo prikazana na slici 4.1 c). Iako je distorzija prisutna informacije sa slike nisu nužno izgubljene. Kada su potrebna točna mjerenja u jedinicama kao što su milimetri ili centimetri i kada želimo ispraviti grešku distorzije koristi se prostorna kalibracija. Slika sadrži informacije u formi piksela. Prostorna kalibracija dopušta konverziju piksela u mjeru stvarnog svijeta kao na primjer mjeru milimetra. Kako bi kalibracija bila uspješna potrebno je definirati poznati set točkova kako bi se uspostavila poveznica između točkova na slici i točkova u stvarnom svijetu. Kalibracijski alati koriste poznate  $dx$  i  $dy$  udaljenosti stvarnog svijeta među točkama kako bi izračunali točnu

konverziju između piksela i mjere milimetara u stvarnosti. Slika 4.2 a) pokazuje sliku polja točaka u stvarnom svijetu i sliku 4.2 b) koja je nastala zbog grešaka percepcije.



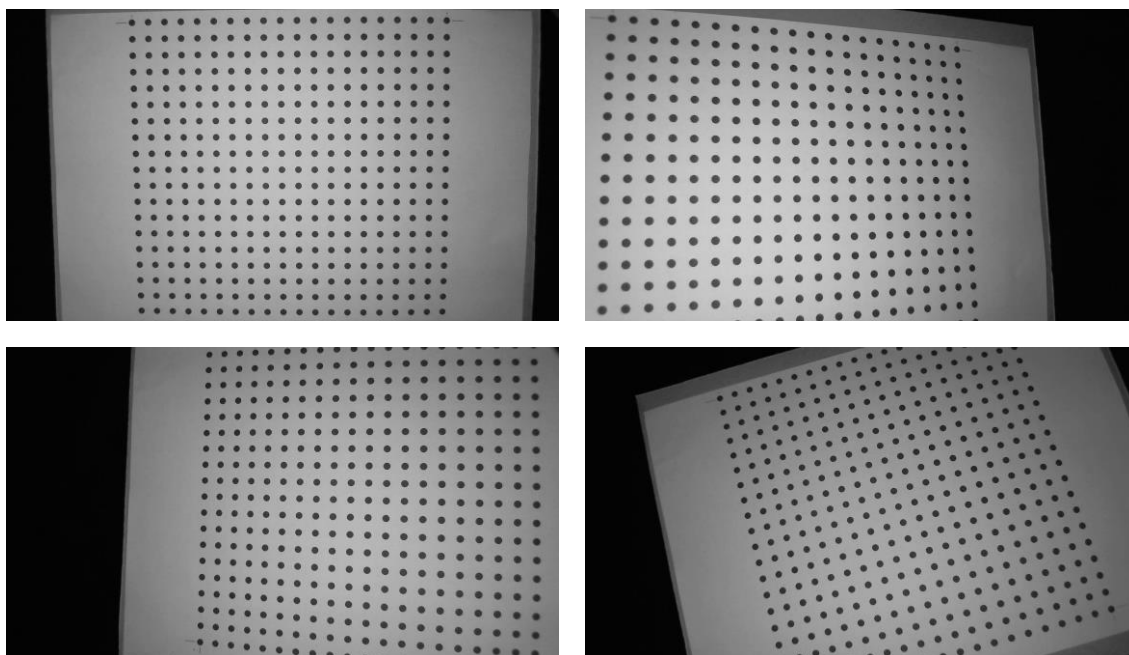
Slika 4.2: Proces kalibracije [10]

LabVIEW nudi dodatno sučelje koje služi za kalibraciju kamere, a naziva se *Vision calibration training*. Unutar ovog sučelja potrebno je odabrati željeni tip kalibracije i odabrati slike prikupljene kalibracijske mreže. Tijekom kalibracije koristila se točkasta mreža s 20 x 20 točaka koje su međusobno udaljene 10 mm te im je promjer 4 mm. Proces kalibracije odvija se prikupljanjem slika kalibracijske mreže. Pri tome procesu mora se prikupiti što više slika kalibracijske mreže s raznim orijentacijama i pozicijama mreže. Zbog toga razloga kalibracijska mreža je isprintana i zalijepljena na karton kako bi se lakše njome manipuliralo. LabVIEW pruža nekoliko modela kalibracije a to su: Kalibracija točke i udaljenosti, kalibracija koordinata nekoliko točaka, model distorzije, model kamere te kalibracija zakrivljenih objekata. Slika 4.3 prikazuje tipove kalibracije.



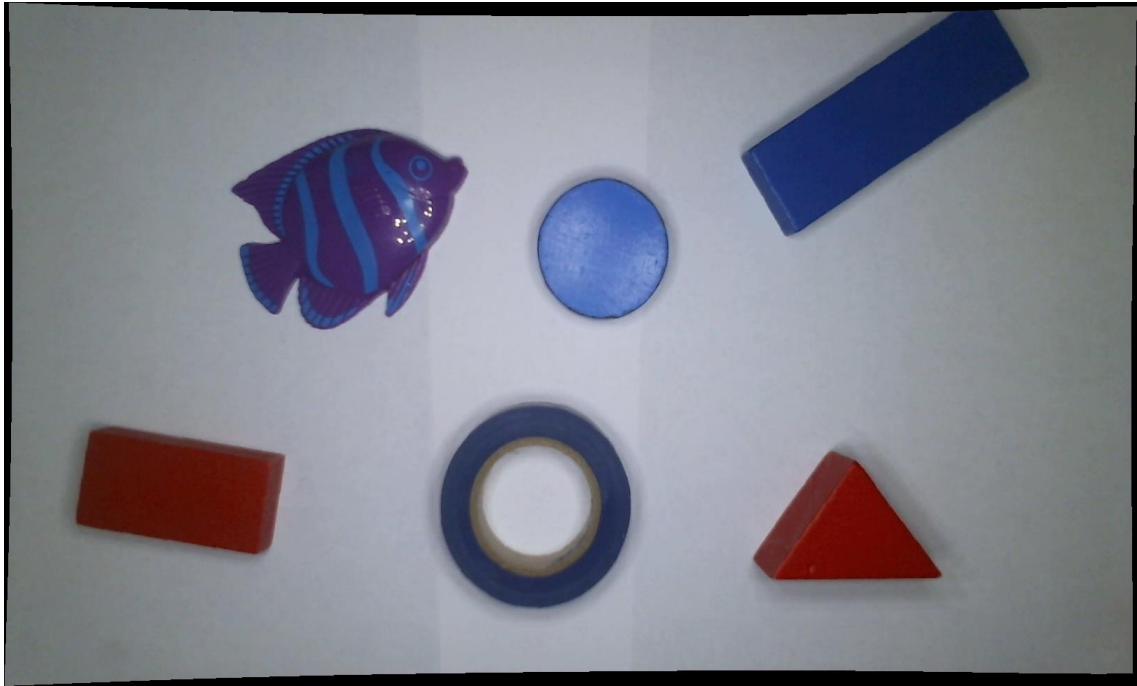
Slika 4.3: Tipovi kalibracije

Model koji će se koristiti prilikom kalibracije sustava je model kamere. Model kamere izračunava osnovne parametre kamere te rješava grešku distorzije i perspektivne greške. Koristi se u aplikacijama pozicioniranja robotskih manipulatora gdje je potrebno odrediti poziciju kamere u odnosu na radno područje manipulatora. Kalibracija kamere odvija se u sedam koraka. Prvi korak je odabir željenog tipa kalibracije. Drugi korak je odabir slika kalibracijske mreže. Kalibracijska mreža mora se slikati u više pozicija i orijentacija kako bi proces kalibracije bio točniji. Na slici 4.4 prikazano je nekoliko slika kalibracijske mreže.



Slika 4.4: Orijentacije kalibracijske mreže

Treći korak je segmentacija slike kalibracijske mreže kako bi se crne točke mogle prikazati jednostavnije i točnije. Bitna napomena je da slika mora biti slika sivih tonova odnosno 8 bitna slika s vrijednostima piksela od 0 do 255 kako bi se metodom praga slika segmentirala. Četvrti korak kalibracije je pridodavanje broja piksela stvarnim duljinama odnosno pridodavanje broja piksela udaljenosti od 10 mm između točaka u stvarnom svijetu. Peti i šesti korak su izračun distorzije i unutarnjih parametara kamere te pridodavanje koordinatnog sustava. Po završetku kalibracije spremaju se informacije kalibracije kao slika PNG formata koja se kasnije može učitati prilikom akvizicije slike. Tako se ispravljaju greške kamere i alociraju pikseli stvarnim duljinama. Slika 4.5 prikazuju ispravak distorzije leće kamere.



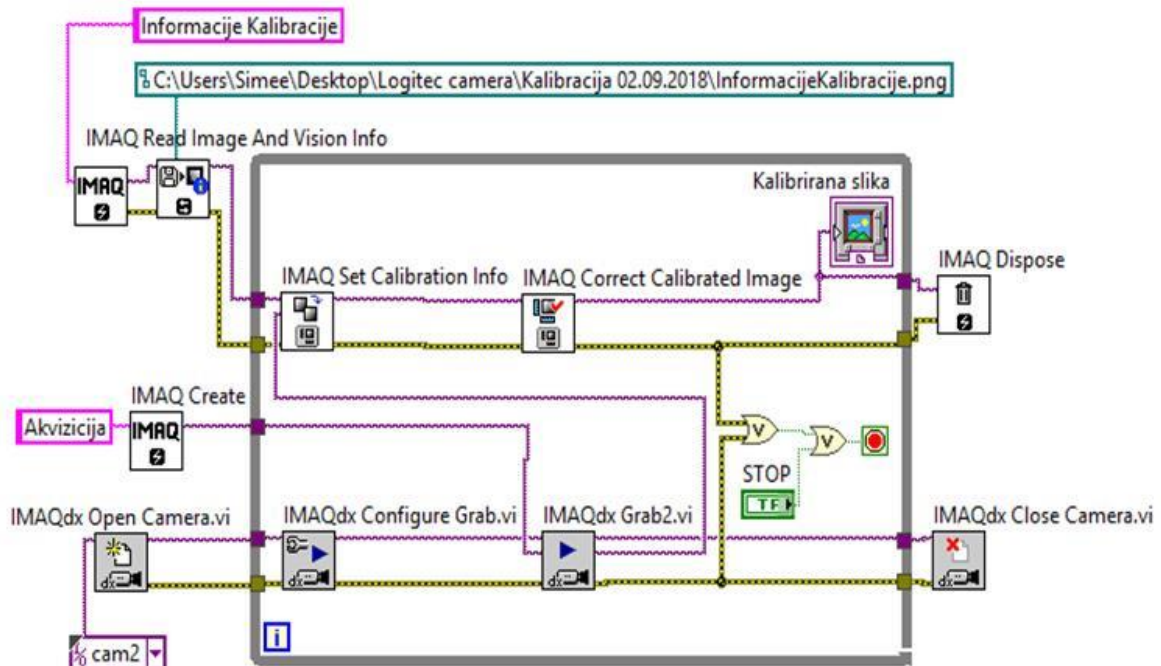
Slika 4.5: Ispravak distorzije

Ako bi se promijenili parametri sustava informacije kalibracije nisu valjane te se kalibracija mora ponoviti za nove parametre sustava.



## 5. AKVIZICIJA SLIKE

Nakon što je sustav uspostavljen odnosno kada je kamera priključena na računalo i kada su uvjeti osvjetljenja prihvatljivi može se krenuti na prikupljanje slike. Pošto se želi osigurati obrada slike u stvarnom vremenu koristi će se *While* petlja s pripadajućim blokovima za inicijalizaciju kamere, konfiguraciju akvizicije slike i bloka za kopiranje zadnje slike s *buffera*. Slika 5.1 prikazuje kod koji kontinuirano prihvaća sliku i učitava kalibriranu sliku sustava.



