



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



ERASMUS+ SECTOR SKILLS ALLIANCE

[TRAJANJE PROJEKTA: studeni 2014. – listopad 2017.]

SUSTAVI STROJNOG VIDA

NASTAVNI MATERIJAL

[WORKPACKAGE 3: Designing joint curriculum]

[OUT 3.2: Learning materials]

PREPARED BY: P3-School Centre Celje, SLOVENIA

Authors: Peter Kuzman, Natalija Klepej, Denis Kač

Translated by: Aleksandra Kotnik, Natalija Klepej, Simona Tadeja Ribič

September 2016

SADRŽAJ

1	UVOD	5
2	STROJNI VID	5
3	DIGITALNO SNIMANJE SLIKE.....	10
	3.1 Rezolucija slike	13
	3.2 Vidno polje	19
	3.3 Kontrast	27
	3.4 Dubina polja	30
	3.5 Osvjetljenje.....	35
	3.6 Frekvencija okvira.....	44
4	ALATI ZA DIGITALNU OBRADU SLIKE	46
	Blob	48
	Color/Boja	49
	Edge/Rub	49
	Histogram	50
	ID.....	51
	Flaw detection / Otkrivanje nedostataka	51
	Image/Slika.....	51
	OCV/OCR	52
	Pattern Match /Uparivanje obrazaca	52
5	VJEŽBE	53
	Teoretske vježbe.....	53
	Praktične vježbe	54
6	REFERENCE	58

POPIS SLIKAS I TABLICA

Slika 1: Brojanje proizvoda u njihovom pakiranju.[7].....	6
Slika 2: Otkrivanje stranog objekta na papiru.[7]	6
Slika 3: Mjerenje komplanarnosti pinova na konektoru.[7].....	7
Slika 4: Pozicioniranje LCD staklenih podloga.[7]	7
Slika 5: Kontrola prisutnosti maziva u položajniku.[7]	8
Slika 6: Kontrola osvjetljenja LED svjetla.[7]	8
Slika 7: Provjera boje žičanih konektora. [7].....	8
Slika 8: Mjerenje širine koristeći dvije kamere.[7]	8
Slika 9: Provjera boje žičanih konektora.[7]	9
Slika 10: Mjerenje širine koristeći dvije kamere.[7]	9
Slika 11: Princip digitalnog snimanja slike.....	10
Slika 12: CCD senzor slike.	11
Slika 13: CMOS senzor slike.	11
Slika 14: Film osjetljivosti ISO 100.....	12
Slika 15:Fotografija s dugom ekspozicijom i svijetlim linijama koje su napravila vozila u pokretu.....	12
Slika 16: Matrica piksela snimljene slike.....	13
Slika 17: Osmo-bitna dubina ili 256 razina svjetline	13
Tablica 1: Tehničke karakteristike fotoaparata.[1]	14
Slika 18: Snimanje slike različitim rezolucijama	15
Slika 19: Snimanje slike različitim rezolucijama.[3]	15
Slika 20: Snimanje dva zasebna crna objekta na bijeloj pozadini različitim rezolucijama senzora.[2]	15
Slika 21: Primjer testne slike da se testiraju leće fotoaparata [4].....	16
Tablica 2: Vrijednosti (lp/mm) s različitim veličinama piksela na senzoru.....	17
Slika 22: Primjer preniske frekvencije uzorkovanja	17
Slika 23: Primjer podataka za CMOS senzore.[5]	18
Slika 24: Vidno polje i udaljenost objekta.	19
Slika 25: Prostorno ograničena ugradnja fotoaparata.	20
Slika 26: Promatrani objekt u vidnom polju i rezolucija objekta.....	20
Slika 27: Preveliko vidno polje i mala veličina objekta u odnosu na cjelokupnu sliku.	21
Slika 28: Ispravno vidno polje i veličina objekta u odnosu na cjelokupnu sliku	21
Slika 29: Primjer ponude leća s fiksnom žarišnom duljinom. [2].....	22
Slika 30: Odnos između vidnog polja i radne udaljenosti pri rezoluciji od 1280 x 1024 piksela.[1].....	23
Slika 31: Odnos između vidnog polja i radne udaljenosti pri rezoluciji od 800 x 600 piksela.[1].....	23
Slika 32: Telecentrična leća.	24

Slika 33: Svjetlosni snop s konvencionalnom lećom.[6]	24
Slika 34: Svjetlosni snop s telecentričnom lećom.[6]	25
Slika 35: Izobličenje s telecentričnom lećom na lijevoj strani te s konvencionalnom lećom na desnoj.[6].....	25
Slika 36: Slika snimljena s konvencionalnom lećom i vidljiva perspektiva unutrašnjosti cijevi.[2]	26
Slika 37: Slika snimljena s telecentričnom lećom te se perspektiva cijevi ne vidi.[2]	26
Slika 38: Gornje slike snimljene su s konvencionalnom lećom, a donje s telecentričnom lećom.[2]	26
Slika 39: Različite vrijednosti kontrasta, najviši je prijelaz s crne na bijelu.[2]	28
Slika 40: Jasan prijelaz između objekata na gornjem dijelu te mutan prijelaz između objekata na donjem dijelu.[2]	29
Slika 41: Visok kontrast.	29
Slika 42: Nizak kontrast.	29
Slika 43: Usporedba između slike snimljene lećom visoke rezolucije i slike snimljene standardnom lećom.[7].....	30
Slika 44: Lijevo – mala dubina polja. Desno – velika dubina polja.[11]	31
Slika 45: Mjerenje dubine polja sa zatvorenim i otvorenim aperturom.[7]	32
Slika 46: Otvorenost aperture određuje količinu protoka svjetlosti na senzoru.[9].....	32
Slika 47: Različite razine otvorenosti aperture pri konstantnom vremenu ekspozicije.[10]....	33
Slika 48: Utjecaj otvorenosti aperture na oštrinu slike.[10].....	33
Slika 49: Primjer makro fotografije i male dubine polja.....	34
Slika 50: Osvjetljenje čitavim spektrom te koristeći dodatni crveni filter.[12]	35
Slika 51: Promjena osvjetljenja može povećati mogućnost raspoznavanja natpisa na desnoj slici.[7].....	35
Slika 54: Bomboni osvjetljeni različitim bojama.[13]	37
Slika 53: Spektar boja.[13]	38
Slika 56: Lijevo – pod difuznim bijelim svjetlom. Desno - pod difuznim IR svjetlom.[13] ..	39
Slika 57: Lijevo - osvjetljenje crvenim svjetlom. Desno - osvjetljenje IR svjetlom.[13]	39
Slika 58: Transparentni držač limenki s dodatnim polarizirajućim filterima na desnoj strani.[13]	40
Slika 59: Smanjivanje odsjaja pomoću polarizirajućih filtera. [1].....	40
Slika 60: Polarizirajući filter.[1].....	41
Slika 61: Tehnika pozadinskog osvjetljenja.[13]	42
Slika 62: Primjer plošnog izvora svjetlosti, svijetlo pozadinsko osvjetljenje.[14]	42
Slika 63: Dvije tehnike difuznog osvjetljenja.[13].....	42
Slika 64: Primjer kupole za proizvodnju difuznog osvjetljenja.[14]	42
Slika 65: Usmjereno osvjetljenje ili svijetlo polje .[13].....	43
Slika 66: Primjeri izvora usmjerenog osvjetljenja ili osvjetljenje svijetlog polja.[14]	43
Slika 67: Tehnika osvjetljenja tamnog polja. [13]	43

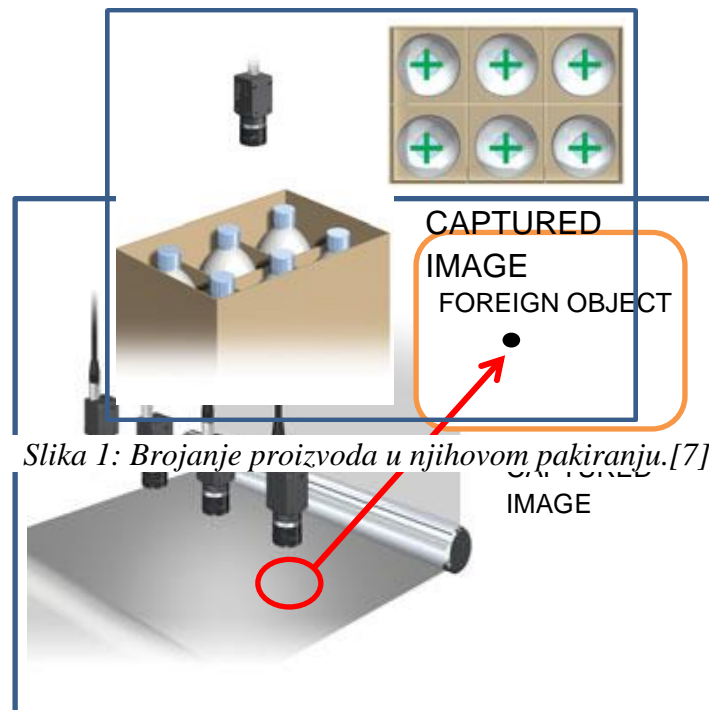
Slika 68: Primjeri izvora svjetla tamnog polja.[14]	43
Slika 69: Lijevo – slika u ogledalu svijetlog polja. Desno - slika u ogledalu tamnog polja; obratiti pažnju na ogrebotinu.[13]	44
Slika 70: Lijevo – tehnika osvjetljenja svijetlog polja. Desno - tehnika osvjetljenja tamnog polja.[15]	44
Slika 71: Lijevo: kratka ekspozicija. Desno: duga ekspozicija.[2]	45
Slika 72: Lijevo – slika snimljena globalnim zatvaračem. Desno – slika snimljena rolling zatvaračem.[2]	45
Slika 73: Sustav strojnog vida. [1]	46
Slika 74: Kompaktni fotoaparata za strojni vid. [1]	47
Slika 75: Primjer komunikacijskog sučelja industrijskog fotoaparata. [16]	47
Slika 76: Primjer blob analize.[1]	48
Slika 77: Color analiza priključka senzora zračnog jastuka u fazi instaliranja.[1]	49
Slika 78: Primjer područja snimljene slike gdje izrazito variraju vrijednosti susjednih piksela. [1]	50
Slika 79: Smjer pretrage i područje pretrage.[1]	50
Slika 80: Primjer histograma.[1]	51
Slika 81: 2D barkod i 1D barkod.[1]	51
Slika 82: Korištenje digitalnog filtera za uklanjanje crnih mrljica.(1)	52
Slika 83: Prepoznavanje znakova prema naučenom tekstovnom formatu.[1]	52
Slika 84: Prepoznavanje objekta na temelju otkrivanja vanjskih rubova i uspoređujući ih s referentnim modelom.[1]	52
Slika 85: Snimljene slike kovanica.	54
Slika 86: Softver za postavljanje fotoaparata i emulatora fotoaparata.	55
Slika 87: Alat za uređivanje slike	55
Slika 88: Alat za identifikaciju kovanice na slici.	56
Slika 89: Primjer prepoznavanja obrasca usprkos drugačijoj poziciji.	56
Slika 90: Prepoznavanje oštećenog ruba kovanice.	57
Slika 91: Strani objekt među euro kovanicama.	57

1 UVOD

Ovaj je materijal namijenjen polaznicima nastavnog predmeta Strojnog vida (*Machine Vision*). Polaznici će naučiti kako odabrati odgovarajuću industrijsku kameru/fotoaparatus i leće za određeni problem. Korištenjem posebnog softvera namijenjenog za uspostavljanje industrijskih kamera, oni će postaviti odabranu kameru i priključiti je na sustav s preprogramiranim programabilnim logičkim kontrolerom (PLC). U prvom poglavlju opisuje se načelo digitalnog snimanja slike i objašnjava osnovne koncepte digitalne fotografije. Zatim su opisani tipični alati za uređivanje, za digitalnu obradu već snimljenih slika. Ti su alati temeljni sastavni elementi posebnog softvera za postavljanje industrijskih kamera/fotoaparata koji su u ponudi osim onih od proizvođača industrijskih kamera. Na kraju se nalazi niz teoretskih zadataka za učvršćivanje znanja te upute za obavljanje praktičnih zadataka.

2 STROJNI VID

Strojni vid je optički i elektronički sustav koji može automatski snimati dvo-dimenzionalnu sliku objekta ili detalja o objektu te može obraditi takvu snimljenu sliku. Strojni vid koristi se u većinom četiri kontrolna područja. Prvo kontrolno područje je brojanje. Slika 1 prikazuje primjer korištenja strojnog vida za brojanje proizvoda u njihovu pakiranju.



Slika 1: Brojanje proizvoda u njihovom pakiranju.[7]

Slika 2: Otkrivanje stranog objekta na papiru.[7]

Drugo kontrolno područje u kojemu se koristi strojni vid je otkrivanje anomalija na objektu ili na detaljima objekta. Slika 2 prikazuje primjer otkrivanja stranog objekta na papiru prilikom kontrole kvalitete u stvarnom vremenu.

Strojnim vidom možemo automatizirati mjerenje dimenzija.



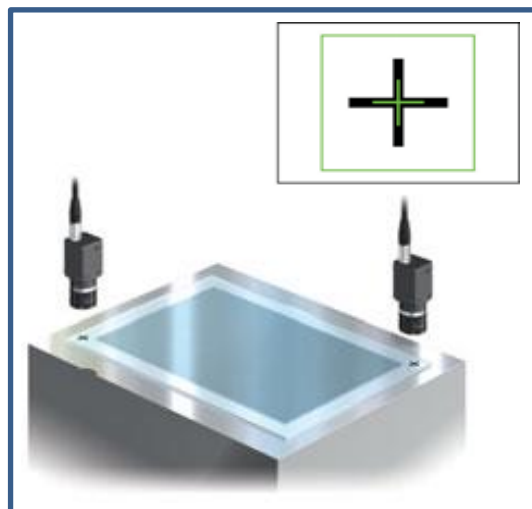
Slika 3: Mjerenje komplanarnosti pinova na konektoru.[7]

Slika 3 je primjer mjerenja komplanarnosti pinskih konektora.

Četvrto kontrolno područje obuhvaća primjenu pozicioniranja objekata pomoću strojnog vida.

Sljedeća slika prikazuje pozicioniranje LCD staklenih podloga.

Većina industrijskih primjena spada pod jedno od četiri gore spomenutih kontrolnih područja.



Slika 4: Pozicioniranje LCD staklenih podloga.[7]

Sljedeće slike sadrže primjere različitih industrijskih primjena. Donja lijeva slika prikazuje

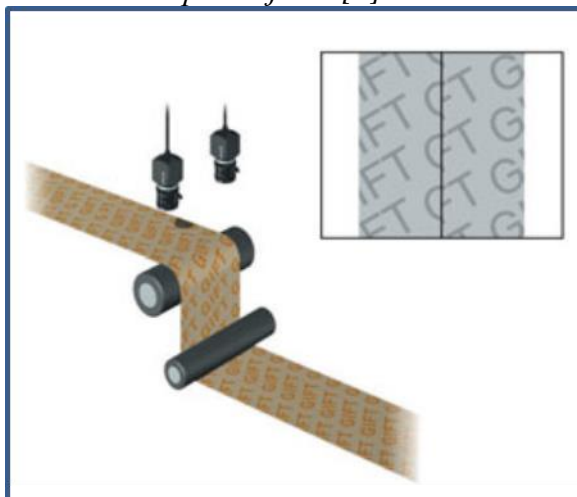
kontrolu prisutnosti maziva u položajniku, a donja desna slika prikazuje kontrolu osvjjetljenja LED svjetla.



