

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO

Mirko Šalej

**Uporaba strojnega vida pri proizvodnji elektronskih
števcev**

MAGISTRSKO DELO

Mentor:
prof. dr. Stanislav Kovačič

Ljubljana, 2005



Številka naloge: M-1026/2005

Datum: 3. 2. 2005

Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **Mirko ŠALEJ**, univ. dipl. inž. el.

Naslov: **UPORABA STROJNEGA VIDA PRI PROIZVODNJI
ELEKTRONSKIH ŠTEVCEV**

Vrsta naloge: Magistrsko delo

Tematika naloge:

Števci so zahtevni merilni instrumenti, ki morajo v svoji življenjski dobi čimbolje opravljati svojo funkcijo. Vse ostrejšje zahteve kupcev, ki v zadnjem času zahtevajo poleg najvišje kakovosti izdelka tudi vpogled v proizvodnjo, terjajo od proizvajalcev uvajanje objektivnih in sledljivih postopkov za zagotavljanje kakovosti. Veliko možnosti za zagotavljanje kakovosti ponuja tudi strojni vid.

V okviru magistrske naloge proučite možnosti uvajanja in uporabe strojnega vida na posameznih delovnih operacijah pri proizvodnji elektronskih števcov. S tega stališča opravite podrobno analizo posameznih delovnih mest ter jih ekonomsko in tehnološko ovrednotite. Predlagajte tudi primeren pristop k uvajanju strojnega vida v proizvodni proces.

Mentor:

prof. dr. Stanislav Kovačič

Predstojnik katedre:

prof. dr. Rihard Karba



Dekan:

prof. dr. Tomaž Slivnik

Zahvala

Zahvaljujem se podjetju ISKRAEMECO, d.d. v katerem sem zaposlen in ki mi je omogočilo študij ter opravljanje raziskav, ki so bile potrebne za izdelavo magistrske naloge.

Zahvaljujem se tudi mojemu mentorju prof. dr. Stanislavu Kovačiču za usmerjanje in vodenje pri izdelavi magistrske naloge.

Zahvala velja tudi moji družini za potrpljenje in moralno podporo v času študija.

Mirko

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	3
1. Uvod	5
2. Osnove strojnega vida	7
2.1 Kaj je strojni vid	7
2.2 Namen uporabe strojnega vida	10
2.3 Osnovni gradniki	11
2.3.1 Osvetlitev	11
2.3.2 Objektivni	12
2.3.3 Kamere	13
2.3.4 Enota za procesiranje	14
2.3.5 Programska oprema	15
2.3.6 Konstrukcija	15
2.4 Tehnika osvetlitve	16
3. Projektno osvajanje sistema s strojnim vidom	19
3.1 Definiranje zahtevnika in odločitev o projektu	20
3.2 Projektni tim	22
3.3 Specifikacija projekta	23
3.3.1 Tehnične rešitve	23
3.3.1.1 Analiza sestava	24
3.3.1.2 Merjenje razdalje	25
3.3.1.3 Določanje položaja objekta	26
3.3.1.4 Odkrivanje napak	26
3.3.1.5 OCR / OCV	26
3.3.1.6 Linijsko zajemanje slike	27
3.3.2 Zgradba sistema	28
3.3.3 Konstrukcijska rešitev	28
3.3.4 Ekonomska upravičenost projekta	28
3.4 Terminski plan	30