Slika 5.1: Kod akvizicije

`IMAQdx Open Camera` otvara odabranu kameru i stvara poveznicu s kamerom. Blok se nalazi izvan *While* petlje jer je poveznicu s kamerom potrebno konfigurirati samo jednom. Nakon što je kamera otvorena `IMAQdx Configure Grab` konfigurira i započinje kontinuiranu akviziciju slike koja se neprestano vrti na *bufferu*. `IMAQdx Grab` blok kopira najnoviju sliku s *buffera*. Slika koja se prikupi ovim blokom reprezentira se RGB sustavom boje. Gornji red blokova odnosi se na korigiranje prikupljene slike. Informacije kalibracije koje su zadane datotekom iz prethodnog poglavlja otvaraju se u obliku PNG datoteke zvane `InformacijeKalibracije.png`. Datoteka se učitava u blok `IMAQ Set Calibration Info` zajedno s trenutnom slikom kamere. Blok postavlja informacije kalibracije te se izlazne informacije tog bloka spajaju na blok `IMAQ Correct Calibrated Image` koji korigira trenutnu sliku prema modelu kalibracije odabranom u prethodnom poglavlju. Nakon završetka akvizicije poveznica s kamerom se prekida blokom `IMAQdx Close Camera` te se blokom `IMAQ Dispose` brišu slike i oslobađa memorija koja je zauzeta blokom `IMAQ Create`.

## 6. OBRADA SLIKE

Digitalna obrada slike je disciplina u kojoj je ulaz i izlaz nekog procesa slika. Obrada slike može se definirati kao proces koji iz slike izvlači neku informaciju u svrhu razumijevanja slike. Slika se na računalu obrađuje iz više razloga. Prvi razlog je poboljšanje vizualne kvalitete prikaza slike samom čovjeku. Drugi je priprema slike za analizu, mjerenje i izvlačenje informacija iz slike za daljnju inspekciju. Procesi obrade slike će se razlikovati na osnovu algoritama koji se koriste prilikom obrade. Osnovne operacije koje se koriste za obradu slike su:

- Operacije nad histogramima
- Prostorno filtriranje
- Frekvencijsko filtriranje
- Morfološke operacije

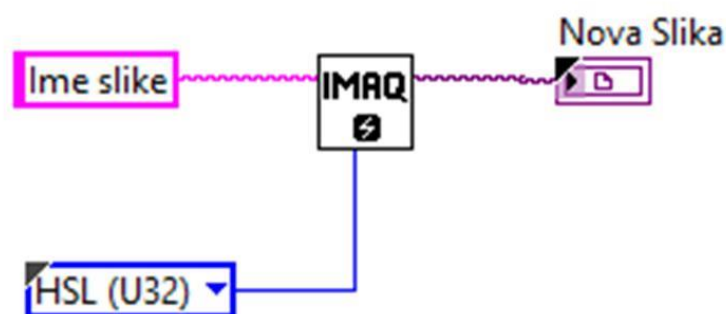
U ovom radu koristile su se operacije prostornog filtriranja i morfološke operacije. U sljedećim poglavljima prikazani su sustavi reprezentacije boje od kojih su prilikom obrade slike najkorišteniji RGB i HSL sustavi. U narednim potpoglavljima praktično je prikazano prostorno filtriranje i morfološke operacije koje služe za poboljšanje slike.

## 6.1 Sustavi reprezentacije boje

Svjetlost se u čovjekovu oku fokusira na mrežnicu oka u kojoj se nalaze dvije vrste stanica tako zvani štapići i čunjići. Čunjići su stanice odgovorne za čovjekovu reprezentaciju boje. Postoje tri vrste čunjića, a to su osjetljivi na crvenu, zelenu i plavu svjetlost. Sustav reprezentacije boje koji najlakše opisuje čovjekov vid je RGB sustav (*Red-Green-Blue*) baš zbog toga što koristi kombinaciju tri parametra za opis boje kao i čunjići u čovjekovom oku. No čovjekov se vid može bolje opisati HSL (*Hue-Saturation-Luminance*) sustavom jer parametri kao što su nijansa boje, zasićenje boje i intenzitet svjetlosti vjerodostojnije opisuju čovjekov vid. Ovisno o namjeni i industriji u kojoj se boja prikazuje postoji nekoliko sustava reprezentacije boje, a to su:

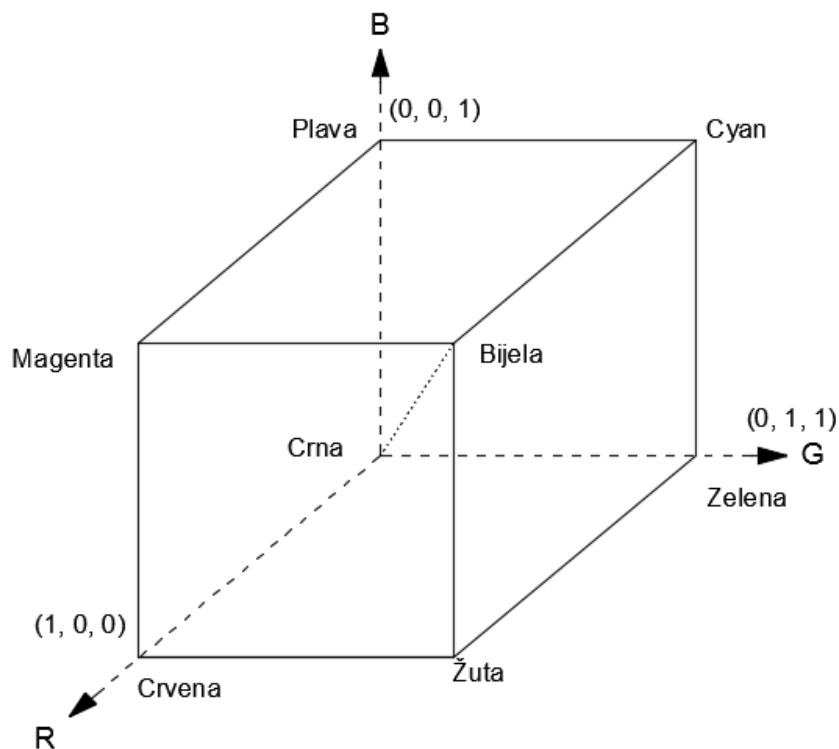
- RGB sustav baziran na crvenoj, zelenoj i plavoj. Koriste ga ponajviše računala za prikaz slike.
- HSL sustav baziran na nijansi, zasićenju i intenzitetu svjetlosti koristi se u aplikacijama obrade slike.
- CIE sustav kojeg je definirala svjetska organizacija CIE (*International Commission on Illumination*) kao različiti osjećaj boje koju mozak percipira.
- CMY sustav korišten u tiskarskoj industriji, a koristi cijan, magenta i žutu boju.
- YIQ sustav odvaja informacije intenziteta svjetlosti od informacije boje. Korišten za TV emitiranje. [10]

Pri svakoj obradi slike potrebno je definirati sustav reprezentacije slike. NI *Vision* podržava RGB i HSL sustav slike i specificiraju se svaki put kada se slika kreira blokom *IMAQ Create*. Ovaj blok priprema memorijsku lokaciju koju će slika zauzeti.



Slika 6.1: IMAQ *Create*

Ako se očekuje da se uvjeti osvjetljenja znatno mijenjaju tijekom prikupljanja slike bolje je koristiti HSL sustav. HSL sustav daje točnije informacije naspram RGB sustava prilikom korištenja funkcija za procesiranje slike kao što su podudaranja uzorka boja, uspoređivanja boja i lociranja boje. U RGB sustavu tri glavne komponente boja mogu se kombinirati kako bi se reproducirale gotovo sve ostale moguće boje. RGB sustav može se vizualizirati kao trodimenzionalna kocka s crvenom, zelenom i plavom na osima koordinatnog sustava kao što je prikazano na slici 6.2. Crna je u ishodištu sustava dok je bijela u nasuprotnom kutu kocke. Svaki brid kocke ima vrijednost od nula do jedan. Kako se vrijednost boje udaljuje od ishodišta tako se povećava i zasićenje te komponente. Svaka boja je u ovom sustavu definirana s tri točke (R, G, B) ili tri komponente boje.

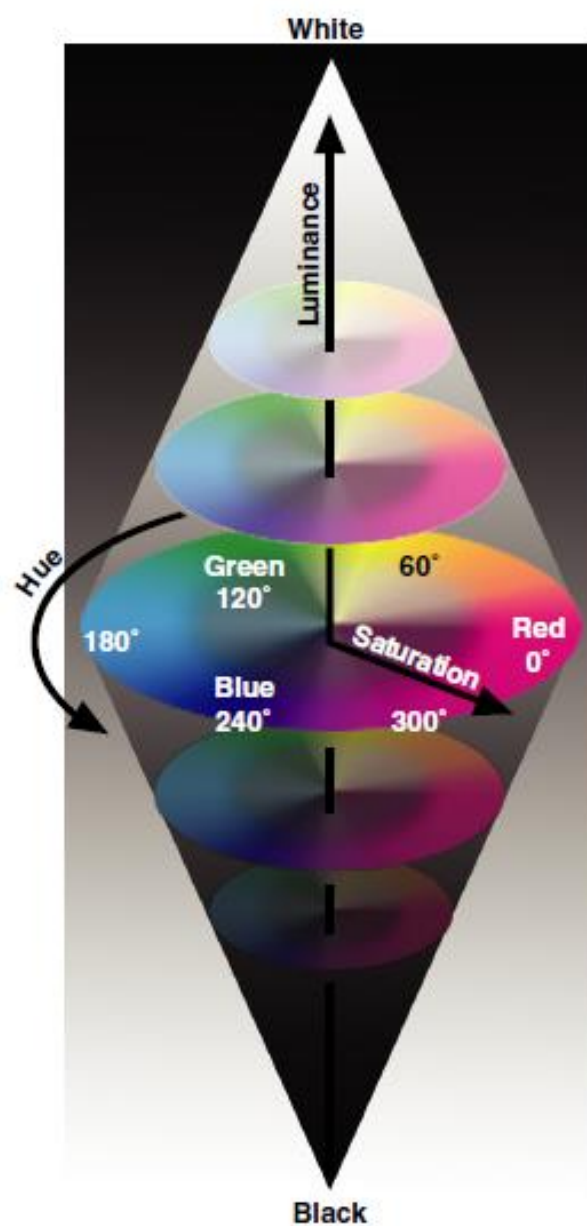


Slika 6.2: RGB sustav [10]

HSL sustav boje razvijen je kako bi čovjek lakše pojmi boju. Nijansa, zasićenje i intenzitet svjetlosti su karakteristike kojima se razlikuju boje u HSL sustavu. Nijansa odgovara dominantnoj valnoj duljini svjetlosti boje. Nijansa je zapravo razlika između boja. Raspon nijanse se može predočiti kao dugine boje. Zasićenje se odnosi na količinu bijele dodane nijansi i predstavlja relativnu čistoću boje. Boja koja nema ni malo dodane bijele je potpuno zasićena. Boje kao što su roza, boja lavande slabije su zasićene za

razliku od crvene i ljubičaste. Kromatičnost je kombinacija nijanse i zasićenja, a veza između kromatičnosti i intenziteta svjetla karakterizira boju. HSL sustav boje je cilindričan i može se prikazati slikom 6.3. Vrijednosti nijanse kreću se od nula do 360°, zasićenje se kreće u rasponu od nula do jedan, gdje jedinica predstavlja najčišću boju. Intenzitet svjetlosti također pokriva raspon od nule do jedinice gdje je nula crna a jedan bijela boja.

Ukratko rečeno veza između kromatičnosti i ljudske predodžbe boje čine HSL sustav pogodnim za razvijanje vizijskih aplikacija.