Slika 5: Kontrola prisutnosti maziva u položajniku.[7]



Slika 6: Kontrola osvjjetljenja LED svjetla.[7]



Slika 7: Provjera boje žičanih konektora.
[7]



Slika 8: Mjerenje širine koristeći dvije kamere.[7]



Slika 9: Provjera boje žičanih konektora.[7]



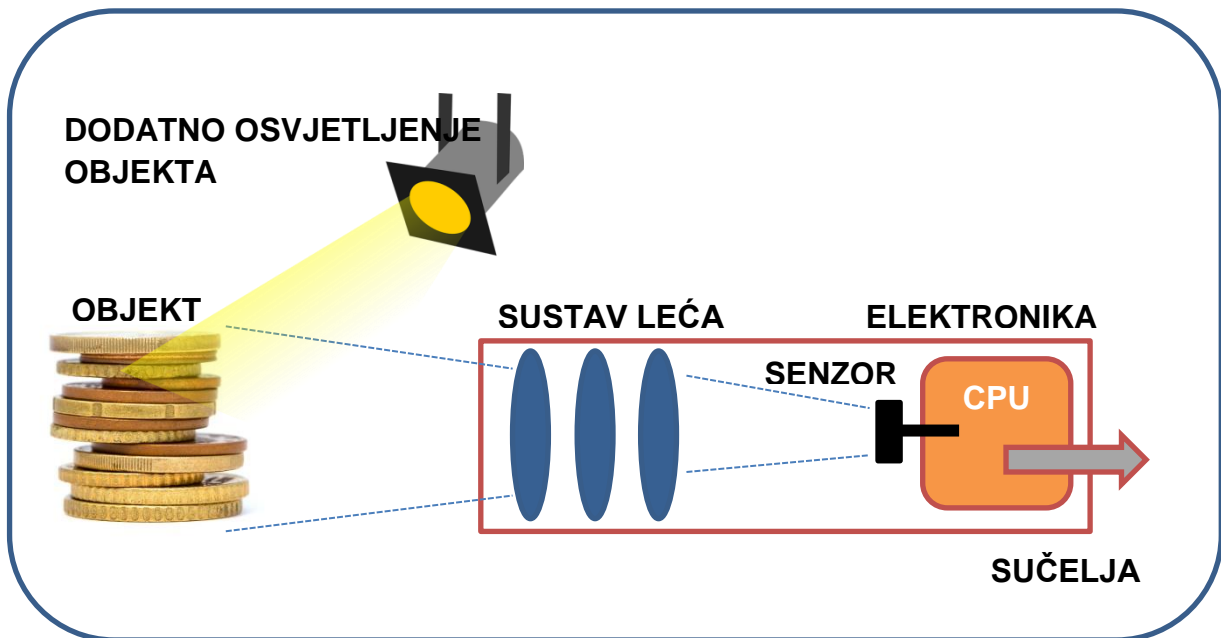
Slika 10: Mjerenje širine koristeći dvije kamere.[7]

Jasno je iz gornjih primjera da ovi zadaci, ako bi ih obavljali ljudi, bili dugotrajni ili previše složeni. Strojni vid u kombinaciji s kontrolnim sustavom može obavljati takve zadaće 24 sata dnevno, 7 dana u tjednu. Pojedini zadatak obavlja se u samo 10 milisekundi što znači da kontroliranje, brojanje, mjerenje ili pozicioniranje se obavi brzinom proizvodnog procesa.

3 DIGITALNO SNIMANJE SLIKE

Želimo snimiti, matematički opisati i zabilježiti sliku objekta u procesoru te na taj način omogućiti procesoru da izvrši potrebnu obradu slike. Na bilježenje slike u procesoru utječe nekoliko faktora. Veličina objekta i njegova udaljenost od sustava leća u kameri su temeljni faktori prema kojima odabiremo vrstu leća. Osvjetljenje objekta ili zanimljivih karakteristika objekta koje želimo naglasiti su temeljni faktori prema kojima odabiremo mod dodatnog osvjetljenja objekta.

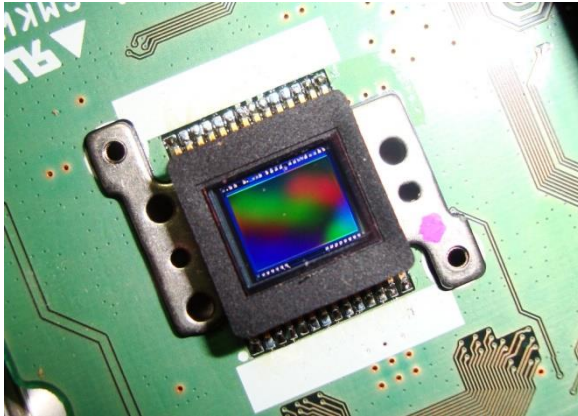
Karakteristike objekta koje želimo snimiti, a zatim digitalno obraditi, u kombinaciji s udaljenosti objekta od sustava leća u objektivu te veličinom samog objekta, određuju izbor minimalne potrebne rezolucije slike. Prilikom mjerenja dimenzija strojnim vidom, rezolucija slike određuje minimalnu moguću izmjerenu udaljenost. Struktura digitalne kamere je ista kao i kod klasične analogne kamere, ali umjesto filmske trake, koristi se senzor CCD (Charge Coupled Device – sklop s prijenosom naboja) ili senzor CMOS (Complementary metal–oxide–semiconductor - komplementarni metal-oksidni poluvodič). Razlika između senzora je sama



Slika 11: Princip digitalnog snimanja slike.

struktura. Što se tiče njihovih karakteristika, proizvodnja CCD senzora je jeftinija i manje

složena dok CMOS senzori troše manje energije i proizvode manje buke pri slabijem osvjetljenju ili kada se snimaju slike s većim ISO vrijednostima.



Slika 12: CCD senzor slike.



Slika 13: CMOS senzor slike.

ISO vrijednost upućuje na osjetljivost. Za analogne foto aparate, filmske trake bile su označene ISO oznakom. Viša ISO vrijednost značila je veću osjetljivost filmske trake, ali isto tako i veću zrnatost snimljene slike. Viša ISO vrijednost ili viša osjetljivost omogućuje brže snimanje slike pri niskom osvjetljenju. Apertura može biti otvorena vrlo kratko. To je posebno važno u situaciji kada su objekti koji se kreću manje osvijetljeni, a apertura je bila predugo otvorena, te je to uzrokovalo mrlje na slikama objekta. To može biti dobar efekt u umjetničkoj fotografiji, ali je obično nepoželjno u strojnom vidu.

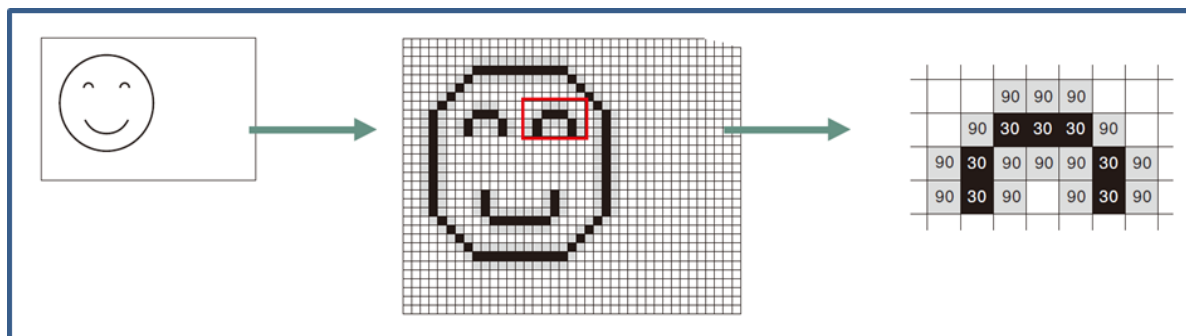


Slika 14: Film osjetljivosti ISO 100.

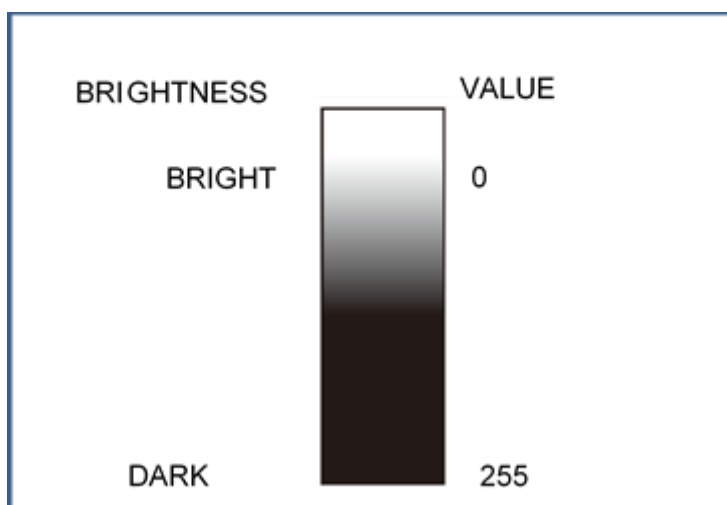


Slika 15: Fotografija s dugom ekspozicijom i svijetlim linijama koje su napravila vozila u pokretu

Senzor slike sastoji se od nekoliko neovisnih senzora koji otkrivaju pojedini piksel slike. Svaki pojedini piksel pretvara se u električni signal. Senzor veličine oko jednog četvornog centimetra je zapravo skup senzora koji čine matricu piksela. Svaki piksel u takvoj matrici pretvara se u električni signal. Na donjoj lijevoj slici (Slika 16) je »smiley« prikazan u mreži od 2500 piksela u sredini. Kao detalj, povećana je obrva na desnoj strani. Brojevi od 0 do 255 upućuju na intenzitet svakog pojedinog piksela te su u računalnoj memoriji pohranjene kao osmo-bitne binarne kombinacije. Puna crna je predstavljena brojem 0, čista bijela s druge strane ima broj 255. Pikseli na slici koji su prikazani brojem 30 predstavljaju crnu boju. Broj 90 označava susjedne piksele koji su svjetliji od onih označenih brojem 30.



Slika 16: Matrica piksela snimljene slike



Slika 17: Osmo-bitna dubina ili 256 razina svjetline

3.1 Rezolucija slike

Digitalni fotoaparat koristi senzor slike ravnog zaslona za snimanje slika. Senzori ravnog zaslona u fotoaparatima različitih su dimenzija i imaju različitu raspodjelu piksela na površini. 800 x 600 piksela označava raspodjelu piksela po površini senzora, što znači da se 800 piksela nalazi diljem širine senzora ili duž x-osi, a 600 piksela se nalazi diljem visine senzora ili duž y-osi. Ovakva vrsta senzora ima 480 000 tičaka na svojoj površini. Tablica 1 prikazuje tehničke karakteristike tri fotoaparata. Iz podataka možemo saznati o razoluciji senzora i njegovoj veličini.

Tablica 1: Tehničke karakteristike fotoaparata.[1]

		IN-SIGHT 2000 MODELS		
		2000-110	2000-120	2000-130
User Interface		In-Sight Explorer EasyBuilder		
Imager	Type	1/3 inch CMOS, monochrome		
	Image Resolution	640 x 480 pixels (standard)	640 x 480 pixels (standard) 640 x 480 pixels (2x magnification)	640 x 480 pixels (standard) 640 x 480 pixels (2x magnification) 800 x 600 pixels (2x magnification)
	Acquisition Rate	20 fps	40 fps	
Lens	Standard M12 Lens	8 mm		
	Optional M12 Lenses	3.6 mm, 6 mm, 12 mm, 16 mm, 25 mm		
Lighting	Standard	8-LED diffuse ring light (white)		
	Options	8-LED diffuse ring lights (red and IR)		
		Light filters (red and IR) and polarized light cover		
Vision Tools	Part Location	Pattern	Pattern	Pattern Edge Circle
	Part Inspection	Pattern	Pattern Pixel count Contrast Brightness	Pattern Pixel count Contrast Brightness Edge Circle
	Measurement			Distance Angle Circle diameter
	Counting			Pattern Edge
Communications & I/O	Protocols	Ethernet, EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, SLMP Scanner, FTP, RS-232 Text	Ethernet, EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, SLMP Scanner, FTP, RS-232 Text	Ethernet, EtherNet/IP, PROFINET, SLMP, SLMP Scanner, TCP/IP, UDP, FTP, RS-232 Text
	Connections	M12: Ethernet M12: Power, I/O and Serial		
	Inputs	2 (1 trigger, 1 general purpose)		
	Outputs	4 (general purpose)		
Mechanical	Dimensions	98 mm x 68 mm x 45 mm		
	Weight	200 g		
Operating	Power	5-24 VDC		
	Operating Temperature	4-40 °C		

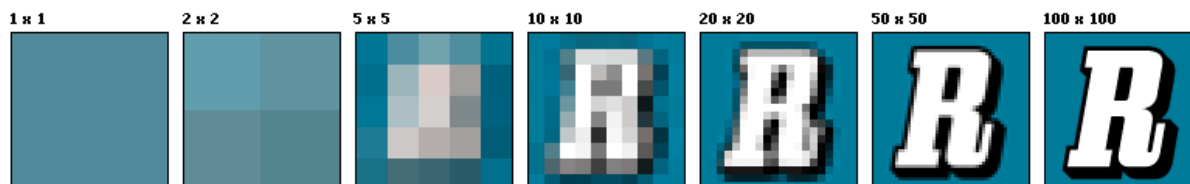
S obzirom na to da je slika pohranjena kao točke u memoriji fotoaparata, njezine dimenzije su nematerijalne. Njezina se veličina određuje prema udaljenosti do objekta i polju vidljivosti.

Da bismo razlikovali detalje na objektima, moramo osigurati da se detalji slike sastoje od dovoljno velikog broja piksela. U Slici 18 imamo primjere više rezolucije na lijevoj strani, a manje rezolucije na desnoj. Detalje je teže raspoznati na objektu s nižom rezolucijom. Pri nižoj rezoluciji tetiva luka gotovo nestaje.



Slika 18: Snimanje slike različitim rezolucijama

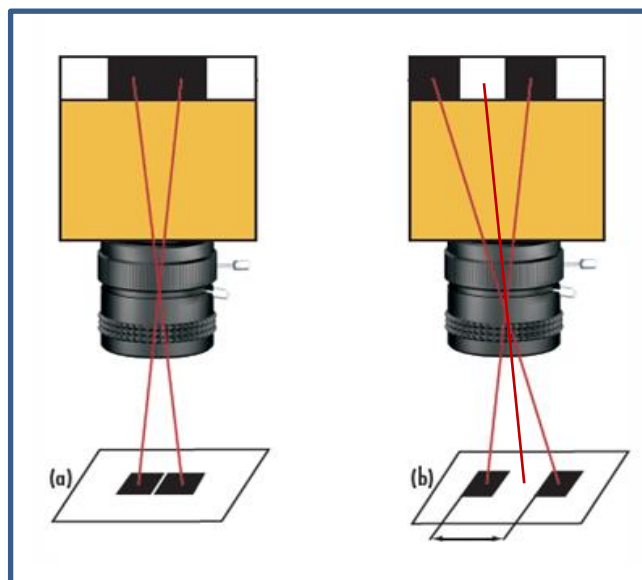
Slika 19 je primjer snimanja velikog tiskanog slova R različitim rezolucijama. Informacije o velikom slovu R se tek mogu raspoznati pri rezoluciji 20x20 piksela.



Slika 19: Snimanje slike različitim rezolucijama.[3]

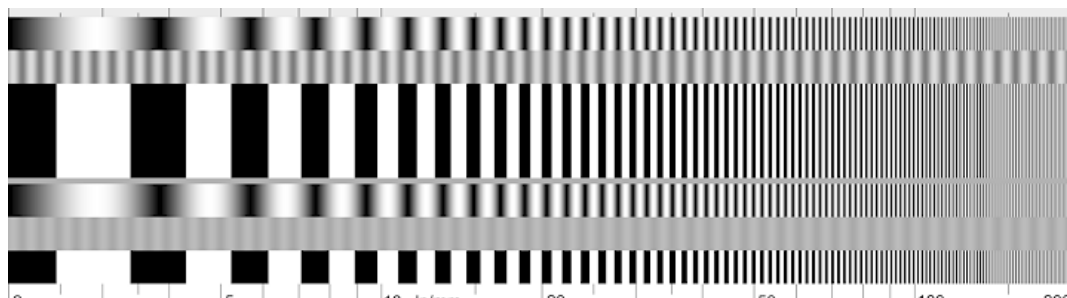
Slika 20 je primjer očitavanja udaljenosti između dva crna pravokutna objekta na bijeloj podlozi. U (a) udaljenost između objekata je premala da se bijela točka između njih aktivira na senzoru fotoaparata. Oba crna objekta su prikazana kao veći crni pravokutnik na senzoru i time su informacije o stvarnoj slici iskrivljene. Tijekom obrade takve slike, nije moguće raspoznati da su dva crna pravokutnika međusobno udaljena.

Slika 20: Snimanje dva zasebna crna objekta na bijeloj pozadini različitim rezolucijama senzora.[2]



U (b) oba crna pravokutnika su prikazana na senzoru veće rezolucije, gdje se bijelo polje između očitanih pravokutnika jasno vidi.