3.5 Verifikacija projektne dokumentacije	31
3.6 Naročilo (izdelava) sistema.....	31
3.7 Implementacija sistema.....	34
4. Analiza strojnega vida pri proizvodnji elektronskih števecov	37
4.1 Proces izdelave elektronskih števecov	37
4.1.1 Izdelava podsestavov	39
4.1.2 Opremljanje tiskanih vezij	41
4.1.2.1 Vstavljanje SMD komponent.....	41
4.1.2.2 Vstavljanje THT komponent.....	44
4.1.2.3 Dodelava	45
4.1.2.4 Kontrola tiskanih vezij.....	45
4.1.3 Končna montaža.....	46
4.1.3.1 Sestavljanje števca	46
4.1.3.2 Umerjanje števca.....	46
4.1.3.3 Parametriranje	47
4.1.3.4 Končna kontrola	47
4.1.4 Kakovostne zahteve	47
4.2 Analiza strojnega vida na posameznih operacijah	48
4.2.1 Kontrola sestave številčnika.....	49
4.2.2 Bondiranje silicijeve tabletko.....	52
4.2.3 Kontrola vstavljenih komponent tiskanega vezja	55
4.2.4 Kontrola končne montaže števca	57
4.2.5 Preverjanje mostičkov pri pakiranju	60
5. Uvedba strojnega vida pri registraciji številčnika in delovanju displeja	63
5.1 Proces izdelave števca na liniji ME160	63
5.2 Primer projektnega osvajanja.....	66
5.2.1 Začetek projekta.....	66
5.2.2 Izdelava zahtevnika.....	66
5.2.3 Projektni tim.....	71
5.2.4 Specifikacije projekta.....	71
5.2.4.1 Zahtevnik	72
5.2.4.2 Tehnične rešitve	73

5.2.4.3 Zgradba sistema.....	77
5.2.4.4 Konstrukcijska rešitev	78
5.2.4.5 Ekonomska upravičenost projekta.....	79
5.2.5 Terminski plan.....	80
5.2.6 Verifikacija projektne dokumentacije	81
5.2.7 Naročilo (izdelava) sistema	81
5.2.8 Implementacija projekta	84
6. Zaključek.....	89
Literatura	91
Izjava	93
Strokovni življenjepis avtorja	95

Povzetek

Magistrsko delo obravnava možnost uporabe strojnega vida pri proizvodnji elektronskih števec. Števci so zahtevni merilni instrumenti, ki morajo v svoji življenjski dobi čim kvalitetnejše opraviti svojo funkcijo. Kupci v zadnjem času zahtevajo, poleg zagotavljanja najvišje kakovosti izdelave, tudi vpogled v proizvodnjo. Zanima jih, kakšen vpliv na kvaliteto ima človeški faktor, kako zagotavljamo sledenje materiala, na kakšen način rešujemo sistemske napake, itd. Te ostre zahteve kupcev terjajo od proizvajalcev uporabo proizvodnih in kontrolnih postopkov, na katere ne vpliva človeški faktor. Eden od teh postopkov je zagotovo uporaba strojnega vida.

Drugo poglavje predstavlja osnovna izhodišča uporabe strojnega vida in njegovih gradnikov. Tretje poglavje opisuje postopek projektnega osvajanja sistema s strojnim vidom. Posamezne aktivnosti, ki nastopajo v času izvajanja projekta, so prikazane na enostaven in razumljiv način in ne terjajo od izvajalca posebnega znanja strojnega vida. V četrtem poglavju je opisan proces izdelave elektronskih števec. Podrobno so obdelane tiste delovne operacije, katere bi lahko nadomestili s strojnim vidom. Predlagana delovna mesta so tudi tehnično in ekonomsko ovrednotena. V petem poglavju je prikazan primer projektnega osvajanja, ko smo pri registraciji številčnika in delovanju displeja uporabili strojni vid. Uporabili smo predlagani način iz poglavja tri in ga preizkusili v praksi. Opisana so tudi določena opažanja in ugotovitve.

Ključne besede: strojni vid, projektno vodenje, elektronski števec

Abstract

This masterwork discusses the opportunity of using the machine vision by the electronic meters production. Electronic meters are complicated measure instruments that are expected to do their work as quality as possible when they are in function. In the latest time, customers require not only the highest quality of production, but an insight into production, too. Customers are interested in many aspects of production; for example: the influence of human factor upon quality, assurance of tracing the material, the way of saving the system failures, etc.. These sharp requirements directed the producers to use such production and control procedures, which are not influenced by human factor. One of such procedures is certainly the use of the machine vision.

The second chapter shows the basic points of using the machine vision and its constituents. The third chapter shows the procedure of project work of the system by machine vision. Single activities of the project are presented in the simple and understandable way and they do not require special knowledge of machine vision. The fourth chapter describes the production of electronic meters. Working procedures, which could be replaced by machine vision, are presented in details. Suggested working places are evaluated by technical and economic means. The fifth chapter shows an example of project work, when the machine vision was used by registration of mechanical counter and working of display. So the recommended mode from chapter three was used in practice. Some remarks and findings are also described.