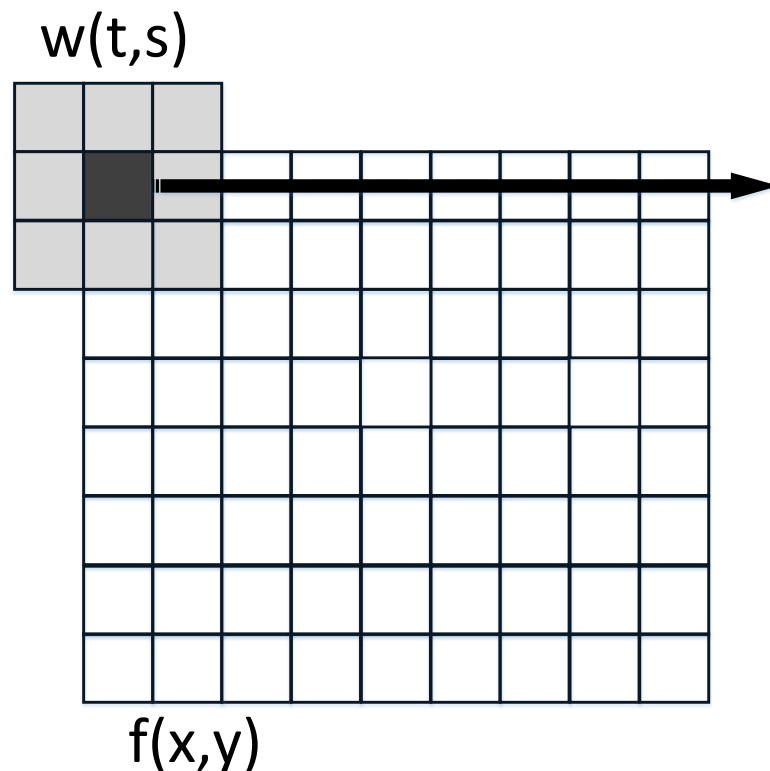
Slika 6.3: HSL sustav boje[10]

## 6.2 Prostorno filtriranje

Prostorno filtriranje je operacija kod koje izlazna vrijednost piksela ovisi o ulaznim vrijednostima susjedstva piksela pod obradom. Osnovna ideja prostornog filtriranja je provlačenje prozora ili maske određenih dimenzija ulaznom slikom. Prostorno filtriranje dijeli se na linearno i ne linearno filtriranje. Linearno filtriranje ili konvolucija izvodi se direktno na susjednim pikselima odabrane točke  $(x, y)$  i koeficijentima prozora. Konvolucijsko filtriranje slike  $f$  veličine  $M \times N$  s prozorom filtra  $m \times n$  može se prikazati izrazom s 6.1.

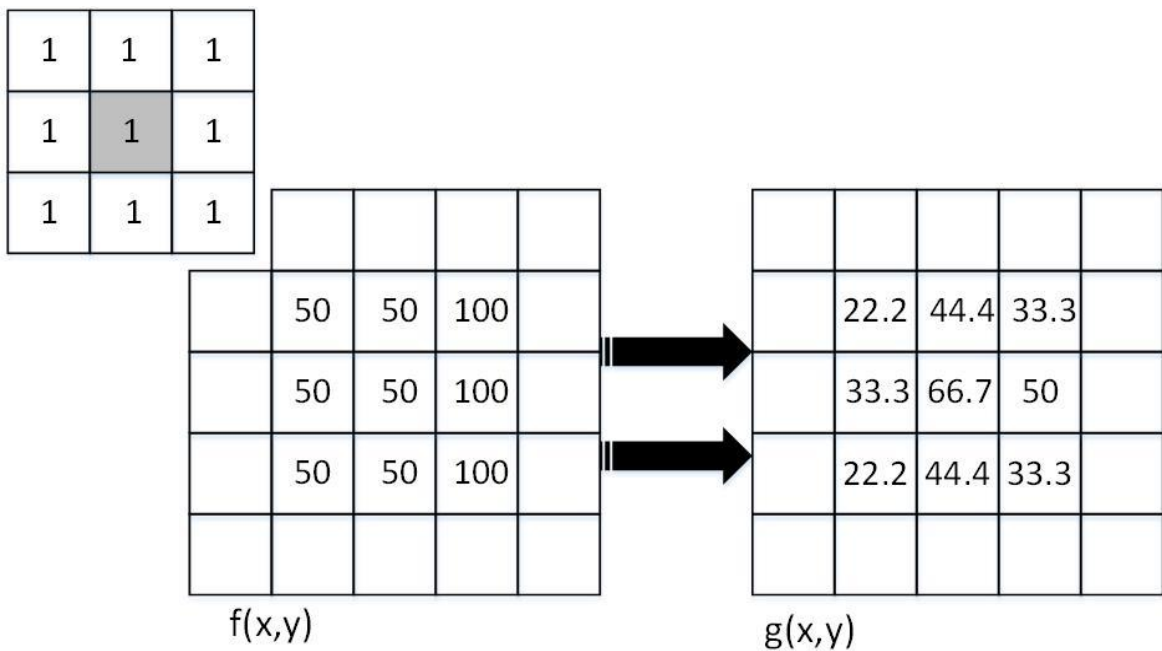
$$g(x,y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s,t)f(x+s,y+t) \quad (6.1)[11]$$

Kako bi se filtrirala cijela slika jednadžba mora proći kroz sve elemente slike odnosno piksele. U navedenoj jednadžbi  $g(x, y)$  je izlazna slika,  $f(x, y)$  ulazna,  $w(s, t)$  je prozor dok su  $a$  i  $b$  brojevi iz skupa prirodnih brojeva. Slika 6.4 prikazuje  $3 \times 3$  prozor koji putuje po slici  $f(x, y)$ . Prozor je osjenčan, a piksel koji se trenutno filtrira zatamnjen je. Iz slike se može zaključiti da će piksel nad kojim se vrši konvolucija  $3 \times 3$  prozorom imati osam susjednih piksela. Ovo ne vrijedi samo za piksele koji se nalaze na rubu slike.



Slika 6.4: Prikaz prozora filtra u radu

Slika 6.5 predstavlja princip rada prostornog filtriranja.



Slika 6.5: Princip rada prostornog filtera

Zamislamo da se prostorno filtrira slika 3x3 prozorom 3x3. Vrijednosti koeficijena prozora neka budu jednake jedinici. Prozor će središnjim koeficijentom proći kroz svaku vrijednost slike  $f(x, y)$ . Kada prozor bude iznad vrijednosti piksela, vrijednosti susjednih piksela uključujući i središnji piksel pomnožiti će se vrijednostima prozora, a zatim će se suma umnožaka podijeliti ukupnim bojem koeficijena prozora što je u ovom slučaju devet. Vrijednost koja se dobije ovim postupkom upisuje se kao nova vrijednost elementa izlazne slike. Kada se prozor nalazi na rubovima slike koeficijenti prozora množe se nulom jer se ne nalaze iznad vrijednosti piksela. Nelinearno filtriranje također se zasniva na operaciji nad susjednim pikselima jedina razlika je to što se kod nelinearnih filtera ne sumiraju umnošci koeficijenta slike i koeficijena prozora nego se koriste nelinearne operacije nad susjedstvom. Tablica 6.1 sadrži vrste filtera i njihovu namjenu.

Tablica 6.1: Vrste prostornih filtera

Tip	Filter	Namjena
<b>Linearni</b>		
Visoko propusni	Gradient, Laplace	Izoštavanje, naglašavanje rubova
Nisko propusni	Smoothing, Gausov	Zaglađivanje, uklanjanje šumova
<b>Nelinearni</b>		
Visoko propusni	Gradient, Roberts, Sobel, Prewitt, Diferencijalni, Sigma	Izoštavanje, naglašavanje rubova
Nisko propusni	Medijan, filter n-tog reda	Zaglađivanje, uklanjanje šumova

VDM modul sadrži već zadane filtere kao što su *Canny Edge detection* filter koji je specijaliziran za detekciju rubova čak i pod utjecajem šuma i smetnji. Zatim unutar bloka *Edge detection* nalazi se nekoliko filtera za izvlačenje kontura ovisno o njihovom temeljnom prozoru a to su: Diferencijal, Gradient, Prewitt, Roberts, Sigma i Sobel. Osim zadanih filtera korisnik može kreirati vlastite linearne filtere što omogućuje blok *IMAQ Convolute*. *IMAQ Convolute* tako nudi mogućnost obrade slike prilagođenim filterima kreiranim po potrebi korisnika. U nastavku će biti prikazane slike filtrirane nisko propusnim Smoothing filterom. Linearni filtri kreiraju se blokom *IMAQ Convolute*. Veličina prozora nema teoretsku granicu te prozor može biti kvadratni i pravokutni. Neke od osnovnih veličina prozora filtera su 3x3, 5x5, 5x7, 9x3, 127x127 i tako dalje. Vrijednosti koeficijenata prozora definiraju kako će se slika filtrirati. Ako prozor sadrži negativne i pozitivne koeficijente filter će biti visoko propusni odnosno filter će naglašavati rubove i izoštravati sliku. Ako prozor sadrži sve pozitivne koeficijente slika će se izgladiti i eliminirati šumove. Slika 6.6 prikazuje djelovanje *Smoothing* filtera s dvije dimenzije prozora filtera.

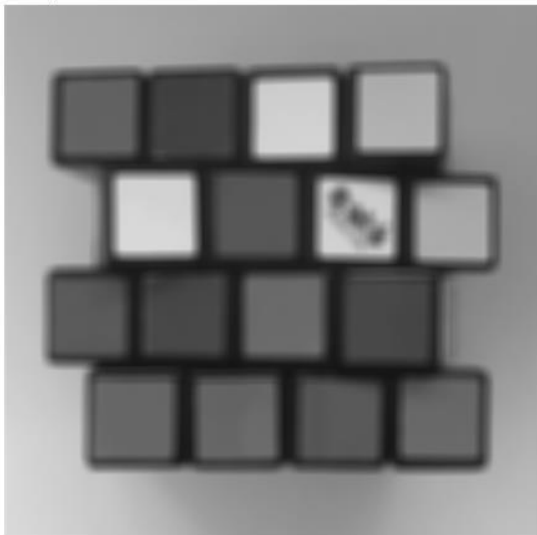




a)

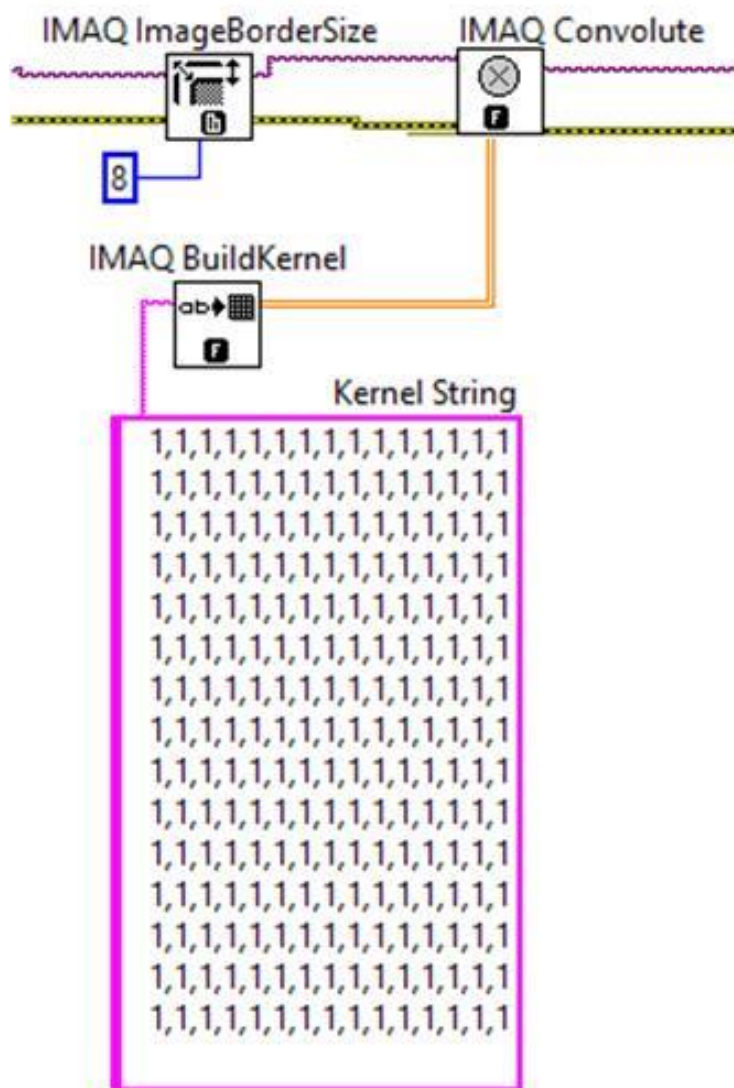


b)



c)

Slika 6.6: Nisko propusni filter a) Original slika b) Smoothing 7x7 c) Smoothing 15x15

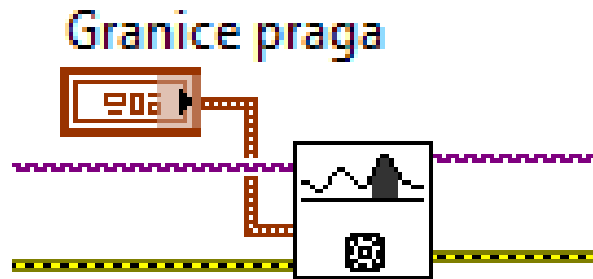


Slika 6.7: Kreiranje filtera

Slika 6.7 prikazuje kako se stvara prostorni filter 15x15. Prilikom kreiranja prozora filtera većeg od 7x7 potrebno je povećati granicu slike s blokom IMAQ *Image border size*. Donji blok je IMAQ *Build kernel* koji na ulaz prima string elemenata prozora i prosljeđuje ih kao 2D niz u blok IMAQ *Convolute*. Izlaz bloka IMAQ *Convolute* je filtrirana slika. Slika je filtrirana iz razloga kako bi se granice predmeta zagladile. Zaglađena slika će omogućiti lakšu segmentaciju predmeta i pozadine.