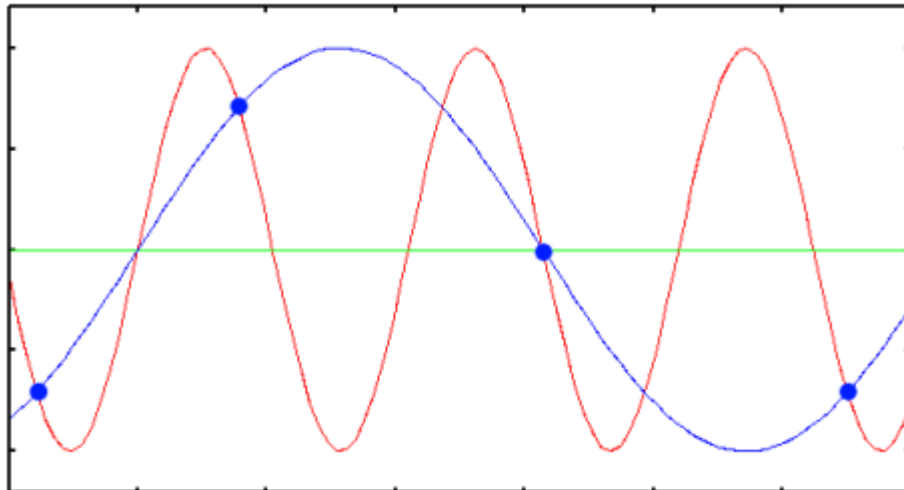
Mogućnost da se snime izmjenične bijele i crne linije u vidnom polju od jednog milimetra može se izraziti u lp/mm (linijski parovi po milimetru). Termin linijske frekvencije također se koristi i predstavlja korisnu informaciju prilikom uspoređivanja leća fotoaparata i senzora. Međutim, to nije apsolutno jer ovisi o kontrastu i vidnom polju.



Slika 21: Primjer testne slike da se testiraju leće fotoaparata [4]

The learning material was produced within the project skillME, co-funded by European Union - Erasmus+ Programme.

Ako želimo znati koji je najmanji piksel koji se može detektirati na objektu, trebalo bi razmotriti primjenu Nyquist kriterija. Frekvencija uzorkovanja signala trebala bi biti barem dva puta veća od najveće frekvencije komponente osnovnog signala koji želimo vjerno reproducirati sa snimljenih točaka.



Slika 22: Primjer preniske frekvencije uzorkovanja

Ako pogledamo Sliku 22 možemo definirati period kao jednu razmjenu između crnog i bijelog objekta, odnosno bilo koji prijelaz sa crne na bijelu pozadinu može se vizualizirati kao jedan otklon/oscilacija.

Ako se kriterij Nyquist gleda u okviru perioda, tada to znači dva uzorka unutar jednog perioda. U slučaju »a« na Slici 20 imamo samo jedan uzorak po periodu te je na taj način dio informacija u snimljenoj slici izgubljen. Oba crna objekta na snimljenoj slici su spojena. U slučaju »b« imamo dva uzorka po periodu te se zbog tog razloga zadržavaju informacije o dva zasebna crna objekta.

Tablica 2: Vrijednosti (lp/mm) s različitim veličinama piksela na senzoru

Veličina piksela na senzoru (μm)	Nyquist ograničenje (lp/mm)
1.67	299.4
2.2	227.3
3.45	144.9
4.54	110.1

5.5

90.9

Kako bi se utvrdila najmanja točka na objektu koju fotoaparat može detektirati, treba izračunati omjer veličine vidnog polja prema veličini senzora. Taj omjer daje vrijednost Povećanja (Primary Magnification, PMAG).

$$\text{faktor povećanja} = \frac{\text{veličina senzora}}{\text{veličina vidnog polja}} \quad (2.1)$$

Ako se PMAG omjer, koji nam daje faktor povećanja, pomnoži s rezolucijom snimljene slike na senzoru, izmjereno u (lp/mm), dobije se rezolucija objekta.

$$\text{prostorna rezolucija objekta} \left(\frac{\text{lp}}{\text{mm}} \right) = \text{rezolucija senzora} \left(\frac{\text{lp}}{\text{mm}} \right) \times \text{faktor povećanja} \quad (2.2)$$

Potrebna prostorna rezolucija objekta rijetko je u lp/mm, već češće u μm . Stoga možemo koristiti sljedeće jednadžbe:

$$\begin{aligned} \text{prostorna rezolucija objekta} (\mu\text{m}) &= \frac{1000 \left(\frac{\mu\text{m}}{\text{mm}} \right)}{2 \times \text{prostorna rezolucija objekta} \left(\frac{\text{lp}}{\text{mm}} \right)} \\ &= \frac{\text{veličina piksela} (\mu\text{m})}{\text{faktor povećanja}} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Primjer kako se računa rezolucija objekta ako je:

- rezolucija senzora 800 x 600,
- veličina senzora 1/3 inča,
- vidno polje (FOV) 100 mm horizontalno.

Parameter	Typical Value
Optical format	1/3-inch (5:4)
Active imager size	4.6mm (H) x 3.7mm (V), 5.9mm diagonal
Active pixels	1,280H x 1,024V
Pixel size	3.6 μm x 3.6 μm

Slika 23: Primjer podataka za CMOS senzore.[5]

Rezolucija senzora:

$$\text{rezolucija senzora (lp/mm)} = \frac{1000 \mu\text{m/mm}}{2 \times 4.6 \mu\text{m}} \approx 108 \text{ lp/mm}$$

Dimenzije senzora iz tablice:

$$\text{visina senzora (H)} = 3.7 \text{ mm}$$

$$\text{širina senzora (W)} = 4.6 \text{ mm}$$

Faktor povećanja:

$$\text{faktor povećanja} = \frac{4.6 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 0.046$$

Rezolucija objekta horizontalno:

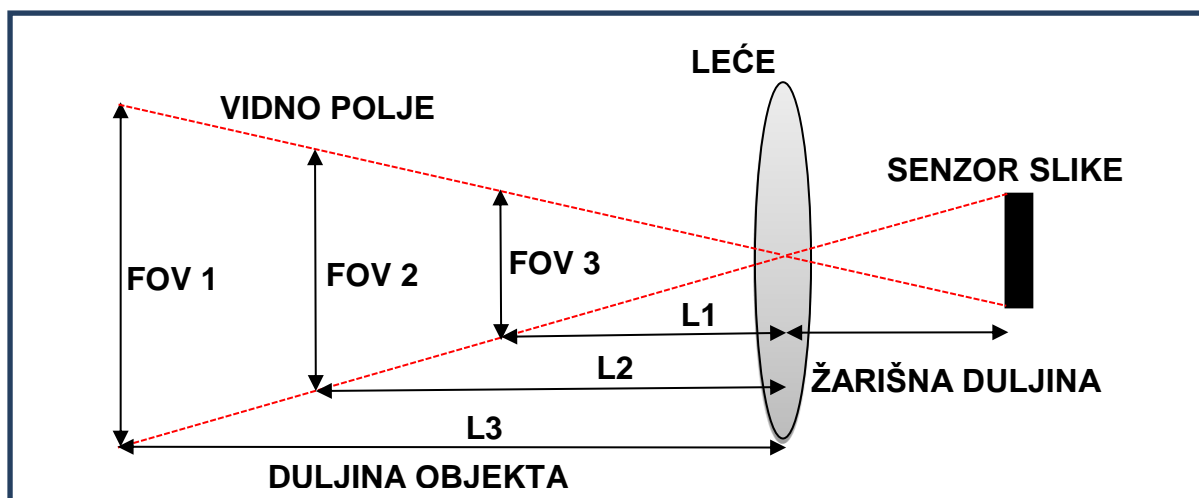
$$\text{rezolucija objekta (lp/mm)} = 108 \frac{\text{lp}}{\text{mm}} \times 0.046 = 4.968 \text{ lp/mm}$$

$$\text{rezolucija objekta } (\mu\text{m}) = \frac{1000 \mu\text{m/mm}}{2 \times 4.968 \text{ lp/mm}} \approx 100 \mu\text{m}$$

Rezolucija objekta of 100 μm znači da će slika objekta biti snimljena na način da najmanji dio slike odgovara udaljenosti od 100 μm u stvarnosti.

3.2 Vidno polje

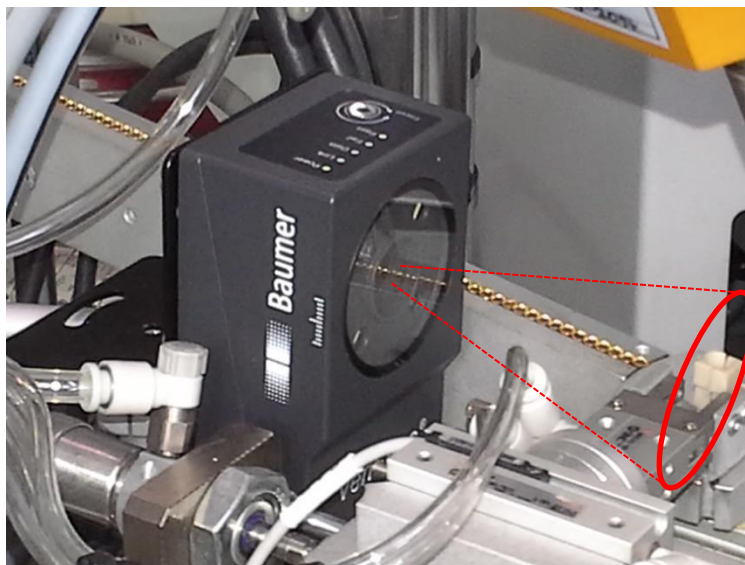
Vidno polje (FOV) je područje koje se može snimiti na senzor slike na određenoj udaljenosti, izmjerenoj od žarišne točke na lećama. Žarišna duljina je udaljenost od žarišta leća i senzora, dok je duljina objekta udaljenost između objekta i žarišta leća.



Slika 24: Vidno polje i udaljenost objekta.

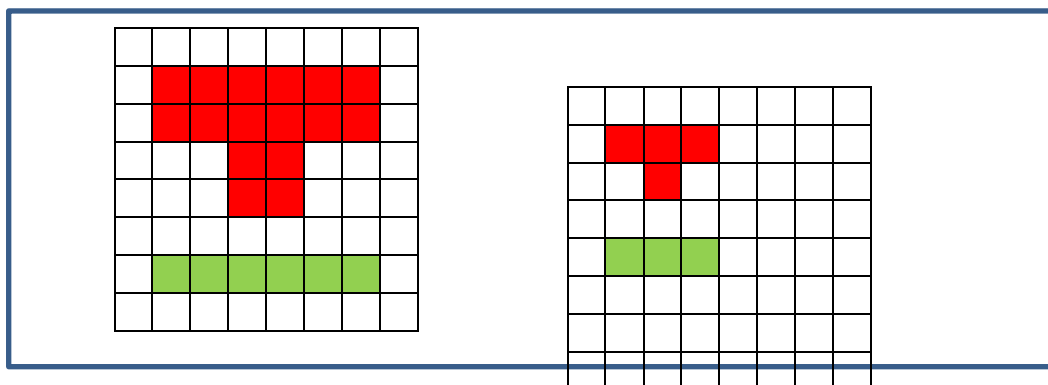
The learning material was produced within the project skillME, co-funded by European Union - Erasmus+ Programme.

Vidno polje se u praksi odnosi na veličinu promatranog objekta ili promatranog detalja na objektu, plus udaljenost između fotoaparata i objekta. Ugradnja fotoaparata je često prostorno i/ili tehnološki ograničena.



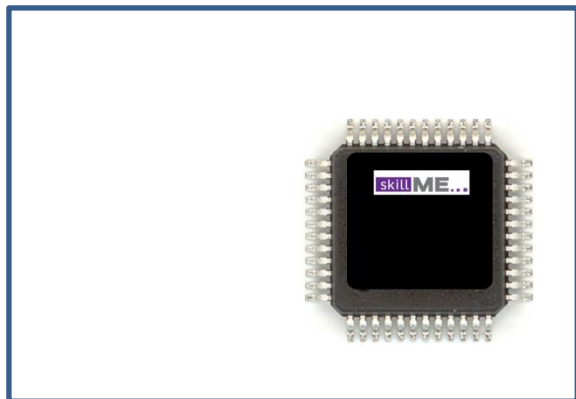
Slika 25: Prostorno ograničena ugradnja fotoaparata.

Kako bi se iskoristila maksimalna moguća rezolucija objekta, razumljivo je da promatrani objekt ili jedan njegov detalj preuzme čitavo vidno polje. Što je manji dio koji zahvaća promatrani objekt (ili neki njegov detalj) na čitavom vidnom polju, to je niža rezolucija objekta. Na donjoj slici, lijeva strana pokazuje objekt koji zahvaća veliki dio vidnog polja, a desna strana prikazuje objekt koji zahvaća mali dio vidnog polja.

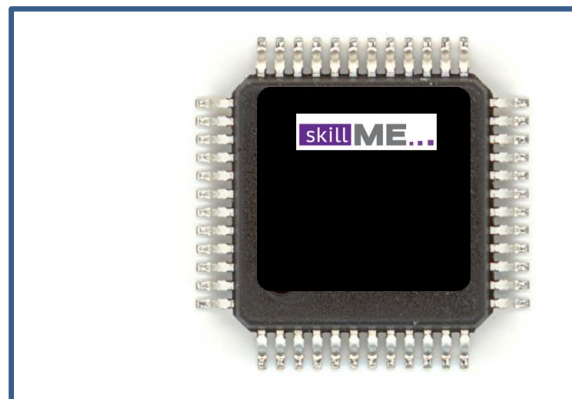


Slika 26: Promatrani objekt u vidnom polju i rezolucija objekta.

Odabirom ispravnih leća i odgovarajućom udaljenošću do objekta možemo osigurati da će promatrani objekt ili njegov detalj zahvatiti veći dio vidnog polja.



Slika 27: Preveliko vidno polje i mala veličina objekta u odnosu na cjelokupnu sliku.



Slika 28: Ispravno vidno polje i veličina objekta u odnosu na cjelokupnu sliku

Pri odabiru leća moramo znati veličinu objekta i moguću udaljenost kako bismo postavili fotoaparata. Ako je promatrani objekt ili njegov promatrani detalj puno veći u stvarnosti od veličine senzora fotoaparata, tada vidno polje može imati raspon od 20 mm to nekoliko desetaka metara. Leće za takvo vidno polje mogu imati promjenjivu ili fiksnu žarišnu duljinu.

Pri utvrđivanju žarišne duljine leće trebamo razmotriti sljedeće:

$$\text{faktor povećanja} = \frac{\text{veličina senzora}}{\text{veličina vidnog polja}} \quad (2.4)$$

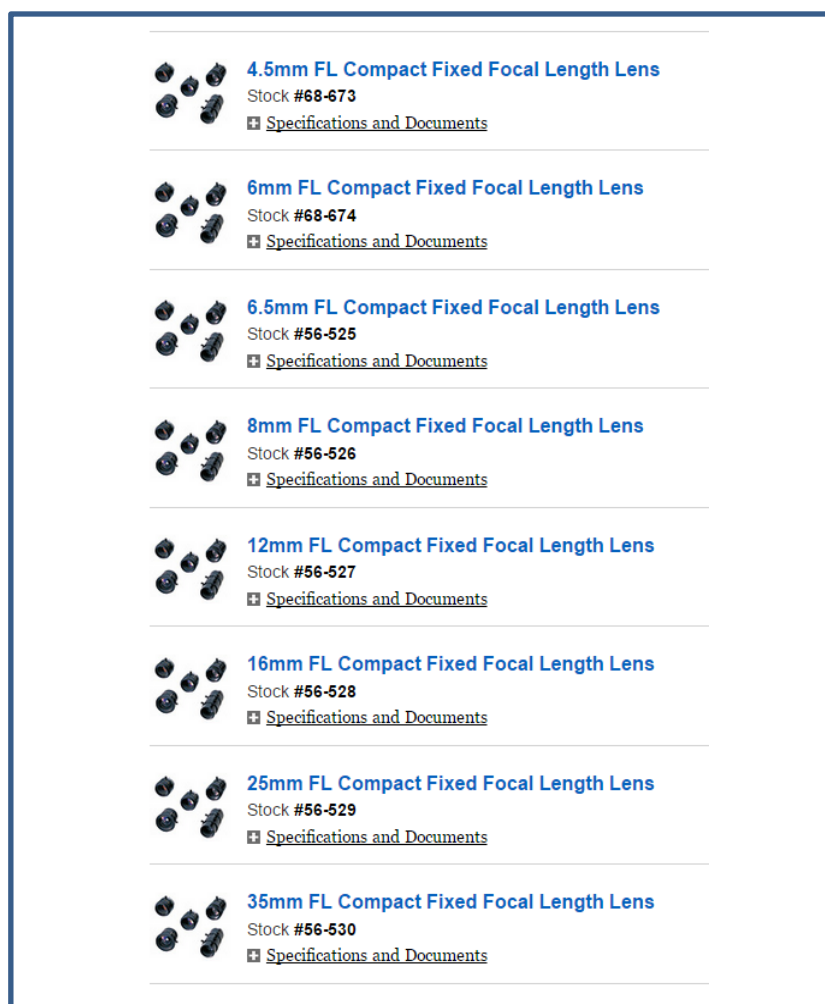
$$\text{žarišna duljina} = \frac{\text{faktor povećanja} \times \text{veličina vidnog polja}}{(1 + \text{faktor povećanja})} \quad (2.5)$$