Key-words: machine vision, project management, electronic meter

1. Uvod

Uporabnost strojnega vida iz dneva v dan bolj narašča, saj njegovi gradniki postajajo cenovno vse bolj dostopni, pa tudi izbira na trgu je vse večja.

Cilj magistrske naloge je preveriti možnost uporabe strojnega vida na posameznih delovnih operacijah pri proizvodnji elektronskih števec. Hkrati je potrebno predstaviti najustreznejši način vpeljave takih sistemov v proizvodni proces. V ta namen je potrebno podrobno analizirati posamezna delovna mesta ter jih ekonomsko in tehnično ovrednotiti. Predlagati in opisati je potrebno tudi postopek projektnega osvajanja sistemov strojnega vida.

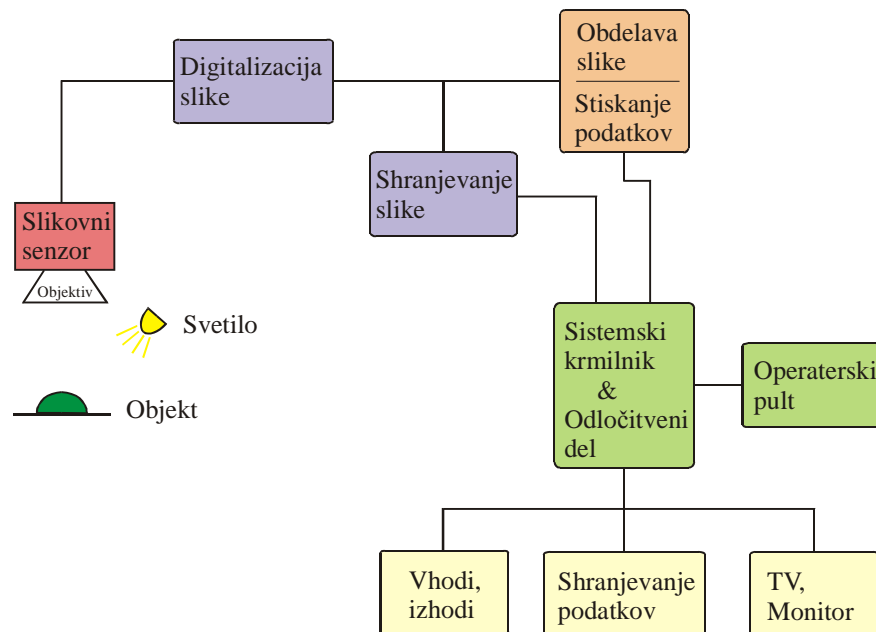
Namen magistrske naloge je približati strojni vid širšemu krogu strokovnjakov s predlaganim načinom projektnega osvajanja. Tako strojni vid ne bi bil samo domena ozkega kroga posameznih ekspertov. S tem bi povečali uporabnost sistema, kar bi se hkrati odražalo v boljši kvaliteti izdelave, v naprednejši tehnologiji, v večjem zaupanju kupcev in na koncu tudi v večji konkurenčnosti podjetja.

2. Osnove strojnega vida

2.1 Kaj je strojni vid

Strojni vid je področje, ki se ukvarja z avtomatičnim tolmačenjem prizora na podlagi zajetih slik za vodenje procesov in naprav (povzeto po AIA – Automated Imaging Association, 1985). Predstavlja strokovni izraz, ki povezuje eno ali več senzorskih tehnik z računalniško tehnologijo. Tipično senzor pridobi elektromagnetno energijo iz prizora in jo spremeni v energijo slike, ki jo uporabi računalnik. Računalnik iz slike izloči podatke, jih primerja s tistimi v svojem pomnilniku in na izhod pošlje svoj odgovor.

Strojni vid predstavlja tehnologijo, ki prispeva k izboljšanju produktivnosti in kakovosti proizvodnega procesa v določeni industriji.