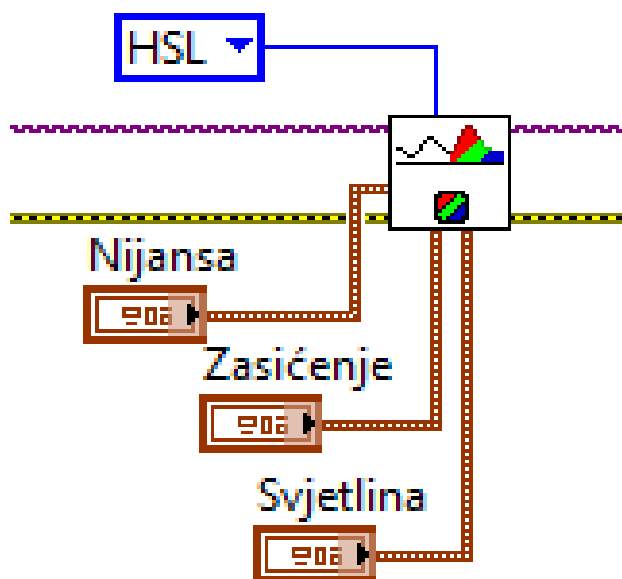
### 6.3 Metoda praga

Metoda praga je segmentiranje slike na dva područja, područje čestica i područje pozadine [10]. To se radi na način da se određeni raspon vrijednosti piksela sive slike postave u vrijednost jedinice, a ostatak piksela postavi se u nulu. Raspon kojim se postavljaju vrijednosti piksela naziva se granica *praga*.

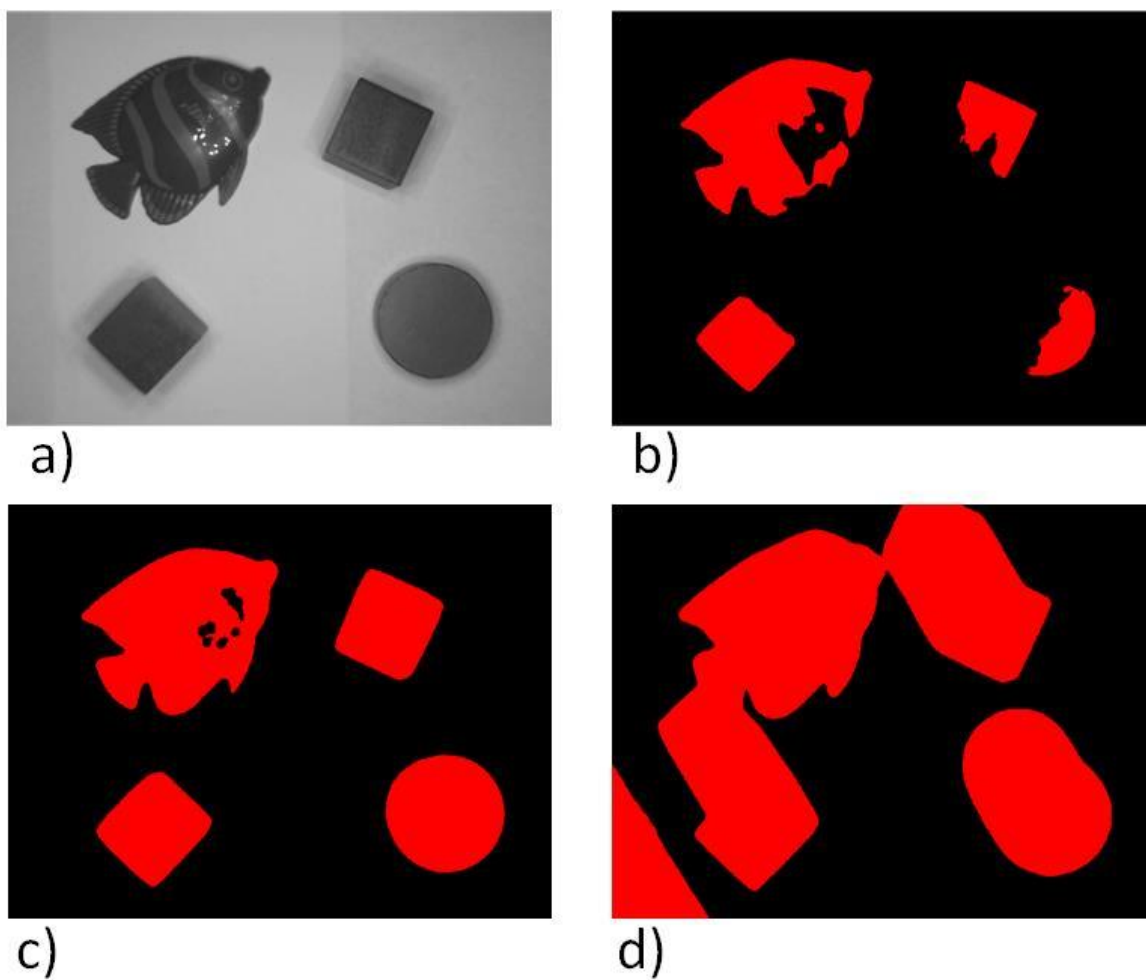


Slika 6.8: Blok metode praga

Blok metode praga na ulazu prima sliku sivih tonova. Slika sivih tonova je 8 bitna slika čije vrijednosti piksela sežu od 0 do 255. Izlaz bloka je binarna slika s vrijednostima piksela 0 ili 1. Na ovaj način mogu se segmentirati željeni predmeti i fokusirati se na daljnju obradu tih istih predmeta. Osim bloka koji na ulaz prima sliku sivih tonova postoji i blok koji prima sliku u boji. Blok se zove *IMAQ Color threshold*. Kako slika u boji sadrži tri komponente na primjer crvenu, zelenu, plavu ili u slučaju HSL sustava nijansu, zasićenje i svjetlinu prilikom kreiranja binarne slike potrebno je definirati tri granice na ulazu bloka. Vrijedi ista analogija, ako piksel slike pripada zadanom intervalu na izlazu bloka taj piksel biti će postavljen u vrijednost jedinice. Slika 6.9 prikazuje blok *IMAQ Color threshold*. Na slici 6.10 slika a), b) i c) snimljene su s prstenastim osvjetljenjem no slika d) je snimljena bez toga osvjetljenja. Pozadinsko osvjetljenje sobe u kojoj je postavljena mala platforma vizijskog sustava uzrokovalo je bacanje sjene predmeta. Kako je metoda praga pretvaranje slike sivih tonova u binarnu sliku vidljivo je da metoda praga mnogo ovisi o osvjetljenju te da sjene prikazuju predmete koji zapravo nisu ispred kamere. Slika b) je procesirana s granicom praga od 0 do 70, a slika c) s granicom od 0 do 110. Slika d) procesirana je s istom granicom kao i slika c).



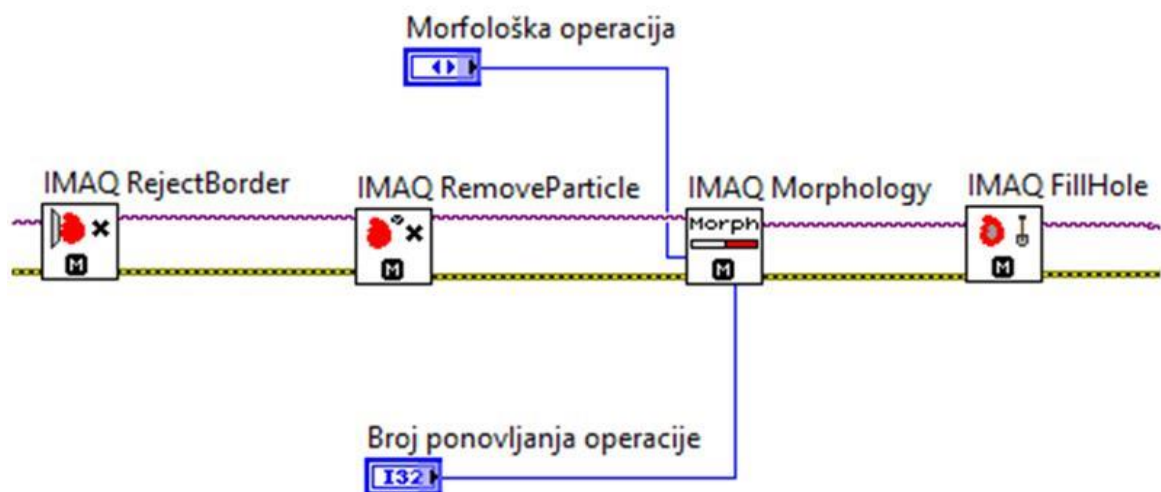
Slika 6.9: IMAQ Color threshold



Slika 6.10: Granice metode praga i utjecaj osvjetljenja

## 6.5 Morfološke operacije

Morfološke operacije mijenjaju strukturu čestica binarne slike [10]. Morfološke operacije koriste se kada se želi poboljšati binarna slika prije same analize, mjerenja čestice i identifikacije. Česticom se smatra skupina piksela vrijednosti jedinice. Ponekad binarna slika sadrži nepoželjne informacije kao što su čestice šuma, čestice nejednolikih granica, čestice koje dodiruju granicu slike te dodirivanje drugih čestica što rezultira stapanjem više čestica u jednu veliku. Utjecajem morfoloških operacija na oblik čestica neželjene informacije mogu se ukloniti. Morfološke operacije obrađuju piksele na osnovu njihovog susjedstva kao i prostorni filteri. Razlika između prostornog filtriranja i morfoloških operacija je u tome što prilikom morfoloških operacija elementi prozora filtera su ili nula ili jedan kao i slika koja se obrađuje. Tri su glavne operacije morfologije, a to su erozija, dilatacija i *hit and miss* operacija. Sve ostale morfološke operacije kombinacija su ove tri.