Ovdje imamo primjer odabira žarišne duljine leće ako je rezolucija senzora 800 x 600, veličina senzora 4.8 x 3.6 mm, vidno polje (FOV) 100 mm horizontalno te radna udaljenost 500 mm:

$$\text{faktor povećanja} = \frac{4.8 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 0.048$$

$$\text{žarišna duljina} = \frac{0.048 \times 500 \text{ mm}}{(1 + 0.048)} = 22.9 \text{ mm}$$

U praksi, rijetko ćemo pronaći leću s fiksnom žarišnom duljinom od 22.9 mm. Slika 29 prikazuje ponudu leća za fotoaparate s fiksnom žarišnom duljinom. Među njima možemo odabrati leću sa žarišnom duljinom od 16 mm što je kraće od one koju smo iznad izračunali. Koristeći ovu opciju, vidjet ćemo određeno povećanje u vidnom polju na udaljenosti od 500 mm tamo gdje je fotoaparat postavljen, ali će rezolucija objekta biti manja. Stoga možemo odabrati leću od 16 mm i dodati telekonverter. Još jedna opcija je da odaberemo dužu žarišnu duljinu i udaljimo fotoaparat od objekta. Posljednja opcija ovisi o prostoru i tehnologiji opreme



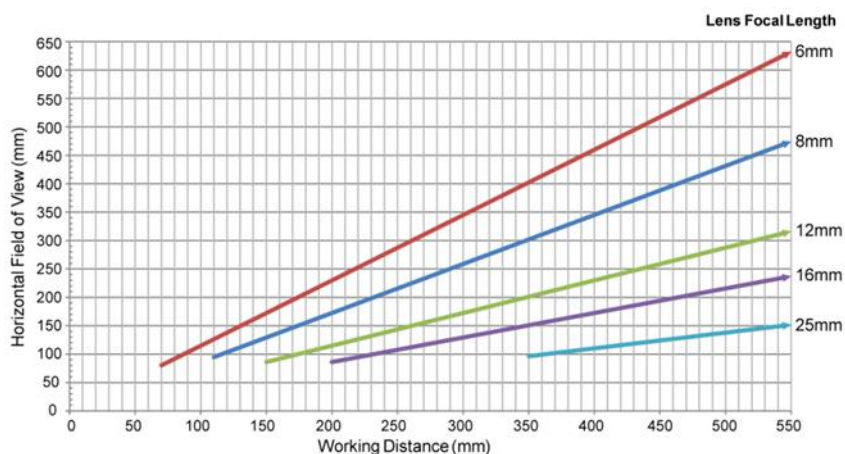
Slika 29: Primjer ponude leća s fiksnom žarišnom duljinom. [2]
kojoj pripada fotoaparat.

Postoje internetski dostupne aplikacije koje omogućuju izračune između žarišne duljine, vidnog polja i radne udaljenosti fotoaparata. U nastavku je nekoliko poveznica na takve kalkulatore.

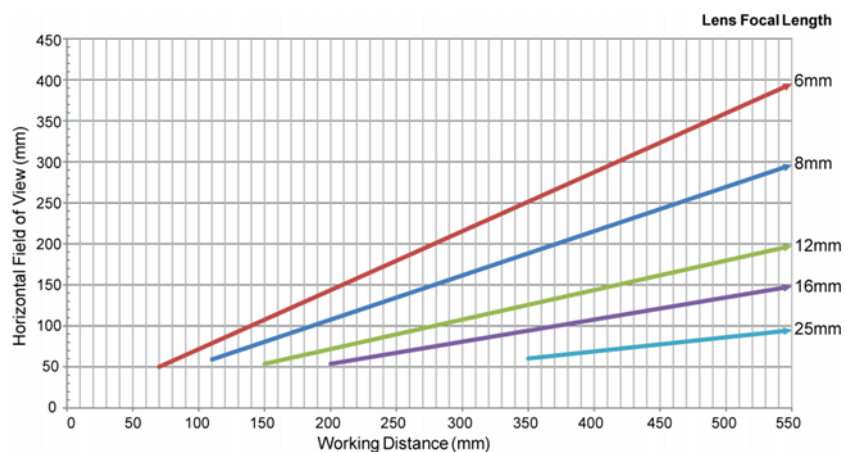
<http://www.edmundoptics.de/resources/tech-tools/focal-length/>

<http://www.cognex.com/ExploreLearn/UsefulTools/LensAdvisor/?id=8341>

<http://www.machinevision.ca/fieldofviewcalculator>



Slika 30: Odnos između vidnog polja i radne udaljenosti pri rezoluciji od 1280 x 1024 piksela.[1]



Slika 31: Odnos između vidnog polja i radne udaljenosti pri rezoluciji od 800 x 600 piksela.[1]

Na donjim slikama vidimo odnos između vidnog polja i radne udaljenosti fotoaparata od objekta, za leće različitih žarišnih duljina i dvije različite rezolucije senzora.

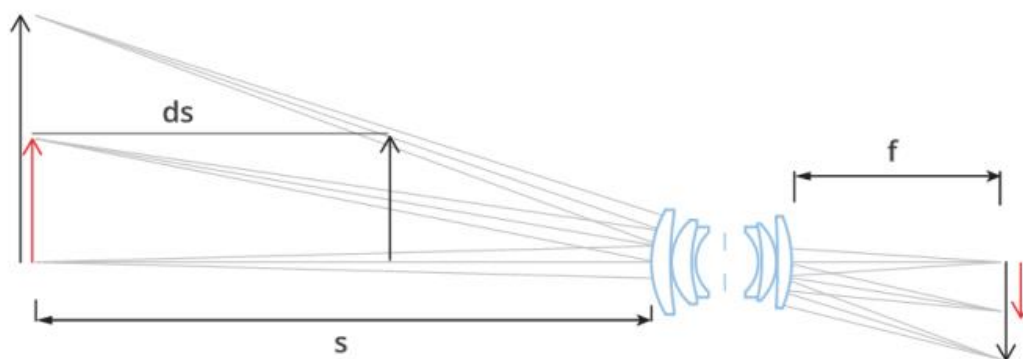
Kada je promatrani objekt ili njegov promatrani detalj manji od veličine senzora u fotoaparatu, tada je dobro odabrati telecentričnu leću.



Slika 32: Telecentrična leća.

Glavna karakteristika telecentrične leće je njezino konstantno vidno polje, bez obzira na radnu udaljenost fotoaparata. S obzirom na to da su njezini imaginarni svjetlosni snopovi paralelni, takva leća vrlo malo izobličuje i osigurava veću dubinu polja.

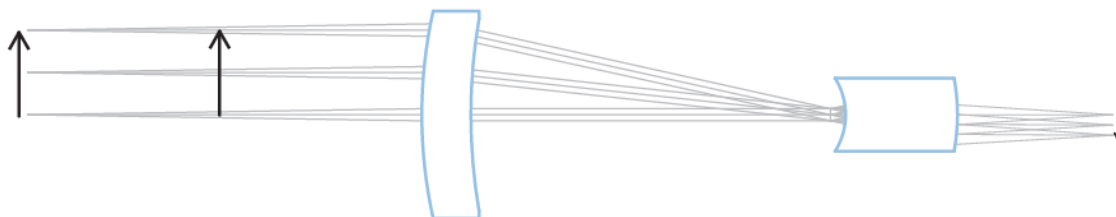
Paralelni svjetlosni snopovi omogućuju prilično dobru usporedbu dva objekta različitih veličina, koje se nalaze na različitim udaljenostima od leće, kao što je dolje prikazano. Na



Slika 33: Svjetlosni snop s konvencionalnom lećom.[6]

The learning material was produced within the project skillME, co-funded by European Union - Erasmus+ Programme.

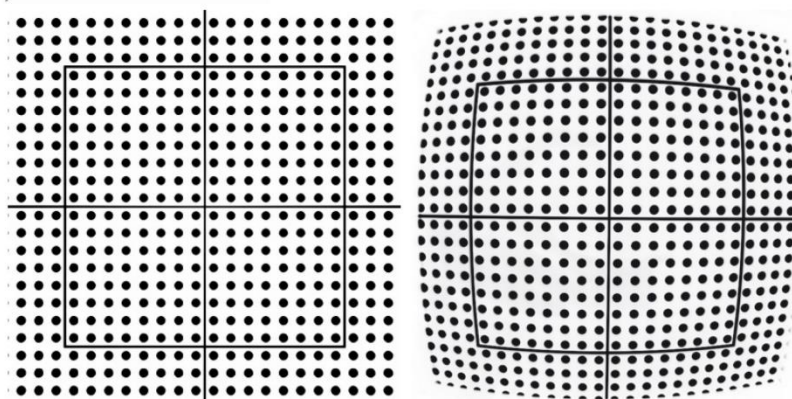
prethodnoj slici čini se da su oba objekta iste veličine iako u stvarnosti to nisu. To je zato što svjetlosni snopovi padaju na leću pod pravim kutovima.



Slika 34: Svjetlosni snop s telecentričnom lećom.[6]

Slika snimljena s konvencionalnom lećom pokazuje radijalno izobličenje na rubovima, što možemo vidjeti na desnoj strani slike. Međutim, telecentrična leća nema radijalnog izobličenja, što se može vidjeti na lijevoj strani slike.

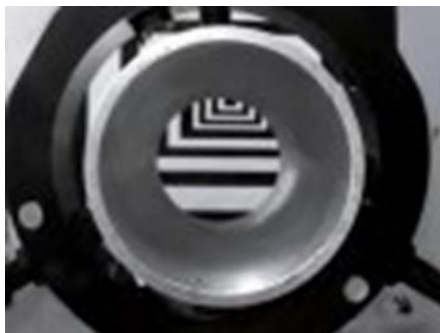
U praksi postoje razlike između slika snimljenih s konvencionalnom lećom i s telecentričnom



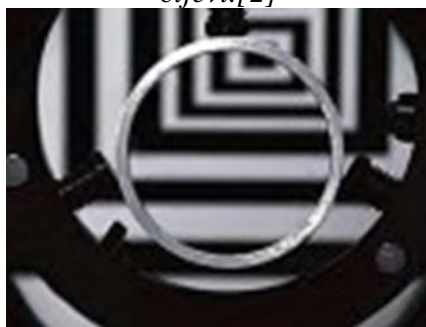
Slika 35: Izobličenje s telecentričnom lećom na lijevoj strani te s konvencionalnom lećom na desnoj.[6]

lećom, a što se vidi u dva sljedeća primjera. Na prvoj slici, snimljenoj s konvencionalnom lećom, vidimo perspektivu unutarnje strane cijevi, zbog čega je teško vidjeti rub cijevi koji je

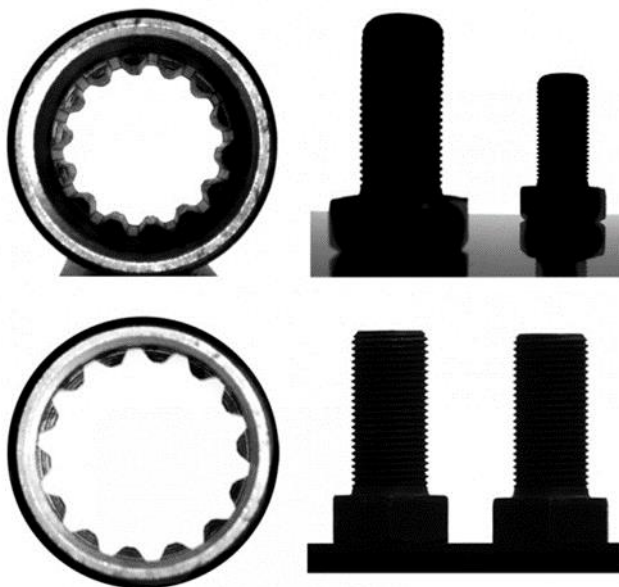
odrezan. Na slici snimljenoj s telecentričnom lećom, perspektiva se ne vidi zbog paralelnih svjetlosnih snopova. Odrezani rub cijevi jasno se vidi.



Slika 36: Slika snimljena s konvencionalnom lećom i vidljiva perspektiva unutrašnjosti cijevi.[2]



Slika 37: Slika snimljena s telecentričnom lećom te se perspektiva cijevi ne vidi.[2]



Slika 38: Gornje slike snimljene su s konvencionalnom lećom, a donje s telecentričnom lećom.[2]

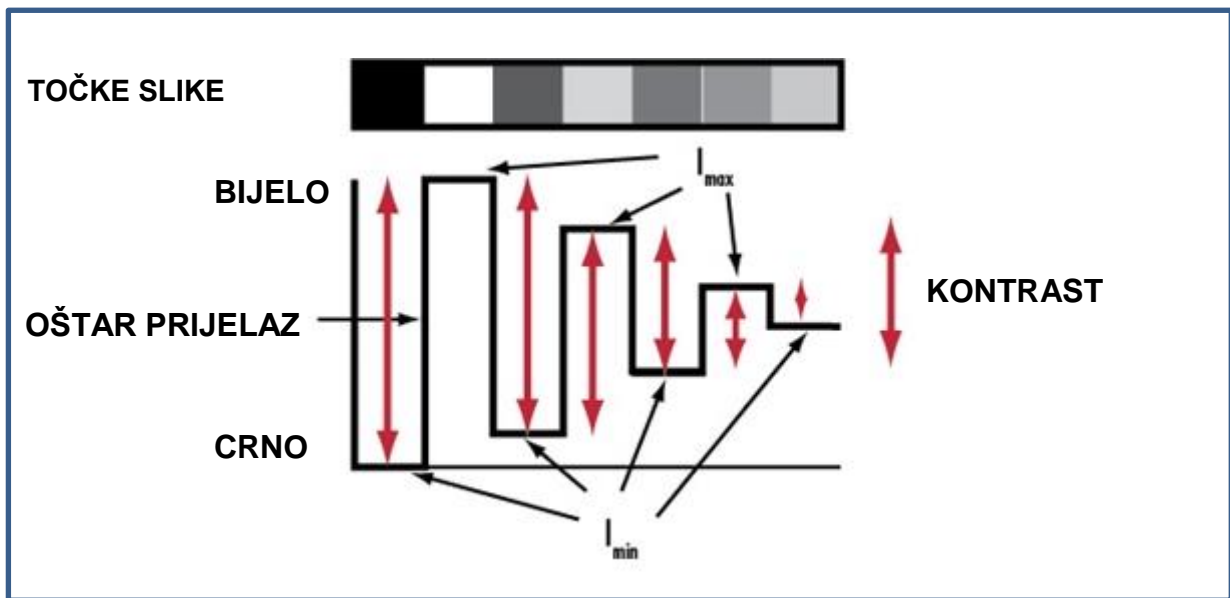
Korištenje telecentrične leće preporuča se:

- prilikom mjerenja dimenzija objekta, a njegove dimenzije su manje od 1/10 dubine polja,
- prilikom mjerenja dimenzija nekoliko objekata koji nisu u istoj ravnini ,
- u slučaju promjenjive udaljenosti između objekta i leće, a kada ta udaljenost nije poznata ili se ne može predvidjeti,
- kada se rupe moraju pregledati ili izmjeriti,
- kada je potrebno izvući precizan profil nekog dijela,
- kada je potrebna velika dubina polja tankog objekta,
- kada je čak potrebno osvjetljenje senzora (primjerice kada se pregledava LCD, tekstil, kvaliteta tiskanja).

3.3 Kontrast

Termin kontrast opisuje koliko se dobro mogu razlikovati crne točke od bijelih na snimljenoj slici. Ako se snimljena slika sastoji samo od bijelih i crnih detalja, kontrast je maksimalan. Međutim, svaka snimljena crno bijela slika sastoji se od punog spektra sivih boja. Što je veća razlika u intenzitetu između tamne i svijetle točke, kontrast je bolji.

Kontrast se definira kao omjer, pri čemu I_{max} je maksimalan intenzitet (obično u vrijednostima sive skale piksela), a I_{min} je najmanji intenzitet.