Slika 1: Blok shema osnovnega sistema s strojnim vidom

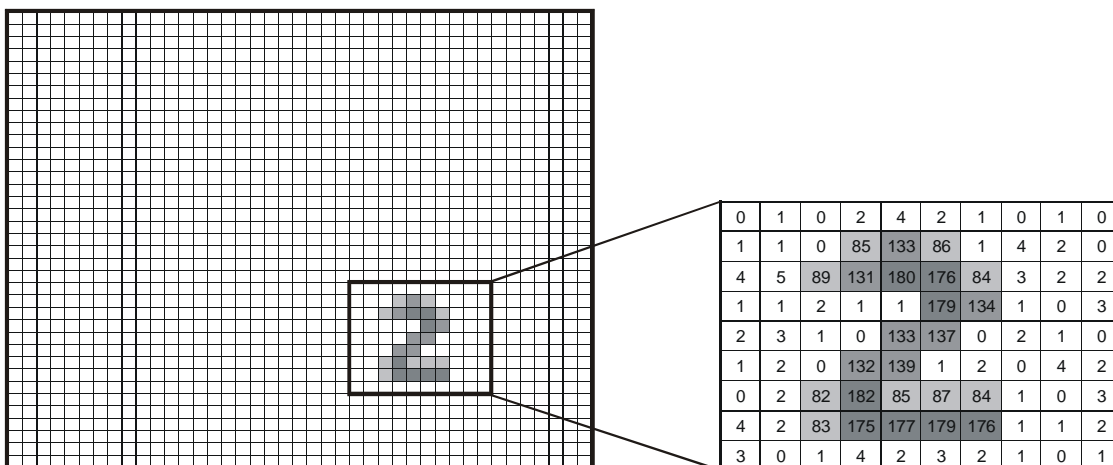
Osnovni sistem strojnega vida vsebuje naslednje komponente (povzeto po N. Zuech, *Understanding and Applying Machine Vision*, 2000):

- *osvetlitev*; ustrezen izvor svetlobe

- *optika*; del slikovnega senzorja oz. kamere
- *slikovni senzor*; pretvori sliko v električni signal
- *A/D pretvornik*; vzorči in kvantizira analogni signal (nekateri kamere imajo digitalni izhod, zato ga posebej ne potrebujejo)
- *slikovni procesor*; programska in strojna oprema za obdelavo slike
- *računalnik*; odločitveni del in krmilnik
- *operaterski vmesnik*; tipkovnica, pult in podobno, ki služi za vmesnik med operaterjem in sistemom
- *vhodi/izhodi*; komunikacija med sistemom strojnega vida in ostalim procesom
- *displej*; prikazovalnik oz. monitor za vizualno opazovanje prizora

Osnovni sistem strojnega vida lahko opišemo z blok shemo [2] prikazano na sliki 1. Posamezna operacija lahko pripada različnemu modulu. Tako lahko npr. A/D konverter pripada slikovnemu procesorju ali pa je vgrajen kar v samo kamero.

In kako deluje strojni vid? V vseh primerih najprej pretvori sliko prizora v digitalno obliko. Torej 3D (tridimenzionalen) prizor se pretvori v 2D (dvodimenzionalno) ploskev, ki je sestavljena iz polja končnega števila elementov, ki jim pravimo piksli. Število pikslov po X in Y osi predstavljajo ločljivost slike. Pikel predstavlja tudi najmanjši razločljiv element slike (slika 2).



Slika 2: Slika sestavljena iz matrike pikslov

Kvaliteta slike je neposredno povezana s številom pikslov po osi X in Y. Več je teh pikslov, boljša ločljivost slike je in manjše predmete je možno zaznati na sliki. Tipične vrednosti za velikost slike so 640 x 480 pikslov in 1024 x 768 pikslov. Vsak piksel pa nosi tudi informacijo o svetlosti oz. jakosti piksla. Pri 8 bitnem podatku to pomeni 256 nivojev sivosti.

Digitalna slika je osnova za nadaljnje operacije strojnega vida. Sledi predobdelava slike (spreminjanje histograma, izločanje šuma,...) in razgradnja slike (upravljanje, določevanje oblik, razpoznavanje objektov,...). Naloga predobdelave je, da iz zajete slike napravi boljšo sliko, to je tako, ki je bolj primerna za nadaljnjo obdelavo (povzeto po S. Kovačič, *Strojni vid*, Skripta na podiplomskem študiju, 2002).