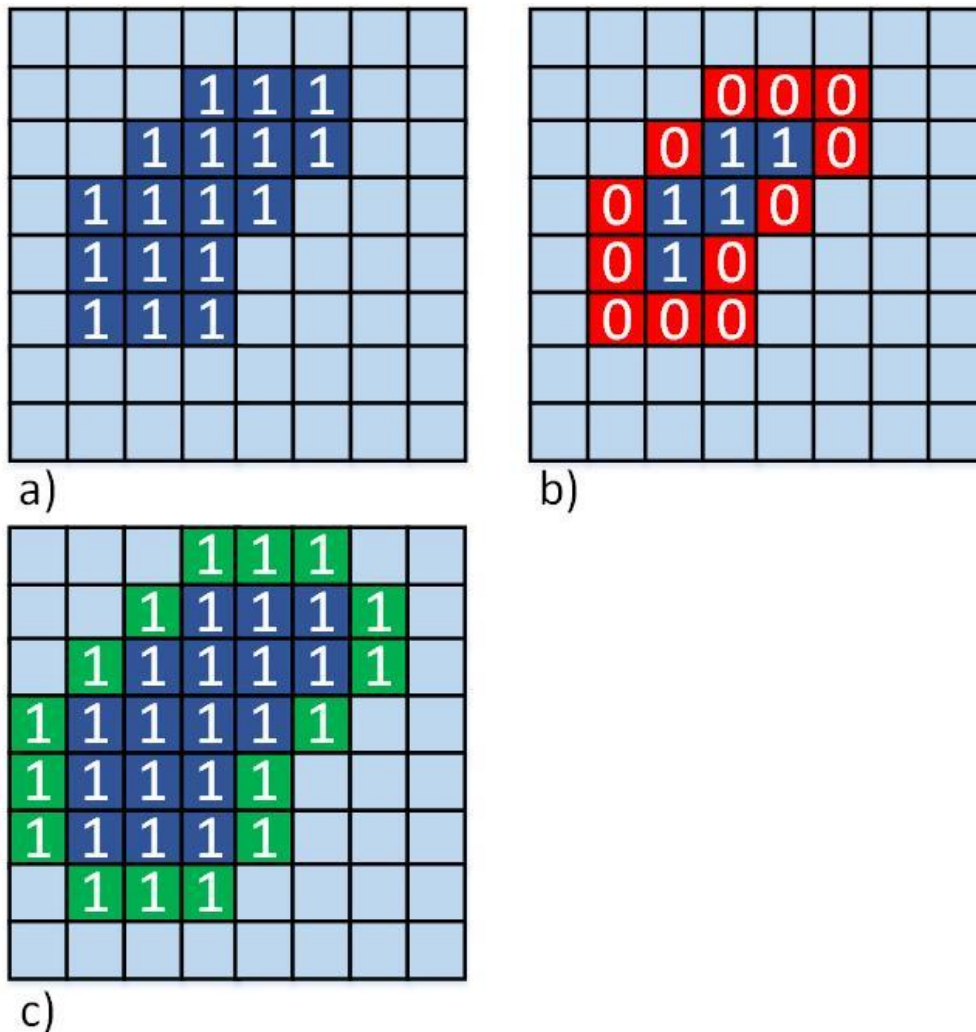


Slika 6.11: Morfološke operacije

Kao što je navedeno u uvodu ovog poglavlja javljaju se smetnje u binarnoj slici. Prvi blok IMAQ *Reject* border slike 6.11 eliminira čestice koje dotiču granice slike odnosno čestice koje dodiruju granicu biti će vrijednosti nula. IMAQ *Remove particle* je blok kojim se erodira binarna slika. Erozija je funkcija koja eliminira smetnje u pozadini i smanjuje konturu čestice. Zamislimo da je prozor filtera kojim se vrši erozija veličine 3x3 s elementima prikazanim matricom 6.2 .

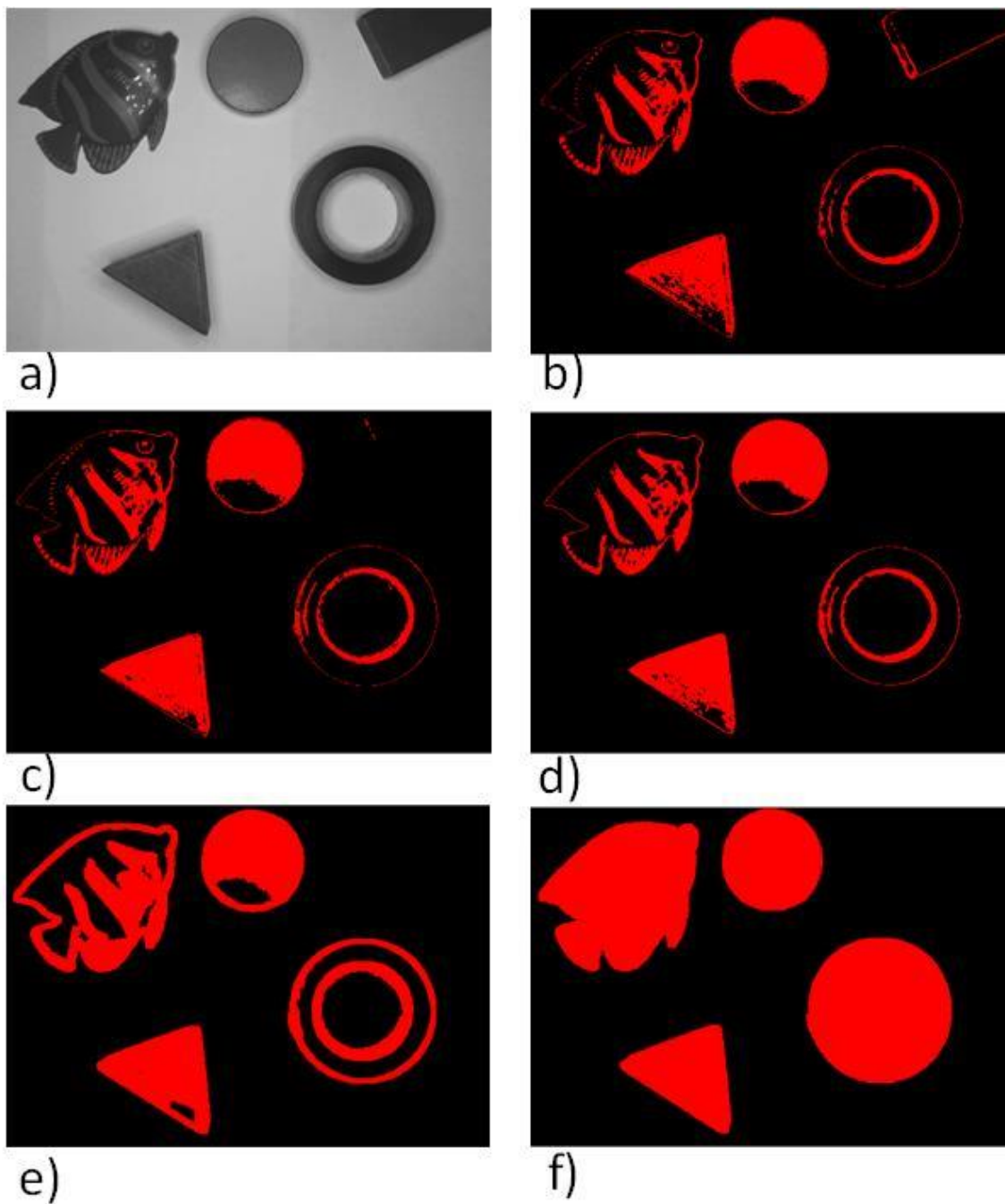
$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Središnji piksel slike koji je pod obradom prozora filtera neka se zove  $P_0$ . Susjedni pikseli slike koji su maskirani jedinicama prozora neka se zovu  $P_i$ . Ako je vrijednost bilo kojeg od  $P_i$  piksela jednaka nuli  $P_0$  postavlja se u nulu. U suprotnom  $P_0$  sadrži vrijednost jedinice. To znači da svi susjedni pikseli  $P_i$  moraju imati vrijednost jedinice kako bi se središnjem pikselu pridodala vrijednost jedinice. Dilatacija je suprotna operacija od erozije koja eliminira šupljine unutar čestica i širi konture čestice na osnovu zadanog prozora. Pa tako rečeno ako je vrijednost bilo kojeg od  $P_i$  piksela jednaka jedinici  $P_0$  postavlja se u jedinicu [10]. Slika 6.12 prikazuje binarnu sliku na početnu te rezultate erozije i dilatacije procesirane s prozorom iz relacije 6.2.



Slika 6.12: Operacije morfologije a) Ulazna slika b) Eroziija c) Dilatacija

Blok *IMAQ Morphology* nudi opciju odabira morfoloških operacija i broja ponavljanja te operacije. Posljednji blok sa slike 6.11 koristi se na kraju kako bi jedinicama zapunio čestice koje unutar svoje konture sadrže sitne rupe. Na poslijetku blok rezultira česticom ujednačenih vrijednosti unutar konture te poboljšava samu konturu čestice. *Hit and miss* funkcija pronalazi određenu konfiguraciju piksela koja je određena prozorom filtera. Što znači ako je konfiguracija piksela sa slike ista kao prozor filtera funkcije središnji piksel će imati vrijednost jedinice bez obzira dali je prije toga bio u jedinici ili u nuli. Kada bi se blokom *IMAQ Morphology* sa slike 6.11 odabrala operacija dilatacije na izlazu tog bloka mogla bi se prepoznati još jedna morfološka operacija. Sklop dva uzastopna bloka *IMAQ Remove particles* i *IMAQ Morphology* čine morfološku operaciju otvaranja (*Opening*). Funkcija *Opening* je erozija popraćena dilatacijom. Ova funkcija eliminira sitne čestice u pozadini i zaglađuje granice čestica. Kada bi obrnuli redoslijed erozije i dilatacije dobili bi operaciju zatvaranja (*Closing*) koja zapunjuje male pukotine unutar čestica i zaglađuje granice čestice. Slika 6.13 prikazuje međukorake morfoloških operacija sa slike 6.11. U prikazanim međukoracima može se zaključiti kako je morfološkim operacijama moguće izolirati ne samo čestice nego i pojedine detalje čestica. Promotrite li se slike c) i e) jasno je vidljiva zadaća funkcije *Closing* koja je uklonila zaostale čestice predmeta koji je dodirivao granicu slike te je podebljala konture ostalih čestica.

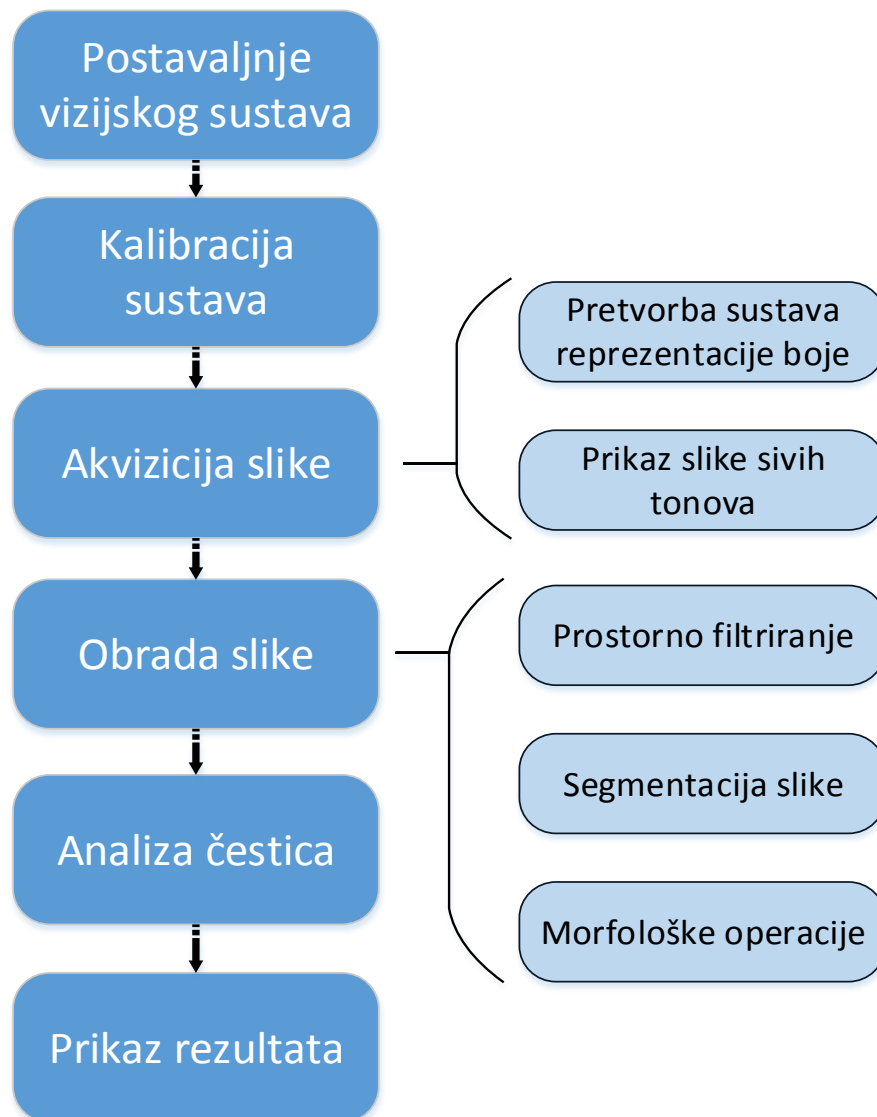


Slika 6.13: Međukoraci morfoloških operacija a) Siva slika b) Ulazna binarna slika c) *Reject border* d) Erozija e) Dilatacija f) *Fill hole*