Slika 39: Različite vrijednosti kontrasta, najviši je prijelaz s crne na bijelu.[2]

$$\text{kontrast (\%)} = \frac{(I_{max} - I_{min})}{(I_{max} + I_{min})} \times 100 \quad (2.6)$$

Leće, senzor i osvjetljenje utječu na konačni kontrast slike. Oni utječu na kontrast pojedinačno i u cjelini, kao sustav. Kontrast leća definira se u smislu idealnog osvjetljenja objekta, ali je u stvarnosti to rijetko. Osim rezolucije, informacije o kontrastu objekta vrlo su važne za učinkovito prepoznavanje objekta ili prepoznavanje detalja na objektu. Govoreći o rezoluciji, uputili smo na problem snimanja slike dva objekta koji su međusobno blizu (Slika 20). Iako je sustav sposoban snimiti dva obližnja objekta i uzorkovati prostor između njih, u stvarnosti je tako veliki kontrast, kako se vidi na Slici 20, rijedak. Ovdje se radi o maksimalnom kontrastu s obzirom da je to prijelaz sa crnog na bijelo. Često kada jedan objekt prelazi na drugi, slika postane mutna. To znači da nedostaje kontrasta. Na slici 40 vidimo na gornjem dijelu da je frekvencija linije niska te je stoga prijelaz s jednog objekta na drugi jasan. Međutim, slika na donjem dijelu snimljena je pri višoj linijskoj frekvenciji te je zato prijelaz s jednog objekta na drugi zamućen i neprepoznatljiv.

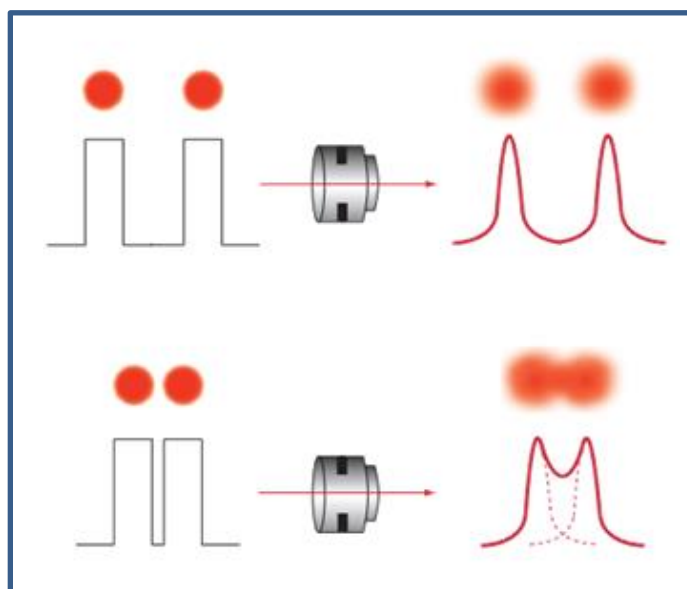
Donja lijeva slika (Slika 41) snimljena je većim kontrastom i zato su detalji na slici vrlo jasni. Desna slika (Slika 42) snimljena je nižim kontrastom. Stoga su prijelazi između detalja zamućeni te je detalje teže razlikovati. Činjenična rezolucija sustava ovisi o rezoluciji senzora, rezoluciji leće, mogućnostima kontrasta senzora i mogućnostima kontrasta leće. Također, kako bi se učinkovito raspoznali objekti i detalji, slika mora sadržavati dostatnu razinu kontrasta.



Slika 41: Visok kontrast.



Slika 42: Nizak kontrast.



Slika 40: Jasan prijelaz između objekata na gornjem dijelu te mutan prijelaz između objekata na donjem dijelu.[2]



Slika 43: Usporedba između slike snimljene lećom visoke rezolucije i slike snimljene standardnom lećom.[7]

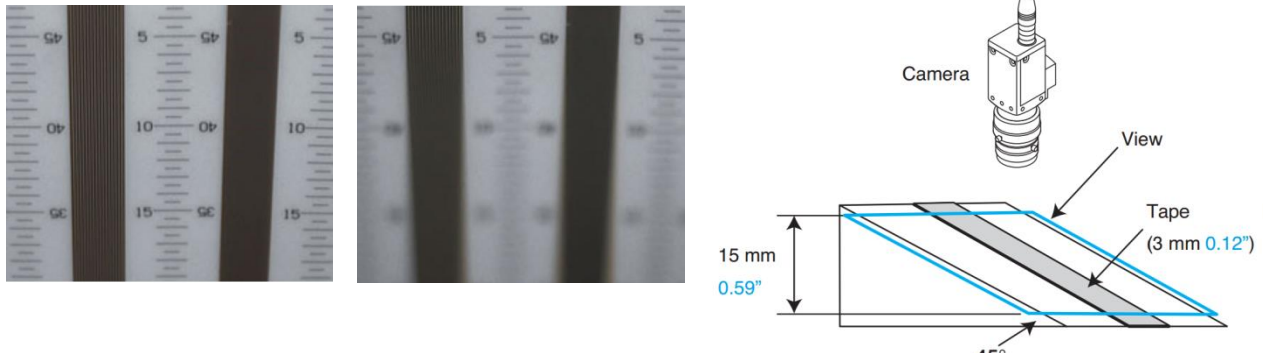
3.4 Dubina polja

Dubina polja je raspon udaljenosti na fotografiji koja se čini dovoljno oštra. Dubina polja varira ovisno o vrsti fotoaparata, žarišnoj duljini leće i aperturi. Promjena u oštadini nije nagla, već se pojavljuje postupno. Objekti počinju gubiti oštadinu ovisno o udaljenosti od žarišne točke. Ako pogledamo donju sliku, na lijevoj strani, žarišna točka je u prvoj trećini vrata gitare. Oština se postupno gubi u smjeru kobilice, te u smjeru glave gitare.



Slika 44: Lijevo – mala dubina polja. Desno – velika dubina polja.[11]

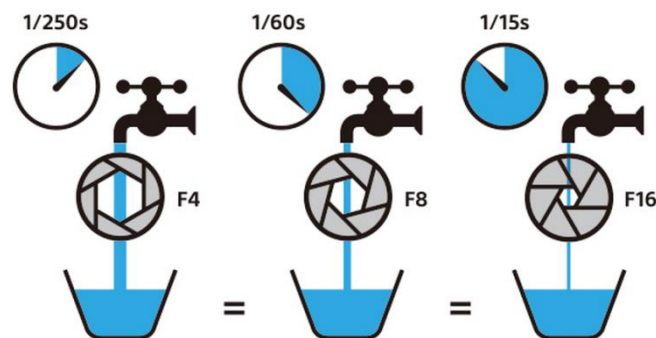
Prilikom testiranja dubine polja, fotoaparata se postavlja iznad nagiba od 45 stupnjeva. Također, na nagib se postavlja metar da izmjeri raspon udaljenosti unutar kojega snimljena slika ostaje oštra.



Slika 45: Mjerenje dubine polja sa zatvorenom i otvorenom aperturom.[7]

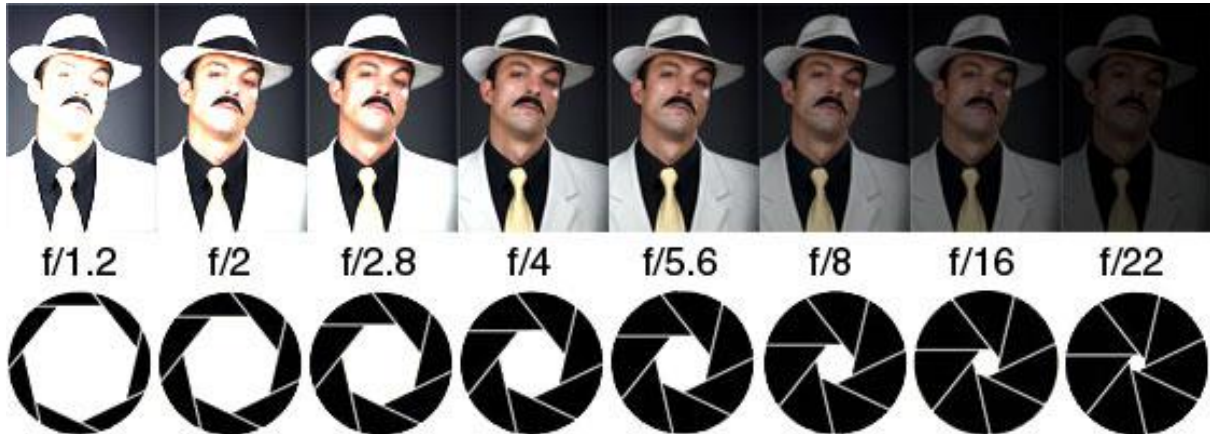
Apertura je mehanička zavjesa unutar leće koja kontrolira količinu svjetlosti koja dođe do senzora. Sljedeća slika prikazuje analogiju spremnika koji se puni vodom kroz proporcionalan ventil. Što je širi otvor aperture, veći je protok svjetla i brže snimanje slike na senzoru.

Uz konstantno vrijeme snimanja slike ili konstantno trajanje otvorenosti aperture (vrijeme ekspozicije), svjetlina slike će varirati ovisno o razini otvorenosti aperture.



Slika 46: Otvorenost aperture određuje količinu protoka svjetlosti na senzoru.[9]

Šira otvorena apertura rezultirat će svjetlijom fotografijom. Slika 47 prikazuje primjer različito osvijetljenog portreta, a što je postignuto prilagođavanjem otvorenosti aperture.



Slika 47: Različite razine otvorenosti aperture pri konstantnom vremenu ekspozicije.[10]

Razina otvorenosti aperture ima veliki utjecaj na dubinu polja. Što je šira apertura, plića je dubina polja i obrnuto – što je manja apertura, veća je dubina polja. Da bi slika bila dovoljno svijetla pri maloj aperturi, vrijeme ekspozicije mora biti dulje, a što može rezultirati mutnim slikama objekata koji se brzo kreću i nedovoljno su osvijetljeni. Slika 48 prikazuje slikice žica snimljenih različitim aperturama. Krajnja lijeva slika snimljena je s najširokom mogućom aperturom što je rezultiralo vrlo plitkim fokusom dok su žice na krajnjoj desnoj slici ostale u fokusu kroz cijelu dužinu.

Duljina polja također ovisi o žarišnoj duljini leće i veličini senzora, a i jedan i drugi određuju kut pod kojim svjetlo pada s objekta na leću. Što je kraća žarišna duljina, veća je dubina polja. Što je veća udaljenost od objekta do leće, veća je dubina polja. Dubina polja može biti



Slika 48: Utjecaj otvorenosti aperture na oštrinu slike.[10]

The learning material was produced within the project skillME, co-funded by European Union - Erasmus+ Programme.

problematična u strojnom vidu jer su fotografirani objekti obično mali i potrebna je makro fotografija, međutim makro produžni prstenovi i makro leće ne omogućuju veliku dubinu polja.

Slika 49 je primjer makro fotografije kojoj očito nedostaje dubina polja. Krajevi žica nisu oštri te samo gornji rub rukava pokazuje prihvatljivu oštrinu. Kada je potrebna velika dubina polja u makro fotografiji, koristimo algoritme modernog programa koji omogućuju fotografsku kompoziciju od nekoliko slojeva, pri čemu je svaki sloj zasebno snimljen i izoštrjen. Konačna slika je zapravo slika sastavljena od slojeva i može imati veliku dubinu polja. Takav postupak koji uključuje snimanje slike objekta zahtijeva više vremena s obzirom na to da treba snimiti nekoliko slika za jedan objekt.



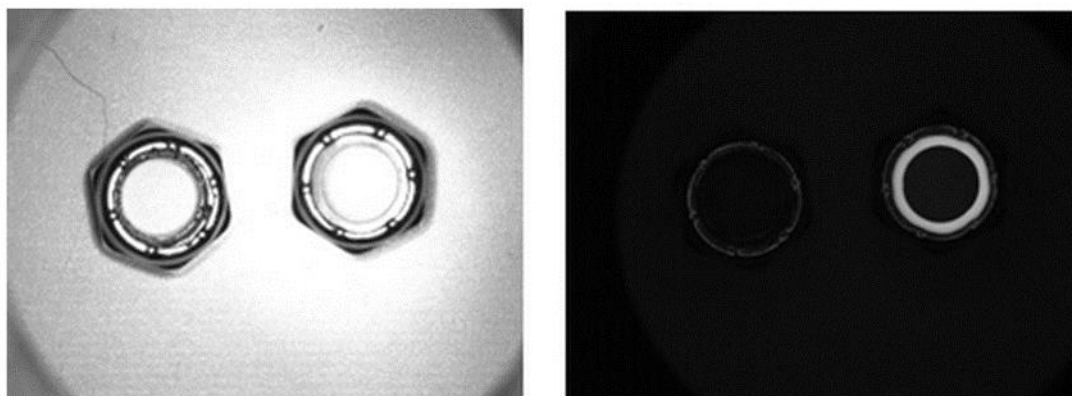
Dubina polja može se izračunati. Ispod je poveznica na kalkulator koji nam može pomoći u procjeni dubine polja:

Slika 49: Primjer makro fotografije i male dubine polja.

<http://www.vision-doctor.co.uk/optical-calculations/calculation-depth-of-field.html>

3.5 Osjetljenje

Uspjeh inspekcije objekta putem sustava strojnog vida prvenstveno ovisi o kontrastu. Kako bi se postigao optimalan kontrast, potrebno je ispravno osjetljenje snimljenog objekta. Dodatno osjetljenje objekata jamči konstantu dostatne razine osjetljenja objekta. Izbor izvora svjetla ovisi o optičkim svojstvima objekta čiju sliku želimo snimiti. Izvori svjetla razlikuju se prema tehnologiji i geometriji izvora. Na donjoj lijevoj slici (Slika 50) je matica osvijetljena čitavim spektrom svjetla. Brtveni prsten također bi trebao biti vidljiv na slici. Međutim, gotovo se ne razlikuje od okolnog područja jer je kontrast na tom mjestu preslab. Koristeći dodatni crveni filter na izvoru svjetla postizemo to da je područje osvijetljeno uglavnom plavim svjetlom čime se ističe brtveni prsten. Slika snimljena na taj način omogućuje automatsko prepoznavanje brtvenog prstena.



Slika 50: Osjetljenje čitavim spektrom te koristeći dodatni crveni filter.[12]



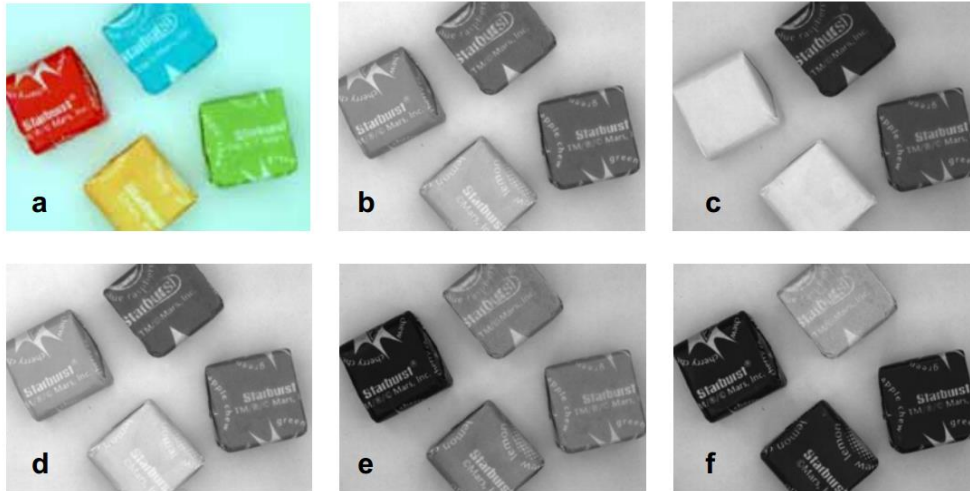
Slika 51: Promjena osjetljenja može povećati mogućnost raspoznavanja natpisa na desnoj slici.[7]

Sljedeći izvori svjetla sada se često koriste kao dodatno osvjetljenje:

- Fluoroscentno svjetlo
- Quartz Halogen – optička vlakna
- LED - *Light Emitting Diode*
- Metal Halide (živa)
- Xenon
- High Pressure Sodium (visokotlačni natrij)

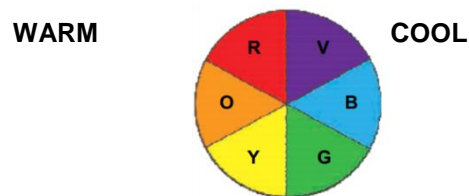
Fluoroscentno svjetlo, quartz-halogen i LED su najčešće korištene vrste rasvjete u strojnom vidu, posebno za inspeksijske stanice male do srednje veličine, dok su metal halid, xenon i visokotlačni natrij širokoj primjeni, odnosno u područjima gdje je potreban vrlo svijetao izvor. Ovisno o posebnim zahtjevima osvjetljenja, često se može koristiti i više vrsta izvora za osvjetljenje jednog objekta ili njegovog detalja. Pri odabiru odgovarajuće vrste izvora, važno je razmotriti ne samo svjetlinu izvora, već i njegov spektralni sadržaj. Slika 52 prikazuje spektralni sadržaj pojedinih izvora svjetlosti. U primjenama gdje je potreban veliki svjetlosni intenzitet (kontrola objekata koji se brzo kreću na pokretnoj traci), preporuča se uskladiti izvore dodatne svjetlosti sa spektralnom osjetljivošću vašeg senzora na fotoaparatu. Na primjer, fotoaparati sa sensorima CMOS su osjetljiviji na IR od fotoaparata sa sensorima CCD. Materijali apsorbiraju i/ili odražavaju različite valne duljine na različite načine. U analizi boja govorimo o spektru boja kojim se razlikuju tople i hladne boje.