Histogram slike je dober pokazatelj kakovosti slike in nam predstavlja pogostost pojavljanja sivih nivojev na sliki [3]. Z njim lahko ugotovimo nepravilno osvetlitev, neostrost slike, preveliko prisotnost šuma itd. Histogram nam pomaga, da pri postavitvi sistema zagotovimo boljše pogoje oz. da pri obdelavi slike popravimo sliko.

Pri zajemanju slike žal zajamemo poleg koristnega signala tudi šum. To je praktično vse, kar ne želimo imeti na sliki. Šum odpravljamo oz. ga zmanjšujemo z glajenjem. Pri tem si pomagamo z različnimi filtri. Eden pogosto uporabljenih filtrov je Gaussov filter, ki predstavlja poseben primer glajenja z uteženim povprečenjem.

Eden od pomembnejših korakov pri analizi slike je tudi razgradnja slike. Glavni cilj je razdeliti sliko na tiste dele, ki imajo močno korelacijo z objektom ali območjem realnega sveta na sliki [1]. Pri razgradnji slike, kjer skušamo ločiti pomembne elemente od nepomembnih, se večkrat poslužujemo postopka upravljanja. To je operacija, ki večnivojsko sivinsko sliko prevede v dvonivojsko. Če želimo s tem ločevati predmete od ozadja, mora imeti slika za učinkovito upravljanje dober kontrast med predmeti in ozadjem.

Ko je slika ustrezno obdelana, sledijo operacije, s katerimi določamo oblike predmetov, razpoznavamo predmete, merimo razdalje, iščemo napake itd...

2.2 Namen uporabe strojnega vida

Hiter razvoj elektronike v zadnjih letih in padanje cen posameznih komponent sta povzročila, da so sistemi strojnega vida postali funkcionalnejši, cenovno ugodnejši in dostopni v širših okoljih. Glavne naloge, s katerimi se ukvarjajo sistemi strojnega vida so [2]:

- nadzor (mere, napake)
- verifikacija
- razpoznavanje
- identifikacija
- analiza lokacije (položaj, vodenje)

Nadzor nad merami se navadno uporablja za primerjavo med predpisano mero in izdelano mero, medtem ko z nadzorom napak skušamo odkriti nezaželene napake izdelka kot so napačna oblika in napačna pozicija. Z verifikacijo preverjamo, ali je bil postopek izdelave (montaže) pravilen. Razpoznavanje temelji na identifikaciji objekta na podlagi njegovega opisa, identifikacija pa proces identificiranja simbolov na objektu. Z analizo lokacije lahko ugotovljamo položaj objekta, če pa preko povratne informacije vplivamo nazaj na proces, pa to imenujemo vodenje.

Najbolj pogosta področja uporabe strojnega vida so:

- zagotavljanje kakovosti, merjenje
- robotika
- video nadzor
- obdelava dokumentov, OCR
- medicinska diagnostika
- biometrika
- nadzor prometa

Namen strojnega vida ni samo to, da bi nadomestil človeško silo na tistih področjih, kjer je delo monotono, preveč zahtevno, kjer je neprimerna okolica, temveč skuša tista področja nadgraditi še z dodatnimi funkcionalnostmi. Zavedati se moramo, da lahko z različnimi

vrstami osvetlitve in različnimi spektri svetlobe strojni vid zazna objekt popolnoma drugače kot človeško oko. In to je ena od prednosti, ki še povečuje njegovo možnost uporabe.

Kljub različnim področjem uporabe, pa še vedno glavno odločitveno točko pri uporabi predstavlja njegova ekonomska upravičenost.