## 7. MACHINE VISION

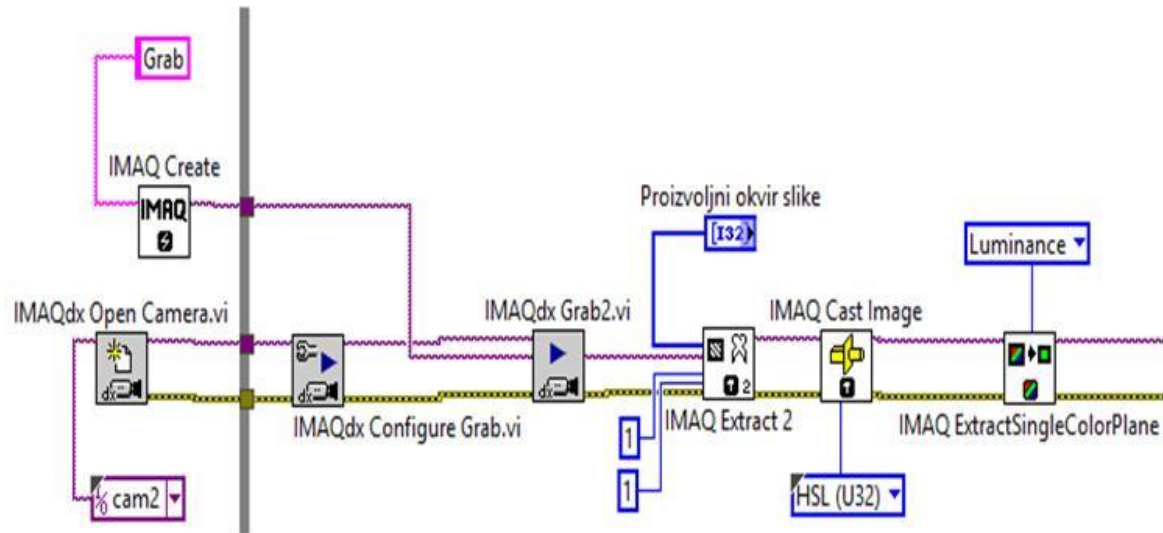
U prethodnim poglavljima detaljno su objašnjeni parametri vizijskog sustava te izdvojeni koraci obrade slike koji se koriste u praksi. U sklopu ovog poglavlja prikazuje se razvoj aplikacije za detekciju objekata prema obliku te prema boji. Na slici 7.1. prikazan je dijagram razvoja aplikacije odnosno kompletnog vizijskog sustava. Nakon postavljanja vizijskog sustav te kalibracije, slijedi akvizicija slike. Smjer dalje obrade slike biti će uvjetovan informacijom koja se sa slike želi izvući. Filtrirana slika se segmentira nakon čega se detektirani objekti mogu analizirati.



Slika 7.1: Dijagram izrade vizijske aplikacije

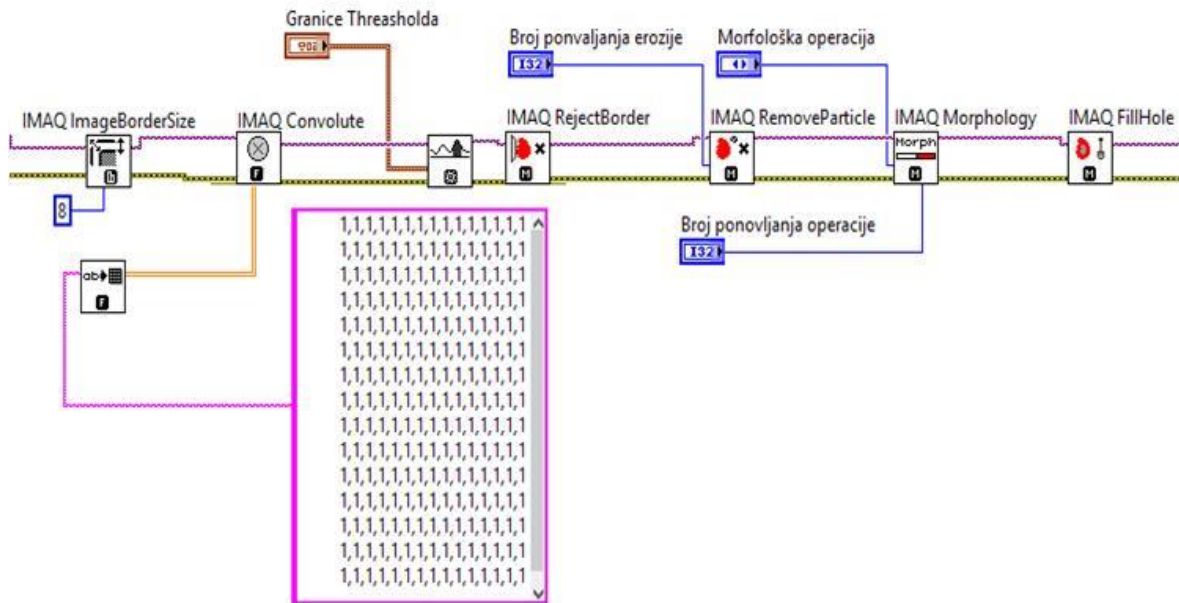
## 7.1 Prepoznavanje oblika

Programski kod se prikazuje u nekoliko odvojenih slika. Prva slika prikazuje blokove akvizicije slike i blokove zaslužne za manipulaciju slikom. Slijedeća slika prikazat će blokove obrade slike. Posljednja slika prikazuje dio koda zaslužan za analizu i prepoznavanje oblika.



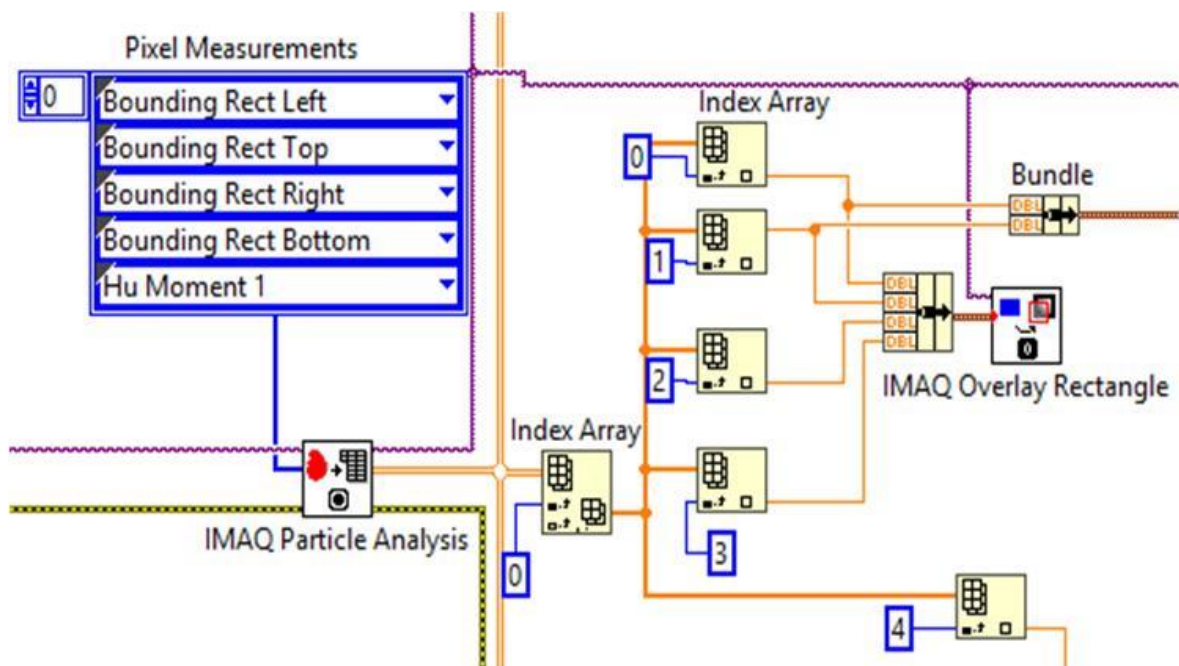
Slika 7.2: Akvizicija slike

Na slici su prikazana tri bloka koji manipuliraju slikom. IMAQ *Extract* ograničava područje slike koje želimo prikazati. Ovim blokom se može ograničiti područje slike koje želimo prikazati i obraditi. Kako blok IMAQdx *Grab* na izlazu vraća 32 bitnu RGB sliku blokom IMAQ *Cast Image* promijeniti ćemo sustav reprezentacije slike u HSL jer je pogodniji za obradu slike.



Slika 7.3: Obrada slike

Blokovi sa slike 7.3 opisani su u prethodnom poglavlju obrada slike unutar potpoglavlja prostorno filtriranje, metoda praga i morfološke operacije.