Slika 52: Bomboni osvjetljeni različitim bojama.[13]



U odabiru izvora koji naglašava određenu boju na objektu, možemo dobiti diferencijalan kontrast između objekta i njegove pozadine. Slika 54 prikazuje bombone koji su osvjetljeni različitim bojama: u »a« bomboni su snimljeni pod bijelim svjetlom i korišten je CCD senzor, u »b« su snimljeni pod bijelim svjetlom te je korišten B&W senzor, u »c« su snimljeni pod crvenim svjetlom osvjetljavajući crvenu i žutu boju, a potamnjujući plavu i zelenu, u »d« su snimljeni pod crvenim i zelenim svjetlom osvjetljujući žute komade više nego crvene, u »e« se

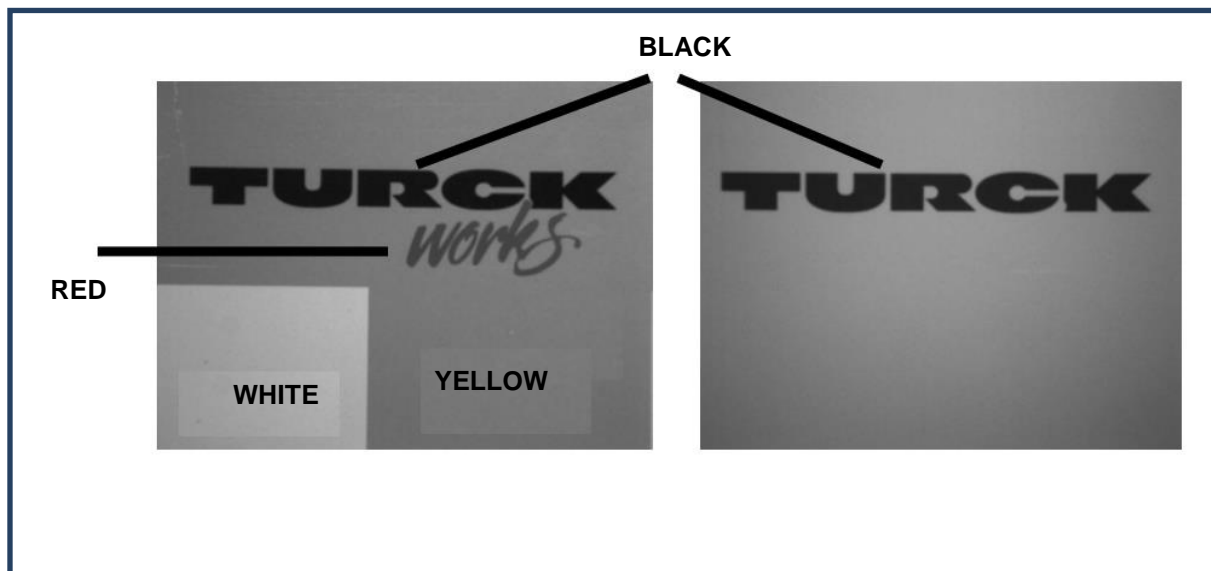
koristi zeleno svjetlo osvjetljujući zelenu i plavu, a potamnjujući crvenu, i u »f« se koristi plavo svjetlo, osvjetljujući plavu, a potamnjujući ostale.



Slika 53: Spektar boja.[13]

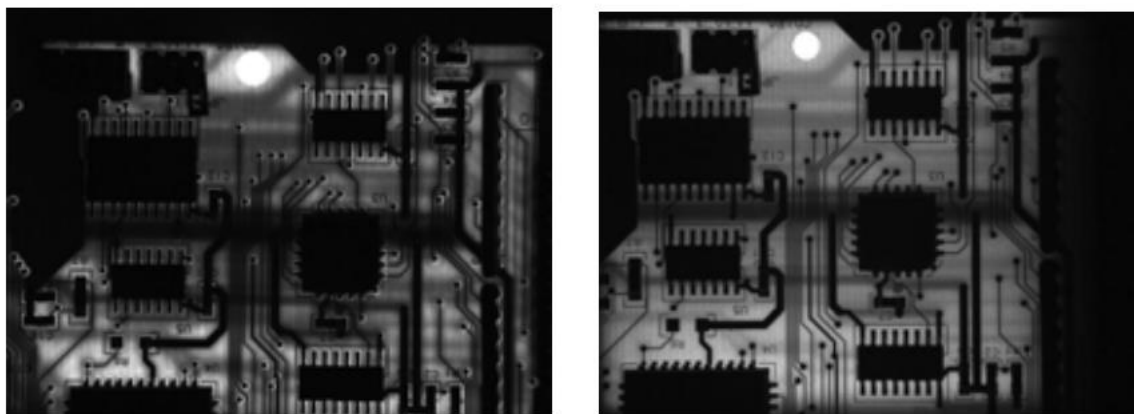
Materijal od kojeg se promatrani objekt sastoji utječe na apsorpciju i odražavanje određenih valnih duljina. Različiti materijali različito se ponašaju, bilo odražavajući ili apsorbirajući određenu valnu duljinu. Slika 55 pokazuje primjer boce motornog ulja čiji je fluorescentni tisak osvjetljen crvenom (na lijevoj strani) pa UV svjetlom (na desnoj strani).

IR svjetlo je uobičajeni izbor i može se koristiti u inspekciji iz različitih razloga. IR svjetlo je učinkovito u neutralizaciji kontrastnih razlika na temelju boje prvenstveno zato što se odraz IR svjetla temelji više na kompoziciji uzorka, nego na razlikama u boji. Na Slici 56 (desno) imamo primjer osvjetljenja IR svjetlom.



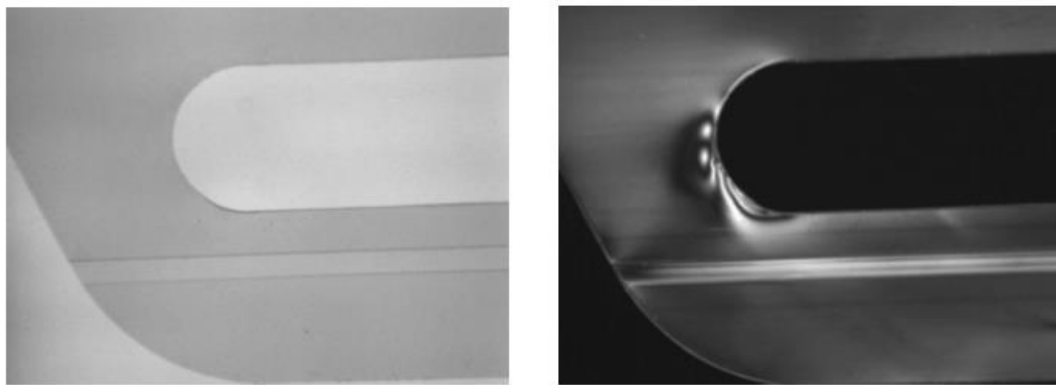
Slika 54: Lijevo – pod difuznim bijelim svjetlom. Desno - pod difuznim IR svjetlom.[13]

IR svjetlo vrlo učinkovito prodire kroz polimerne materijale. Na Slici 57 vidimo primjer dobrog prodiranja IR svjetla (desno), dok je prodiranje crvenog svjetla (lijevo) slabije. Glavna razlika vidi se na rupi, na vrhu u sredini tiskane ploče sklopa.

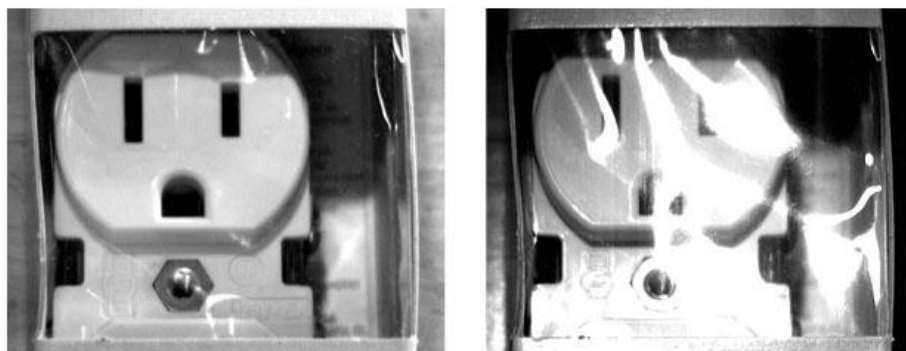


Slika 55: Lijevo - osvjetljenje crvenim svjetlom. Desno - osvjetljenje IR svjetlom.[13]

Polarizirajući filteri koriste se za otkrivanje razlika u mehaničkom oštećenju u inače prozirnim uzorcima (Slika 58) i za smanjenje odsjaja (Slika 59). U slučaju osvjetljenja, polarizirajući filteri trebaju se koristiti u parovima, jedan između svjetla i uzorka, a drugi između uzorka i fotoaparata. Slika 58 prikazuje zamjetnu razliku u otkrivanju oštećenja na držaču za paket od 6 limenki nakon stavljanja polarizirajućeg filtera. Jasno vidimo stresna polja na polimeru na desnoj slici. Slika 59 je prikaz smanjivanja odsjaja.

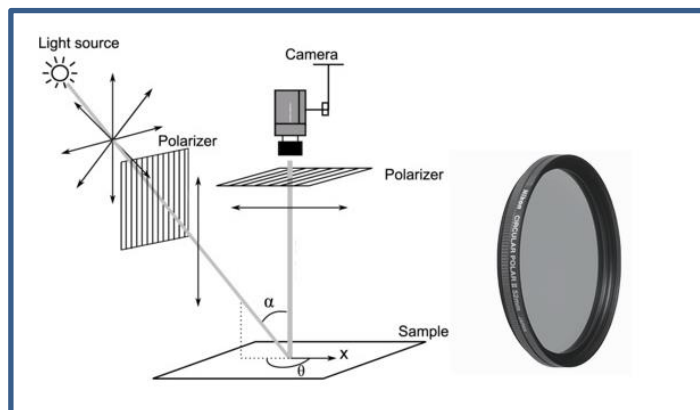


Slika 56: Transparentni držač limenki s dodatnim polarizirajućim filterima na desnoj strani.[13]



Slika 57: Smanjivanje odsjaja pomoću polarizirajućih filtera. [1]

Polarizirajući filteri funkcioniraju tako što sprječavaju određene valne duljine svjetla da uđu u leću. Pomoću polarizirajućeg filtera možemo usmjeriti svjetlo od njegova izvora do objekta, a zatim od objekta do fotoaparata.

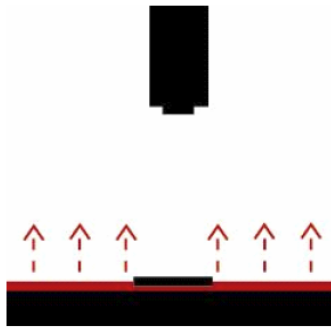


Slika 58: Polarizirajući filter.[1]

Tehnike osvjetljenja sastoje se od:

- Pozadinskog osvjetljenja
- Difuznog osvjetljenja
- Usmjerenog osvjetljenja ili svijetlog polja
- Tamnog polja

Primjena nekih tehnika zahtijeva poseban izvor svjetla i geometriju izvora svjetla. Većina proizvođača proizvoda osvjetljenja za strojni vid nude svjetla s različitim kombinacijama tehnika osvjetljenja dostupnih pri istom svjetlu, te barem u slučaju varijanti na temelju LED-a, svaka se tehnika pojedinačno obrađuje. Time se dobiva veća fleksibilnost jer omogućuje inspekcije na različitim objektima unutar jednog sustava strojnog vida. Pozadinsko osvjetljenje daje trenutačni kontrast jer stvara tamne siluete na svijetloj pozadini. Najčešće se koristi u otkrivanju prisutnosti/odsutnosti nekog objekta, rupe ili razmaka, ugrađivanju nekog dijela ili orijentaciji, ili u mjerenju objekata putem strojnog vida. Često je korisno upotrijebiti monokromatsko svjetlo. To je svjetlo od samo jedne valne duljine kao što je samo crvena, samo zelena ili samo plava.

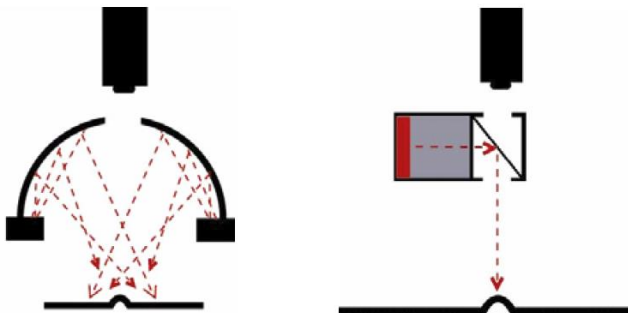


Slika 59: Tehnika pozadinskog osvjetljenja.[13]



Slika 60: Primjer plošnog izvora svjetlosti, svijetlo pozadinsko osvjetljenje.[14]

Tehnika difuznog osvjetljenja najčešće se koristi na sjajnim reflektirajućim uzorcima gdje želimo ispitati njihovu površinu, teksturu ili druga svojstva na relativno ravnim površinama. Da bi bili učinkoviti, difuzna osvjetljenja trebaju biti blizu uzorka.

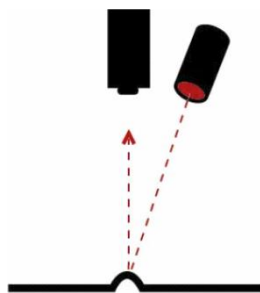


Slika 61: Dvije tehnike difuznog osvjetljenja.[13]



Slika 62: Primjer kupole za proizvodnju difuznog osvjetljenja.[14]

Usmjereno osvjetljenje je najčešće korištena tehnika osvjetljenja u primjeni strojnog vida kao i u svakodnevnom životu s obzirom na to da većina objekata koje promatramo su na taj način osvijetljena, bilo sunčevom svjetlošću ili, primjerice, stolnom lampom kod čitanja knjige. Ova tehnika stvara svijetlo polje s velikim kontrastom i time omogućuje inspekciju topografskih karakteristika objekta. Međutim ta tehnika nije prikladna za osvjetljavanje sjajnih površina jer one izrazito odražavaju svjetlost, stvarajući na tom mjestu presvijetlu sliku.

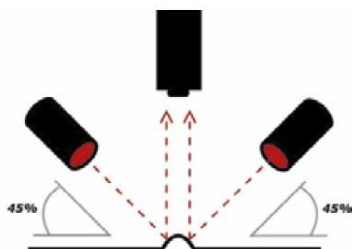


Slika 63: Usmjereno osvjetljenje ili svijetlo polje .[13]



Slika 64: Primjeri izvora usmjerenog osvjetljenja ili osvjetljenje svijetlog polja.[14]

Osvjetljenje tamnog polja je sličan princip kao kod osvjetljenja površine ceste automobilskim svjetlima. Svjetlo se snažno reflektira od svake male nesavršenosti na cesti. Izvori osvjetljenja tamnog polja uglavnom su oblika prstena s pričvršćenim LED diodama. Ovu vrstu osvjetljenja karakterizira nizak ili srednji upadni kut svjetla, i obično zahtijeva blizinu. Ova tehnika osvjetljenja povećava učinkovitost otkrivanja rupa, brazda i drugih karakteristika površine.