2.3 Osnovni gradniki

Široko področje uporabe sistemov strojnega vida je pogojeno z različnimi zgradbami sistemov, pri katerih se gradniki razlikujejo od aplikacije do aplikacije. Vseeno pa lahko posamezne komponente teh sistemov uvrstimo v nekaj glavnih skupin:

- svetila
- objektivni
- kamere
- enota za procesiranje
- programska oprema
- konstrukcija

2.3.1 Osvetlitev

Primerna osvetljenost opazovanega predmeta je nujen predpogoj, da lahko zajamemo kvalitetno sliko. Z načinom in vrsto osvetlitve skušamo tudi poudariti pomembne parametre na objektu. Navadno nam obstoječa osvetlitev v prostoru, ki se nekontrolirano spreminja, nastopa kot motnja v procesu, zato je skušamo z izolacijo procesa (zatemnitev) čim bolj eliminirati.

Pomembni parametri pri osvetlitvi so:

- tip svetila (fluorescentna žarnica, halogenska žarnica, LED dioda, laserski snop,...)
- geometrija svetila (točkasto, difuzno, linijsko,...)
- tehnika osvetlitve (položaj svetila glede na kamero – s strani, zadaj, okrog kamere,...)

Osvetlitev je pogosto kritični segment strojnega vida in še tako sodoben sistem ne more nuditi kvalitetnih rezultatov v primerjavi s sistemom z ustrezno osvetlitvijo.

Zadnje čase se za procesiranje slik najbolj uporablja LED osvetlitev (slika 3). Razlog za to je:

- nizka cena
- fleksibilnost
- robustnost
- dolga življenjska doba

Obliko LED modulov je možno prilagoditi posamezni aplikaciji (linija, matrika, kolobar,...), obstajajo pa tudi različni barvni spektri diod.



Slika 3: LED modul

2.3.2 Objektiv

Brez objektiva je skoraj nemogoče zajeti sliko. V objektivu so namreč leče, ki prepuščajo in lomijo svetlobo. Najenostavnejši objektiv ima eno samo lečo, zahtevnejši pa veliko več. V objektivu pa niso samo leče, temveč je še ena pomembna stvar, to je zaslonka. Najpomembnejši parametri objektiva so:

- F-število
- goriščna razdalja (f)
- vidno polje (θ)
- nastavek

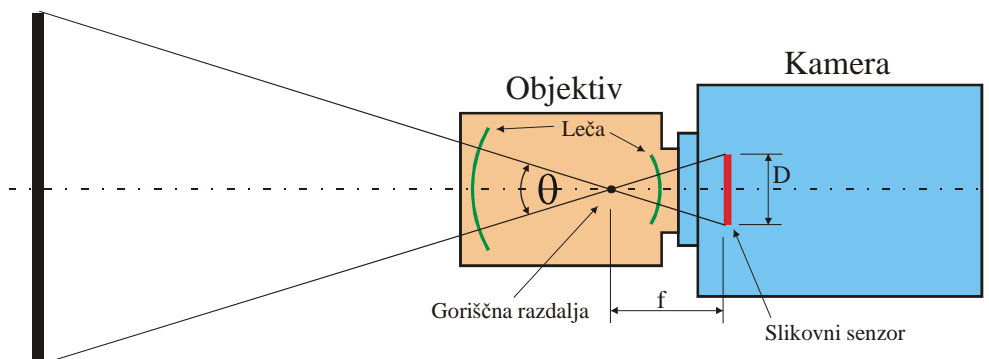
F-število podaja razmerje med goriščno razdaljo (f) in premerom leče (d). Od tega je odvisna svetlobna moč leče, ločljivost in globinska ostrina. Tipična vrednost se giblje med 1,4 in 2,8.

Z njim je povezana tudi skala na zaslonki (1,4 ; 2 ; 2,8 ; 4 ; 5,6 ; ...), ko z manjšanjem odprtine zaslonke večamo F-število. Povečanje F-števila za eno vrednost na obroču zaslonke pomeni zmanjšanje svetlobnega toka za polovico.

Goriščna razdalja (f) je razdalja od optičnega središča leče do gorišča in je tesno povezana z vidnim poljem (θ):

$$\theta = 2 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{2 \cdot f}$$

Kvaliteta posameznih leč v objektivu je povezana tudi z njihovimi napakami (astigmatizem, ukrivljenost polja, barvna napaka, distorzija). Na te napake moramo biti pozorni pri samem načrtovanju sistema, saj nekatere lahko odpravimo s kalibracijo. Na sliki 4 so prikazani pomembni parametri objektiva [5].