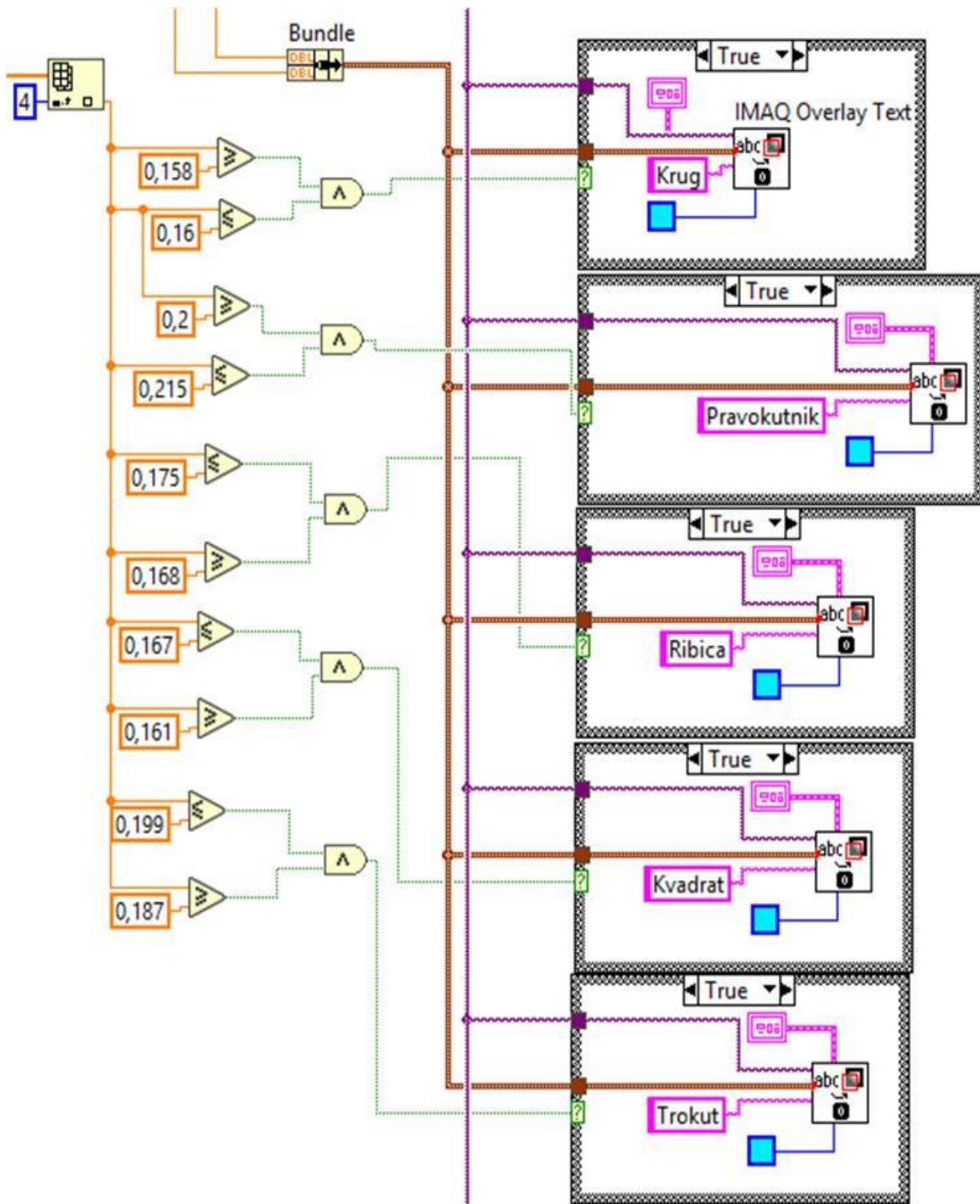


Slika 7.4: IMAQ Particle Analysis

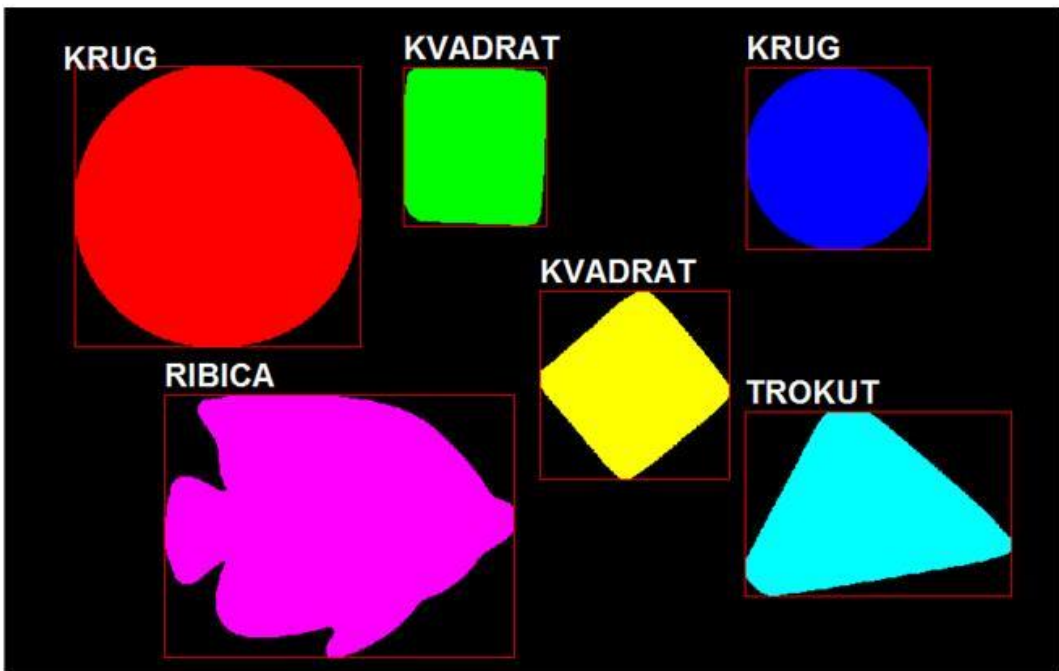
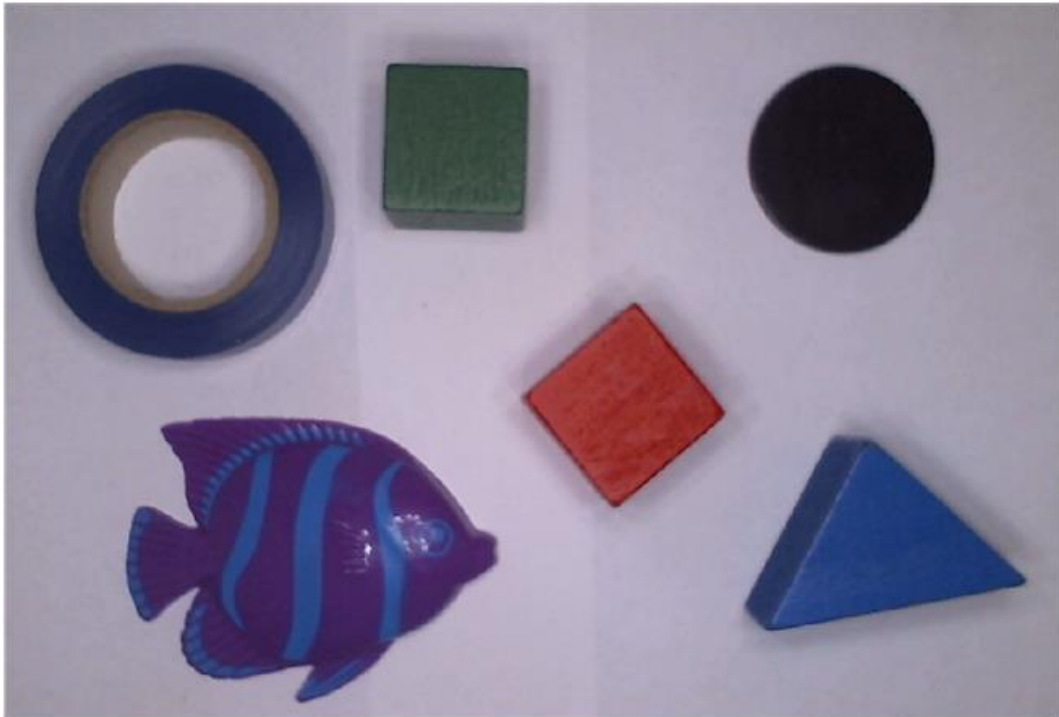
Programski kod na slici 7.4 zaslužen je za analizu čestica. Blok na ulazu prima binarnu sliku čestica, a na izlazu vraća broj detektiranih čestica i dvodimenzionalni niz podataka mjerenja nad česticama. Mjerenja koje blok vraća zadana su jednodimenzionalnim nizom sa slike zvanim *Pixel Measurements*. Prve četiri mjere odnose se na koordinate piksela čestice i te koordinate koristiti će se za ocrtavanje kvadrata oko pronađene čestice. Zadnja peta mjera je Hu moment. Hu moment slike zasnovan je na momentima slike. Momenti slike definirani su relacijom 7.1

$$m_{pq} = \iint_{-\infty}^{\infty} x^p y^q \rho(x,y) dx dy \quad (7.1)[12]$$

Iz relacije 7.1 funkcija  $\rho(x,y)$  je funkcija distribucije gustoće piksela dok su  $p$  i  $q$  elementi iz skupa cijelih brojeva. Hu moment daje skalarnu vrijednost koja opisuje neki geometrijski oblik. Na osnovu Hu momenta razni geometrijski oblici se mogu klasificirati. Važno je naznačiti da je Hu moment invarijantan na pomak čestice, rotaciju i povećanje čestice. Drugim riječima ako se predmet koji je pod inspekcijom zarotira, translacija ili pak poveća površinom predmet će biti klasificiran kao ista čestica. Koliko čestica se segmentira toliko će redaka 2D niza blok *IMAQ Particle Analysis* vratiti na izlaz bloka što znači da se redcima može pristupiti blokom *Index Array* koji za ulazni niz vraća element niza na izlazu. *Index Array* blok na slici pristupa nultom retku 2D niza. Nakon što je redak iz 2D niza izvučen, posebno se pristupa svakom elementu 1D niza odnosno pristupa se mjerama čestice sa slike koje su određene nizom *Pixel Measurements* gdje je prvi element niza indeksiran nulom, drugi jedinicom te tako sve do Hu momenta koji je indeksiran četvorkom. Slika 7.5 prikazuje kod koji uspoređuje vrijednosti momenta trenutne čestice na slici i već naučenih predmeta. Ako se vrijednost momenta čestice sa slike nalazi u jednom od intervala usporedbe toj čestici se pridodaje klasifikacija. Slika 7.6 prikazuje klasificirane objekte prema obliku koju su invarijantni na pomak, rotaciju i skaliranje.



Slika 7.5: Klasifikacija objekata



Slika 7.6: Ulazna slika i klasificirani objekti

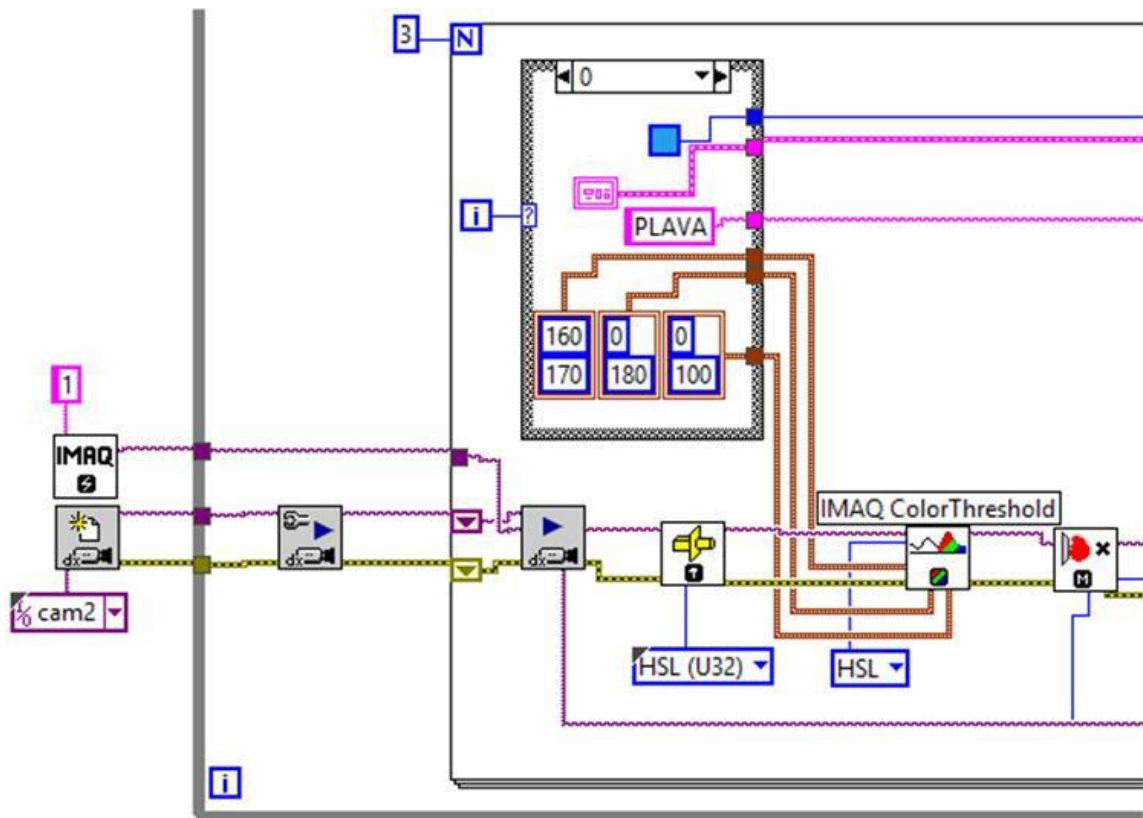
## 7.2 Prepoznavanje boje

U potpoglavlju 6.3 opisan je blok IMAQ *Color threshold* koji sliku u boji koja je sačinjena od tri ravnine piksela pretvara u binarnu sliku. Aplikacija je programirana tako da se razlikuju tri primarne boje crvena, zelena i plava. Kako bi se segmentirali objekti na primjer plave boje moraju se postaviti tri granice praga i spojiti na ulaz bloka IMAQ *Color threshold*. Granice se postavljaju za tri vrijednosti HSL sustava reprezentacije boje. Tablica 7.1 prikazuje intervale vrijednosti nijanse, zasićenja i svjetline korištene za prikaz tri primarne boje. Intervali korišteni u aplikaciji određeni su metodom pokušaja i praktičnog iskustva. Intervali će biti točni za trenutno korišteni vizijski sustav. Ako bi se parametri vizijskog sustava promijenili tako bi se i intervali granica mijenjali skupa s njima.