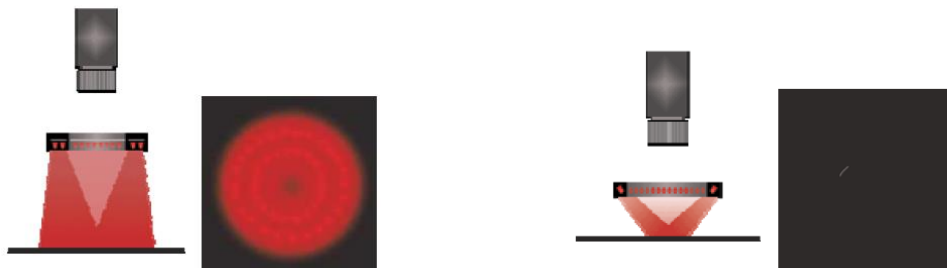


Slika 65: Tehnika osvjetljenja tamnog polja. [13]



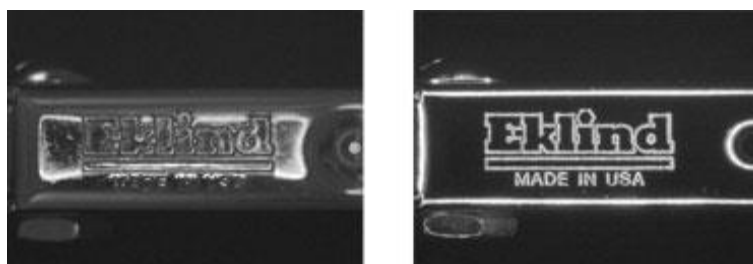
Slika 66: Primjeri izvora svjetla tamnog polja.[14]

Sljedeće slike (Slika 69) prikazuju razlike između tehnika osvjetljenja svijetlog polja i tamnog polja. Nakon ilustracije svake tehnike prikazana je slika kao odraz osvjetljene površine. Osvjetljenje tamnog polja na desnoj strani jasno otkriva ogrebotinu na površini osvjetljenog objekta.



Slika 67: Lijevo – slika u ogledalu svijetlog polja. Desno - slika u ogledalu tamnog polja; obratiti pažnju na ogrebotinu.[13]

Slika 70 prikazuje korištenje pojačanog kontrasta s ciljem da se razlikuje natpis kao dio tehnike osvjetljenja tamnog polja.

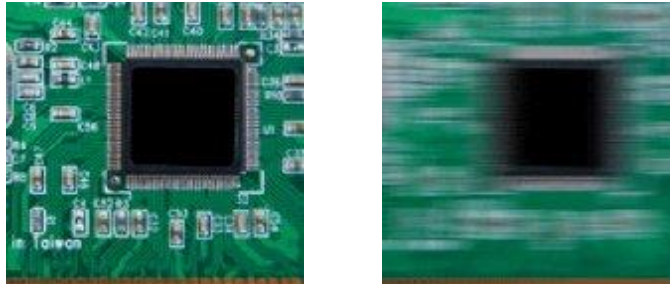


Slika 68: Lijevo – tehnika osvjetljenja svijetlog polja. Desno - tehnika osvjetljenja tamnog polja.[15]

3.6 Frekvencija okvira

Frekvencija okvira odnosi se na maksimalan broj slika dobiven u jednoj sekundi. U slučaju *rolling shutter-a* to se odnosi na brzinu zatvarača. Brzina okvira koju možemo uhvatiti u jednoj sekundi povezana je s trajanjem osvjetljenja senzora (vrijeme ekspozicije) potrebnim da se snimi slika. Što je duža ekspozicija za snimanje slike, to je manji broj slika koje mogu biti snimljene u jednoj sekundi. Prilikom snimanja objekata u pokretu, na primjer u inspekciji proizvoda na pokretnoj traci, ključno je vrijeme potrebno za snimanje slike. Vrijeme mora biti dovoljno kratko da se izbjegne mutna kretanja, ali da se postigne brzo snimanje slike, objekt mora biti dovoljno osvijetljen. Na donjoj Slici 71 prikazan je primjer čipa senzora na sporoj pokretnoj traci snimljen s kratkom i dugom ekspozicijom.

The learning material was produced within the project skillME, co-funded by European Union - Erasmus+ Programme.



Slika 69: Lijevo: kratka ekspozicija. Desno: duga ekspozicija.[2]

Većina modernih digitalnih fotoaparata koristi elektronske ili globalne zatvarače umjesto *rolling* zatvarača. Globalni zatvarač istovremeno otvara sve piksele na senzoru CMOS dok *rolling* zatvarač otvara piksele na senzoru serijski, postupno. Kako se pikseli izlažu red po red s vremenskim odmakom, to može rezultirati izobličenom slikom.



Slika 70: Lijevo – slika snimljena globalnim zatvaračem. Desno – slika snimljena rolling zatvaračem.[2]

4 ALATI ZA DIGITALNU OBRADU SLIKE

Dobavljači uređaja u području strojnog vida nude dvije skupine proizvoda. Prva grupa se sastoji od sustava strojnog vida. U sustavima strojnog vida, fotoaparat i računalo za digitalnu obradu slike ima dvije neovisne i odvojene jedinice koje su namijenjene prvenstveno za obradu kompleksnih slika u posebnoj primjeni.



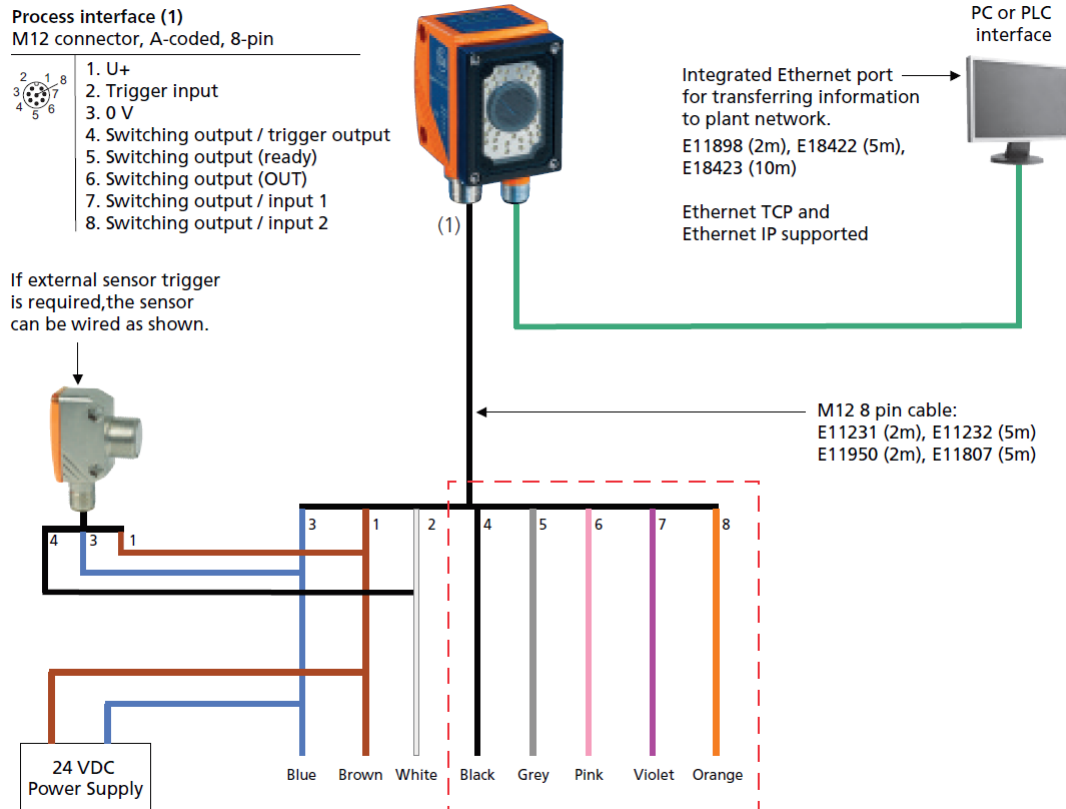
Slika 71: Sustav strojnog vida. [1]

Druga skupina sastoji se od kompaktnih fotoaparata s integriranim senzorom za sliku, lećom, dodatnim izvorom svjetla i procesorom za digitalnu obradu slike.



Slika 72: Kompaktni fotoaparata za strojni vid. [1]

Dobavljači fotoaparata nude softere posebno namijenjene za postavljanje parametara kompaktnih fotoaparata. Različiti dobavljači nude niz različitih softvera, ali osnovni princip je isti. Prvo što treba učiniti je uspostaviti vezu između kompaktnog fotoaparata i računala s instaliranim posebnim softverom. Većina fotoaparata komunicira putem Ethernet veze. Sljedeći



Slika 73: Primjer komunikacijskog sučelja industrijskog fotoaparata. [16]

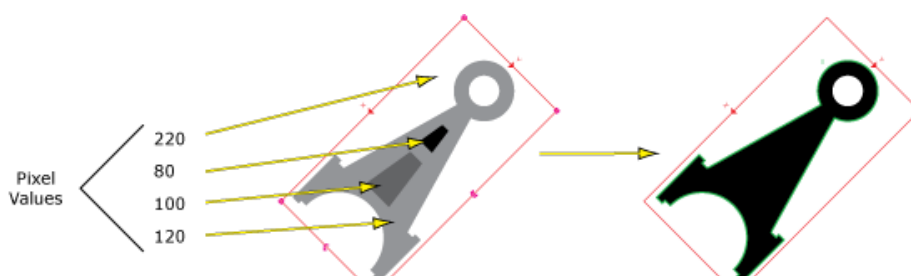
The learning material was produced within the project skillME, co-funded by European Union - Erasmus+ Programme.

korak je podešavanje pri čemu je važno posebnu pažnju posvetiti adekvatnom osvjetljenju objekta i postizanju velikog kontrasta u dijelu slike koji će se nadalje obrađivati. Sljedeći korak nakon toga je odabrati i postaviti odgovarajuće alate za digitalnu obradu slike ugrađene u softver fotoaparata. Posljednji korak je postaviti komunikacijsko sučelje između fotoaparata i PLC-a, računala ili robota.

Alati za digitalnu obradu slike koji su dio softvera za pokretanje fotoaparata su slični, bez obzira na dobavljača. Ti alati sadrže funkcije za obradu i propuštanje određenih karakteristika koje su ključne u smislu alatova odlučivanja. Te funkcije su: BLOB (Binary Large Object) (binarni veliki objekt), Color (Boja), Edge (Rub), Flaw Detection (otkrivanje nedostataka), Histogram, ID, Image (slika), OCV/OCR and Pattern Match (uparivanje obrazaca) (preuzeto s InSight softvera[1]).

Blob

Dvodimenzionalno područje u kojemu su svi pikseli jednake vrijednosti naziva se blob. Izvlačenje tih regija zove se blob analiza. Slika 76 prikazuje blob analizu s graničnom vrijednošću postavljenom na 150. Svi pikseli čija je vrijednost iznad 150 su obojani u bijelo nakon blob analize, a oni čija je vrijednost ispod 150 su obojani u crno. Na ovaj način se objekt raspoznaje od svoje pozadine.

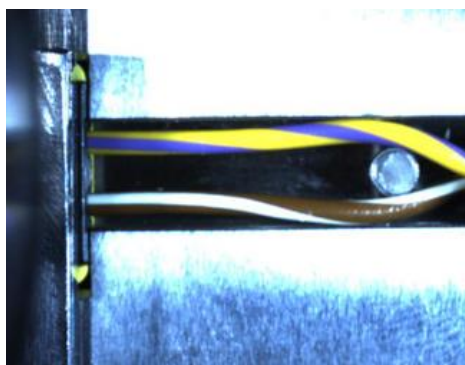


Slika 74: Primjer blob analize.[1]

The learning material was produced within the project skillME, co-funded by European Union - Erasmus+ Programme.

Color/Boja

Ovaj alat koristi se za analizu snimljene slike objekta na temelju boja. Sljedeća slika prikazuje električni priključak na senzor zračnog jastuka. Korištenjem funkcije boje možemo analizirati snimljenu sliku u fazi instaliranja i potvrditi prisutnost električnih vodiča te osigurati njihovo ispravno priključivanje.

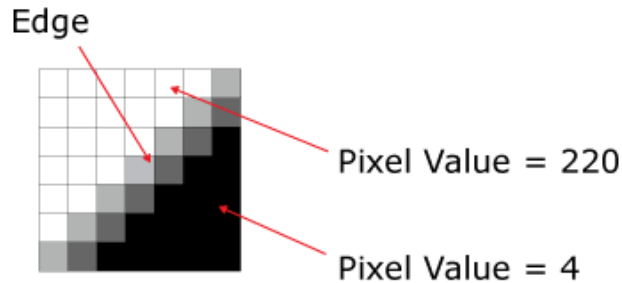


Slika 75: Color analiza priključka senzora zračnog jastuka u fazi instaliranja.[1]

Edge/Rub

Ovaj alat otkriva rubove slike. Područje gdje je došlo do nagle promjene u vrijednosti susjednih piksela obilježeno je kao rub.

Prilikom lociranja rubova, možemo odabrati područje pretrage u obliku pravokutnika na

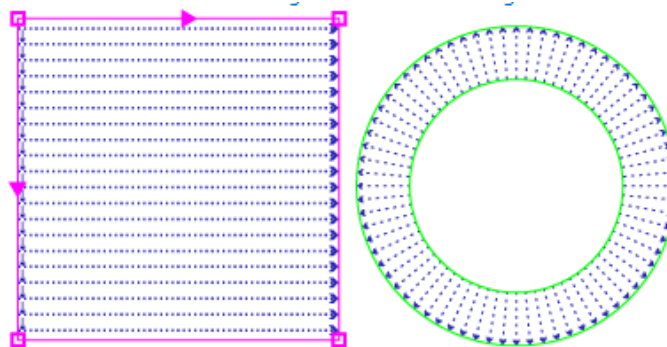


Slika 76: Primjer područja snimljene slike gdje izrazito variraju vrijednosti susjednih piksela. [1]

primjer, ili u području između dvije koncentrične kružnice. Također se može odabrati smjer u kojem ćemo tražiti rubove.

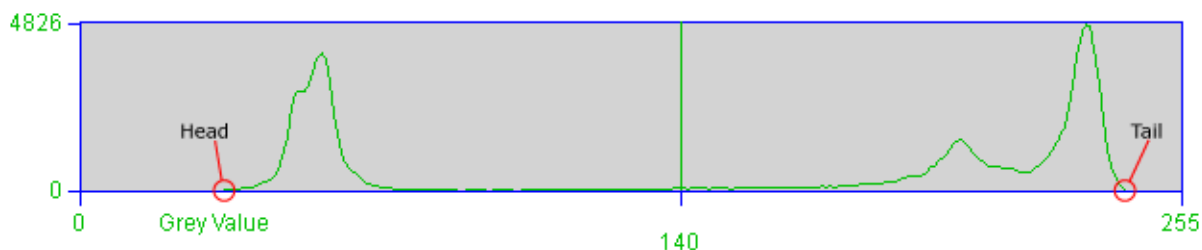
Histogram

Histogram je grafički prikaz raspodjele piksela prema vrijednostima. Slika 80 prikazuje



Slika 77: Smjer pretrage i područje pretrage.[1]

histogram slike s vrijednošću piksela od 0 do 255. Histogram predstavlja dvije velike skupine piksela, jedna je bliža vrijednosti 0, a druga je bliža vrijednosti 255. Međutim, pozicija piksela na snimljenoj slici nije očita iz histograma. Histogram analiza je korisna za otkrivanje oštećenja i prljavštine na homogenom objektu u boji ili na homogenom području objekta u boji. Histogram također daje informacije o osvjetljenju snimljene slike.



Slika 78: Primjer histograma.[1]

ID

ID alat čita i analizira različite 1D ili 2D barkodove.



Datamatrix Code



QR Code



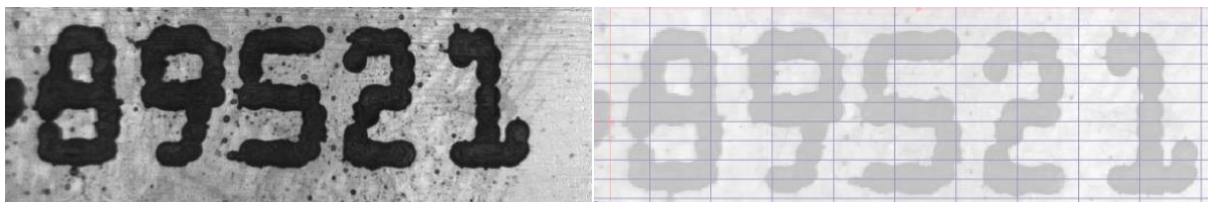
Slika 79: 2D barkod i 1D barkod.[1]

Flaw detection / Otkrivanje nedostataka

Otkrivanje nedostataka je alat za detaljnu analizu obrazaca snimljene slike s ciljem da se otkriju male promjene u izgledu proizvoda koji može upućivati na nedostatak. Otkrivanjem nedostataka traže se promjene u obrascima i snimljene slike uspoređuju s referentnim modelom. Tada se dobiva vrijednost odstupanja u postotcima.