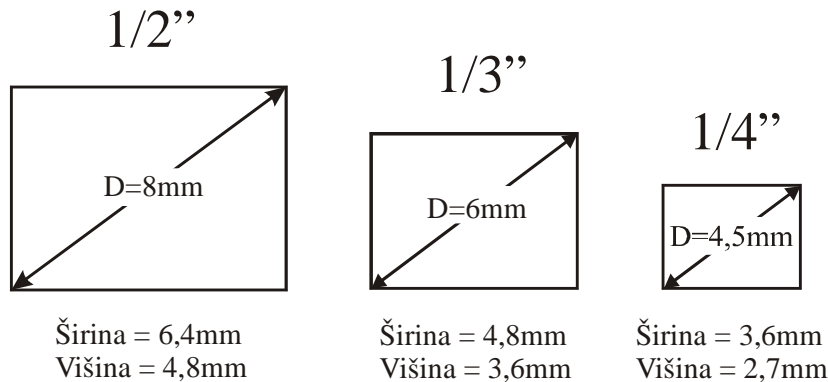


Slika 4: Model leče

2.3.3 Kamere

Kamera v strojnem vidu predstavlja vir slike. Njegova bistvena komponenta je svetlobni senzor, ki pretvarja svetlobo v električni signal. Največ se uporablja CCD (charge coupled device) senzor. V splošnem poznamo matrične in linijske kamere, te pa so lahko barvne ali črno bele.

Pri matričnih kamerah je senzor kvadratne ali pravokotne oblike. Sestavljen je iz določenega števila svetlobno občutljivih elementov, razporejenih v matrično strukturo. Pogosto razmerje med širino in višino je 4:3. Velikost senzorja (slika 5) podajamo v palcih; 1" , 2/3" , 1/2" , 1/3" , 1/4".



Slika 5: Velikosti slikovnih senzorjev

Pomemben parameter kamere je tudi ločljivost. V zadnjem času se na trgu največ pojavljajo matrične kamere z ločljivostjo 640 x 480 pikslov in 1024 x 768 pikslov. Ostali pomembni podatki so še velikost piksla in hitrost kamere. Piksli navadno merijo nekaj μm (npr. pri modelu IMAGINGSOURCE DMK 21F04 je velikost piksla 5,6 μm). Standardna hitrost kamere je 25 slik na sekundo. Večje hitrosti temeljijo na nižji ločljivosti.

Linijske kamere imajo slikovne elemente postavljene v eni sami vrstici. Na ta način lahko dosežemo veliko ločljivost kamere (npr. 8000 pikslov v vrstici) in veliko hitrost (več tisoč vrstic na sekundo). Slabost takih kamer pa je ta, da je potrebno nadzorovano premikati kamero po predmetu oz. obratno, da dobimo 2D sliko.

Kamere uporabljajo različne standarde za prenos signala. Starejše kamere uporabljajo analogni izhod (CCIR, RS170), novejše pa digitalni (RS 422, FireWire, Camera-Link).

2.3.4 Enota za procesiranje

Enota za procesiranje predstavlja srce sistema. Prejema informacije iz kamere, ki jih potem obdela in svojo odločitev posreduje na izhod. Za to je potrebna zadostna procesorska moč in pomnilnik, da se lahko v ustreznem času obdela zadostna količina podatkov.

Pogosto se kot enota za procesiranje uporabljajo cenovno ugodni osebni računalniki, lahko pa nastopajo tudi namenske naprave (računalniški modul "NI 1450 Compact vision system").

2.3.5 Programska oprema

Izbira programske opreme je pogojena z zahtevami posameznega sistema s strojnim vidom. Za standardne rešitve lahko na tržišču dobimo ustrezne programske pakete, ki jih je potrebno samo prilagoditi za določeno aplikacijo. Obstajajo tudi uporabniku prijazni grafični vmesniki, s katerimi lahko sami, brez posebnega programerskega znanja, izdelamo aplikacijo.