Tablica 7.1: Intervali granica praga

	Nijansa	Zasićenje	Svjetlina
Crvena	0-80	0-255	0-95
Zelena	100-155	0-150	0-100
Plava	160-170	0-180	0-100

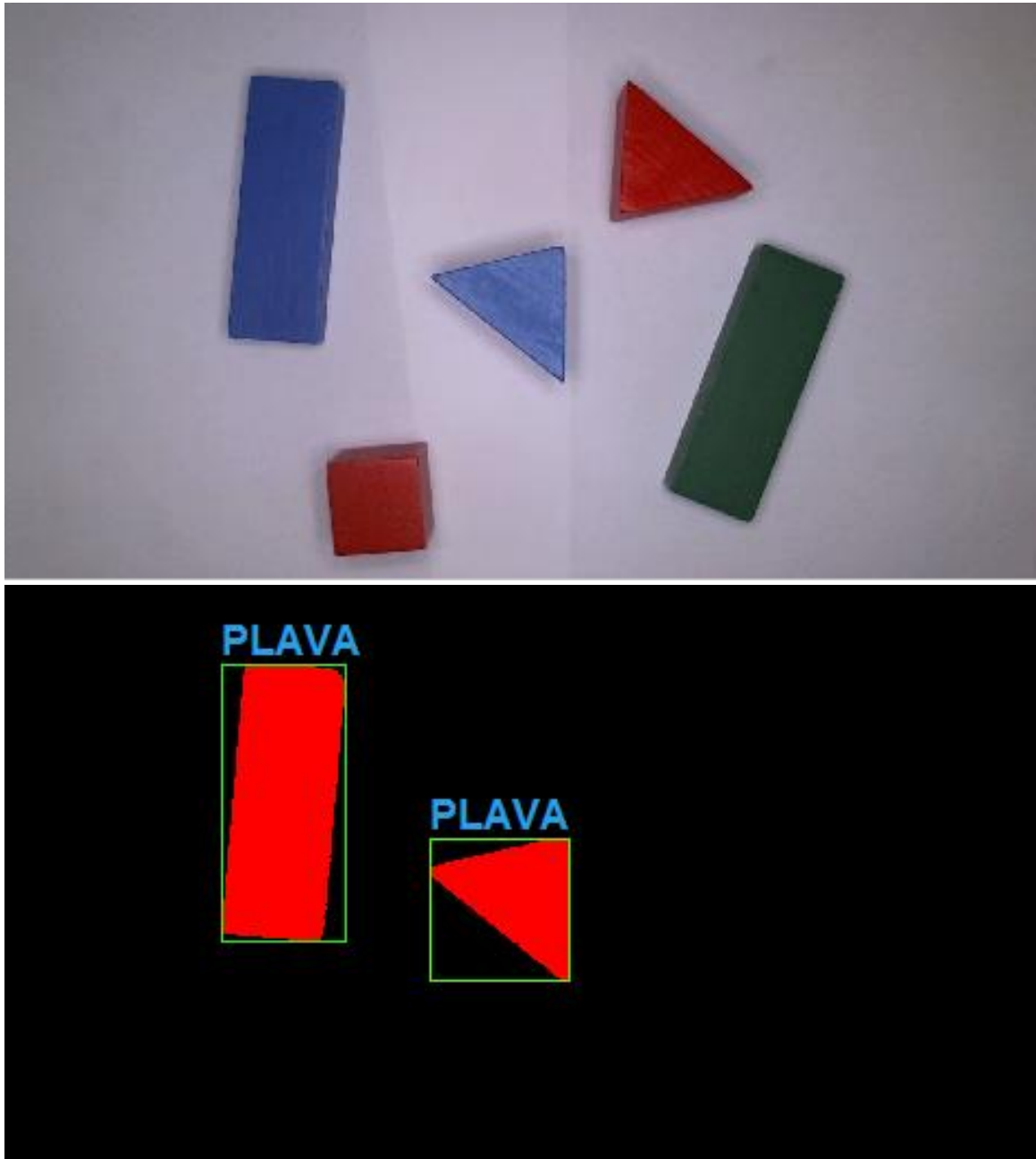
Nakon što je slika segmentirana prema željenim intervalima na izlazu bloka prikazati će se predmeti čije vrijednosti piksela spadaju u te intervale. Pa tako ako bi se u blok na ulaz primijenili intervali plave boje na izlazu bloka bi se prikazale čestice koje su plave boje. Kako metoda praga neće savršeno prikazati konture segmentiranih čestica potrebno je morfološkim operacijama dodatno poboljšati binarnu sliku i ukloniti eventualne smetnje. Slika 7.7 prikazuje kod aplikacije prepoznavanja boje. Kod se ne razlikuje mnogo od koda iz prethodnog poglavlja o prepoznavanju oblika te su već svi korišteni blokovi do sada opisani. Promjena u kodu koja omogućava segmentaciju tri primarne boje je postavljanje dijela koda u *for* petlju koja se izvršava tri puta. Unutar *for* petlje nalazi se *Case* struktura s tri uvjeta. U svakom od uvjeta postavljeni su intervali granica praga segmentacije za svaku boju. Za plavu boju uvjet izvršavanja *Case* bloka je vrijednost nule. Mijenjanje tri uvjeta je omogućio iterator *for* petlje koji kreće od nule i završava u dvojci. Na slici je prikazan blok IMAQ *Color threshold* s *Case* strukturom u kojoj se nalaze intervali granice praga.



Slika 7.7: Kod prepoznavanja boje

Ostatak koda su morfološke funkcije i blok IMAQ *Particle Analysis* pomoću kojeg se pristupa informacijama čestica. Ostatak blokova također se nalazi u *for* petlji. Slika 7.8 prikazuje ulaznu i izlaznu sliku ove aplikacije.





Slika 7.8: Prednji dijagram aplikacije

## 8. ZAKLJUČAK

Strojna vizija ili mnogo popularniji engleski naziv *Machine Vision* usko je povezana s *Machine Learning* granom računalne znanosti. Tijekom izrade rada pokušalo se je računalo naučiti logičkom prepoznavanju oblika. Brojna testiranja pokazuju da algoritam daje rezultate ali jedino u uvjetima koji su unaprijed poznati. *Machine learning* je grana računalne znanosti koja se bavi samostalnim učenjem računala kognitivnim funkcijama. Suvremena obrada slike (primjerice autonomna vožnja automobila) bazirana je prvenstveno na primjeni neuronskih mreža odnosno umjetne inteligencije (*Artificial intelligence* (AI)) koja ima sposobnost učenja i adaptacije svim uvjetima.

Da bi računalo jasno razumjelo što je prikazano na slici sustav vizije je potrebno kalibrirati, sliku poboljšati, segmentirati i analizirati. Poglavlja rada opisana su kao smjernice za izrade *Machine vision* aplikacije. Poglavlje o obradi slike opisuje kako se slika može poboljšati prostornim filterima na način koji će pogodovati daljnjoj obradi i analizi slike. Metodom praga uspješno se segmentiraju objekti koji se kasnije klasificiraju. Bez kvalitetnog i ispravno usmjerenog osvjetljenja izlazna slika segmentacije nebi bila kvalitetna i pogodna za izvlačenje informacija sa slike. Tijekom metode praga dolazi do izražaja koliko je bitan kontrast pri inspekciji. Tamniji predmeti na svijetloj pozadini lakše i zornije će biti segmentirani. Ako os kamere nije moguće postaviti okomito na ravninu u kojoj se nalaze objekti pod inspekcijom pojaviti će se perspektivne greške. Pojava perspektivnih grešaka ne znači nužno i gubitak informacija. Kalibriranjem modela kamere uklanjaju se ne samo perspektivne greške nego i distorzijske greške kamere. Kada se predmeti sa slike segmentiraju slika postaje binarna. Predmeti inspekcije će poprimiti vrijednost jedinice, a pozadina vrijednost nule. Morfološkim operacijama dodatno se naglašava struktura čestice, uklanjaju neželjene smetnje u pozadini i tako dodatno naglašava oblik segmentirane čestice. Kako bi aplikacije prepoznavanja oblika bila robusnija korišteni su momenti slike. Momenti slike su invarijantni na translaciju, rotaciju i skaliranje objekta inspekcije. Izvlačenjem mjere Hu momenta iz čestice objekti se mogu klasificirati u željene klase. Postupak akvizicije, obrade, segmentacije i analize slike na osnovu Hu momenata čini robusan sustav koji pouzdano u definiranim uvjetima odrađuje sve zadane zadatke.

## 9. LITERATURA

- [1] National Instruments. What is LabVIEW? [Online]. 2018. Dostupno na: <http://www.ni.com/en-rs/shop/labview.html>. (25.07.2018)
- [2] National Instruments. What are the different colors of connections in LabVIEW? [Online]. 2018. Dostupno na: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/9948CD45FBCA319A86257FD90052380A>. (22.08.2018)
- [3] National Instruments. Differences Between NI-IMAQ, NI-IMAQdx, and NI-IMAQ I/O. [Online]. 2018. Dostupno na: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019MEqSAM> (28.07.2018)
- [4] National Instruments. Where Can I Find the Vision Acquisition Software (VAS) and Vision Development Module (VDM) Functions Palettes in NI LabVIEW? [Online]. <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000P6s0SAC>. (28.07.2018)
- [5] National Instruments. Differences Between NI Vision Acquisition Software, NI Vision Builder, and the NI Vision Development Module [Online]. 2018. Dostupno na: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z000000P6OASA0>. (28.07.2018)
- [6] Digital photography review. Canon is now selling CMOS image sensors, including a 120MP APS-H beast. [Online]. 2018. Dostupno na: <https://www.dpreview.com/news/0671207908/canon-is-now-selling-cmos-image-sensors-including-a-120mp-aps-h-beast> (07.09.2018)
- [7] Edmund Optics. Imaging System Parameter. [Online]; 2018. Dostupno na: <https://www.edmundoptics.com/resources/tech-tools/imaging-system-parameter-calculator/>
- [8] Edmund Optics. Resolution. [Online]. 2018. Dostupno na: <https://www.edmundoptics.com/resources/application-notes/imaging/resolution/> (29.08.2018)
- [9] Omron Microscan system. Bright field and Dark field lighting. [Online] 2018. Dostupno na: <https://www.microscan.com/en-us/resources/know-your-tech/bright-field-and-dark-field-lighting> (30.08.2018)
- [10] National Instruments. IMAQ Vision Concepts Manual. [PDF]. Lipanj 2003. Dostupno na: <http://www.ni.com/pdf/manuals/322916a.pdf>

- [11] Songho.Ca. Digital signal procesing:Convolution. [Online] 2018. Dostupno na: <http://www.songho.ca/dsp/convolution/convolution.html> (12.10.2018)
- [12] IRE Transaction on information theory. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants, Ming-Kuei Hu. 1962. Dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1057692>. ( 15.10.2018)

## 10. OZNAKE I KRATICE

VI – Virtualni Instrument

VDM – *Vision Development Module*

NI – *National Instruments*

VAS – *Vision acquisition software*

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

RIO – *Re-Configurable Input/Output*

CCD – *Charged Couple Device*

CMOS – *Complementary Metal Oxide Semiconductor*

MyDAQ – *Data Acquisition device*

FOV – *Field of View*

WD – *Working distance*

DOF – *Depth of field*

MP – *Mega piksel*

## 11. SAŽETAK

**Naslov:** Akvizicija i obrada slike unutar LabVIEW programskog alata

Svrha rada je upoznavanje i korištenje modula za akviziciju i obradu slike unutar programskog alata LabVIEW. LabVIEW nudi brzu uspostavu vizijskog sustava VAS i VDM modulima. VDM modul koristi se za obradu slike. Slika se može obrađivati s raznim algoritmima. Algoritmi za prepoznavanje oblika mogu prepoznati definirani predložak, izbrojiti koliko je takvih primjeraka na slici te. Kvalitetu vizijskih sustava osigurava osvjetljenje te postizanje kontrasta između predmeta i pozadine na kojoj se nalazi. Kalibriranjem kamere uklanja se distorzija leće i perspektivne greške. Segmentacijom slike popraćenom morfološkim operacijama izdvajaju se objekti koji se dalje žele analizirati. Momentima slike mogu se opisati i klasificirati geometrijski oblici. Daljnje postavljanje koordinatnog sustava omogućuje unaprjeđenje sustava ka upravljanju manipulatorima u *pick and place* aplikacijama.

**Ključne riječi:** LabVIEW, *Machine Vision*, Obrada slike, Momenti slike

## 12. ABSTRACT

**Title:** Acquisition and image processing within LabVIEW software

The purpose of this work is to familiarize yourself with acquisition and image processing within LabVIEW program tool and use the acquisition and image processing module. LabVIEW offers a fast vision system setup with VAS and VDM modules. The VDM module is used for image processing. The image can be processed with various algorithms. Pattern recognition algorithms can recognize an already defined template, count how many such specimens are in the image. The quality of vision systems is measured on system illumination and contrast between objects and the background on which it is located. Calibrating the camera removes lens distortion and perspective error. Image segmentation accompanied with morphology functions can distinguish objects for further analysis. With moment invariants geometrical shapes can be classified and learned. Further setting of the coordinate system allows the system to be upgraded to manipulate manipulators in pick and place applications.

**Keywords:** LabVIEW, *Machine Vision*, Image processing, Moments invariants.

## **13. PRILOZI**



## IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primjereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovaru, <u>5. studenog 2018</u>	Ivan Šimunović	Šimunović

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

Ivan Šimunović

*ime i prezime studenta/ice*

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama cjeloviti tekst mojeg završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i time učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, 5. Studenog 2018.

Šimunović

*potpis studenta/ice*

# PREPOZNAVANJE BOJE .vi

While Loop