Image/Slika

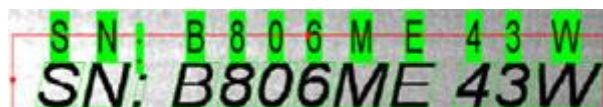
Image je alat koji omogućuje obradu snimljene slike. Ta se obrada u većini slučajeva odnosi na različite filtere. Na donjoj Slici 82 vidi se postupak korištenja digitalnog filtera za uklanjanje crnih mrljica pokraj brojeva. Glavni razlog za korištenje filtera je pojačavanje kontrasta i smanjenje buke na snimljenoj slici.



Slika 80: Korištenje digitalnog filtera za uklanjanje crnih mrljica.[1]

OCV/OCR

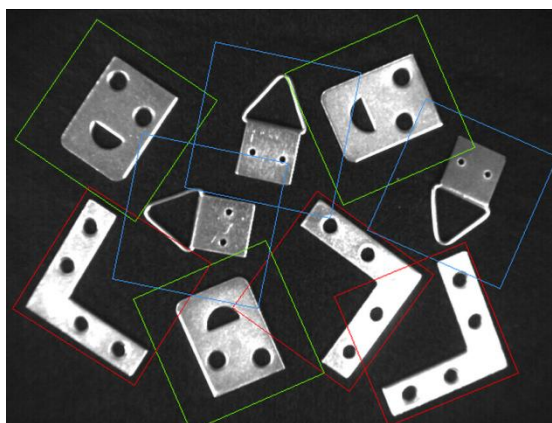
Ovaj alat može pročitati niz znakova prema naučenom tekstovnom formatu.



Slika 81: Prepoznavanje znakova prema naučenom tekstovnom formatu.[1]

Pattern Match /Uparivanje obrazaca

Ovaj alat prepoznaje objekt na temelju njenih obrisa tako što ga uspoređuje s referentnim modelom. Taj alat promatra rubove objekta.

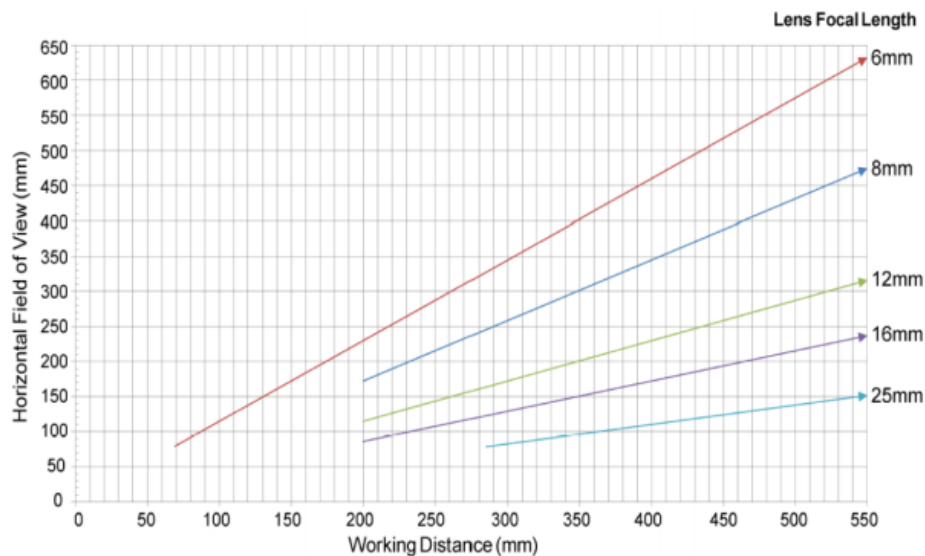


Slika 82: Prepoznavanje objekta na temelju otkrivanja vanjskih rubova i uspoređujući ih s referentnim modelom.[1]

5 VJEŽBE

Teoretske vježbe

Fotoaparat ima leću sa žarišnom duljinom od 16mm, a promatrani objekt je 200 mm x 150 mm. Koja je radna udaljenost na kojoj moramo postaviti fotoaparat? Upotrijebi donji grafikon.



Udaljenost između objekta i fotoaparata je 400 mm, a žarišna duljina leće je 12 mm. Spediciraj horizontalno vidno polje (u mm).

Rezolucija fotoaparata je 800 x 600 pix, a radna udaljenost je 700 mm. Promatrani objekt ima rupu promjera 20 mm. Koliko je piksela na duljini promjera?

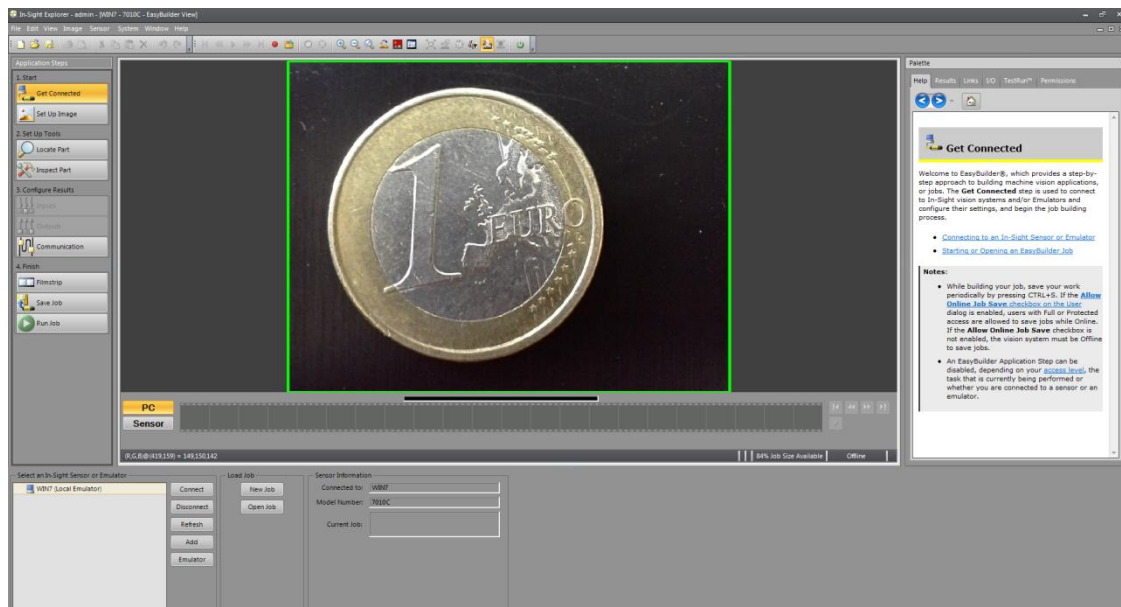
Koja je minimalna brzina frekvencije okvira ako je maksimalno vrijeme obrade slike 37 ms?

Praktične vježbe

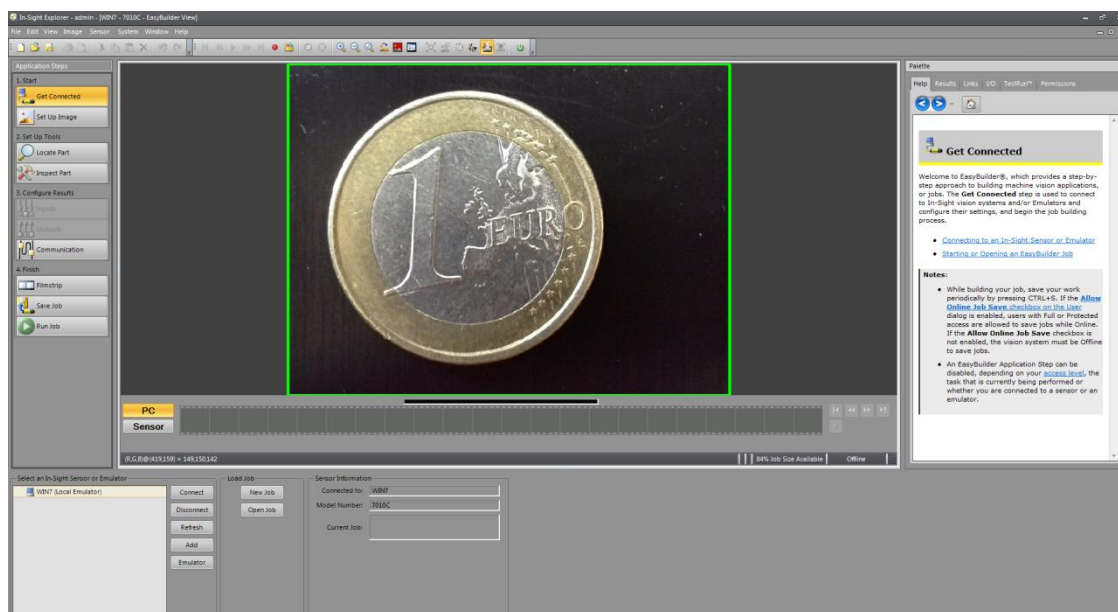
Snimite slike nekoliko kovanica – dva eura, jedan euro, pedeset centi, dvadeset centi i deset centi s odabranim industrijskim ili digitalnim fotoaparatom.



Slika 83: Snimljene slike kovanica.



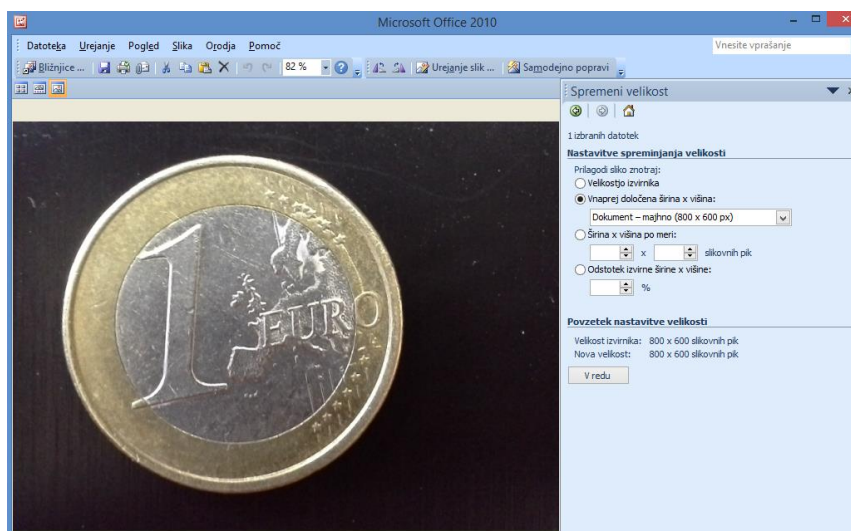
- (I) Odaberite softverski alat za postavljanje parametara na industrijskom fotoaparatu. Možete koristiti softver koji omogućuje rad bez priključka na industrijski fotoaparatus i s ugrađenim emulatorom fotoaparata. S takvim softverskim alatom možete odraditi sve postavke i testove bez priključivanja na fotoaparatus.



Slika 84: Softver za postavljanje fotoaparata i emulatora fotoaparata.

Prije unošenja slika u softverski alat, slike mora biti ispravno izrezane i smanjene veličine.

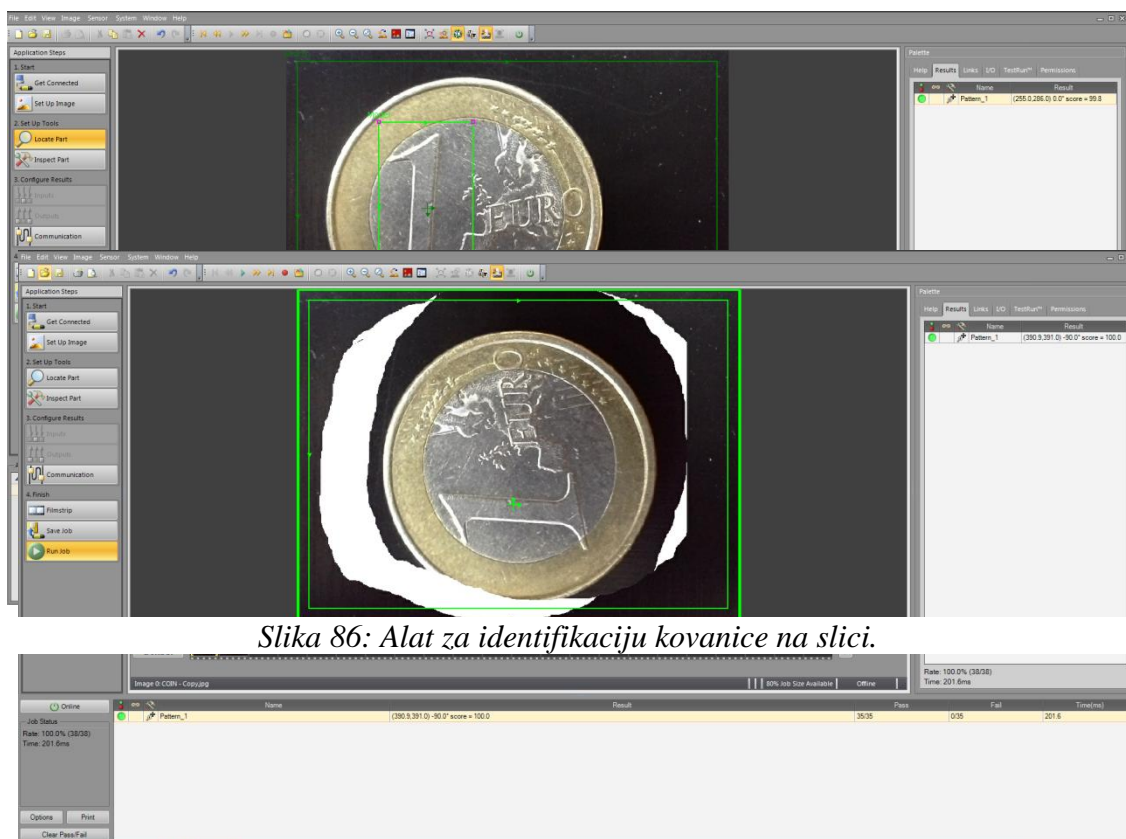
Možete koristiti alat za uređivanje slike koji je dio Microsoft Office paketa.



Slika 85: Alat za uređivanje slike

The learning material was produced within the project skillME, co-funded by European Union - Erasmus+ Programme.

Definirajte osnovna svojstva kovanica na temelju kojih će sustav strojnog vida odrediti vrijednost kovanica. Možete koristiti alat za lociranje obrasca.



Slika 86: Alat za identifikaciju kovanice na slici.

Slika 87: Primjer prepoznavanja obrasca usprkos drugačijoj poziciji.

Ako su slike snimljene digitalnim fotoaparatom, slike kovanica možete uhvatiti u drugim pozicijama ili koristiti alat Paintbrush za izradu nove slike kovanice u drugoj poziciji. Tako redizajnirana slika može se zatim uvrstiti u emulator i testirati prepoznavanje vrijednosti unatoč tomu što je kovanica u drugoj poziciji.

Definirajte osnovna svojstva objekta na temelju kojih će sustav prepoznati oštećeni rub kovanice.



Slika 88: Prepoznavanje oštećenog ruba kovanice.

Definirajte osnovna svojstva na temelju kojih će sustav prepoznati strani objekt među euro kovanicama. Mogući strani objekti su žeton za automate, žeton za kolica u trgovinama, kovanica neke druge valute ili podloška M16.



Slika 89: Strani objekt među euro kovanicama.

6 REFERENCE

- [1] Cognex. <http://www.cognex.com> [14.4.2016]
- [2] Edmund. <http://www.edmundoptics.com/> [14.4.2016]
- [3] Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Image_resolution [14.4.2016]
- [4] Norman Koren. <http://www.normankoren.com/Tutorials/MTF5.html> [14.4.2016]
- [5] Micron. https://www.1stvision.com/cameras/IDS/dataman/MT9M131_PB.pdf [14.4.2016]
- [6] Opto-engineering. <http://www.opto-engineering.com> [18.4.2016]
- [7] Keyence <http://www.keyence.com/usa.jsp> [3.5.2016]
- [8] Cambridge in color <http://www.cambridgeincolour.com> [4.5.2016]
- [9] Pinterest <https://www.pinterest.com> [4.5.2016]
- [10] <http://www.beginner-photography.com/> [4.5.2016]
- [11] <https://damienfournier.co/dof-and-aperture/> [4.5.2016]
- [12] National Instruments <http://www.ni.com/white-paper/6902/en/> [4.5.2016]
- [13] Graftek <http://www.graftek.com/pdf/Marketing/MachineVisionLighting.pdf> [9.5.2016]
- [14] Tpl <http://www.tpl-vision.com/products/> [12.5.2016]
- [15] Microscan <http://www.microscan.com> [16.5.2016]
- [16] Ifm https://www.ifm.com/img/vision_sensors_us.pdf [16.5.2016]