Izkazalo se je, da je z namenskimi programskimi paketi včasih težko izdelati kvalitetno in zanesljivo aplikacijo, zato se v takih primerih še vedno poslužujemo splošnih programskih jezikov.

2.3.6 Konstrukcija

Posamezne elemente strojnega vida (kamere, osvetlitev,...) je potrebno pritrditi na tista mesta v proizvodnem procesu, da je zajem in obdelava slik čim kvalitetnejša. Pogosto kar pozabljamo, da konstrukcija ne sme samo zagotavljati ustrezne pritrditve elementov sistema, temveč mora tudi zagotavljati, da se v času odvijanja aktivnosti na danem mestu, pogoji ne spreminjajo. Sem prištevamo zlasti:

- izločanje nezaželenih virov svetlobe
- preprečevanje premaknitve kamere po kalibraciji
- preprečevanje premaknitve vira svetlobe po kalibraciji
- vedno enaka priprava objekta
- preprečevanje nečistoč na objektivu
- izločanje vibracij in ostalih vplivov okolice

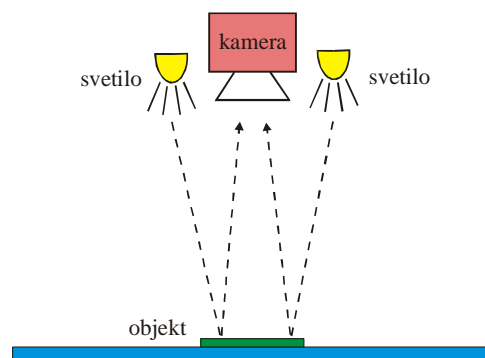
Ustrezna konstrukcija je osnovni pogoj za kvalitetno delovanje strojnega vida.

2.4 Tehnika osvetlitve

Tehnika osvetlitve obravnava izbiro položaja svetila in kamere glede na predmet. Le pravilna postavitve nam omogoča kvaliteten zajem slike, ki je osnova za nadaljnje operacije. Glede na položaj svetila in kamere ločimo osvetlitev spredaj in osvetlitev zadaj. Pri sprednji osvetlitvi ločimo še osvetlitev z vrha in od strani. Drugo pomembno delitev pa določa vrsta oz. tip svetila. Tu razlikujemo usmerjeno in difuzno svetlobo.

Osvetlitev spredaj z vrha

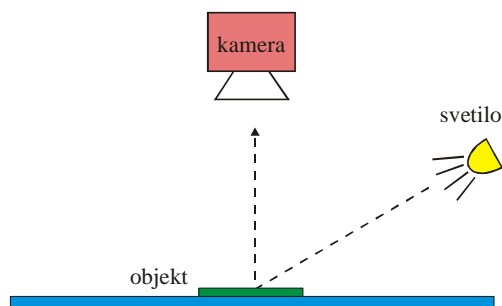
Tak način osvetlitve ne povzroča senc na objektu (slika 6). Lahko je realiziramo z več svetili ob kameri, ali pa z obročnim svetilom, ki se namesti okrog objektiva kamere. Osvetlitev je primerna za objekte ki vpijajo svetlobo (tiskano vezje), ni pa primerna za odbojne površine, saj na njih povzroča odbleske.



Slika 6: Osvetlitev spredaj z vrha

Osvetlitev spredaj s strani

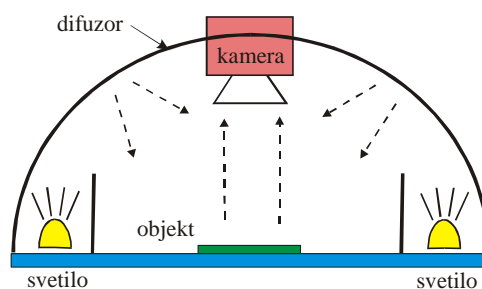
Osvetlitev s strani (slika 7) povzroča na izboklinah in vdolbinah sence in odbleske, zato je taka osvetlitev primerna za kontrolo napak na površini. V primeru, da uporabimo več svetil s strani, je osvetlitev primerna tudi za površine, ki povzročajo odbleske (kovina, stekla).



Slika 7: Osvetlitev spredaj s strani

Osvetlitev spredaj z difuzno svetlobo

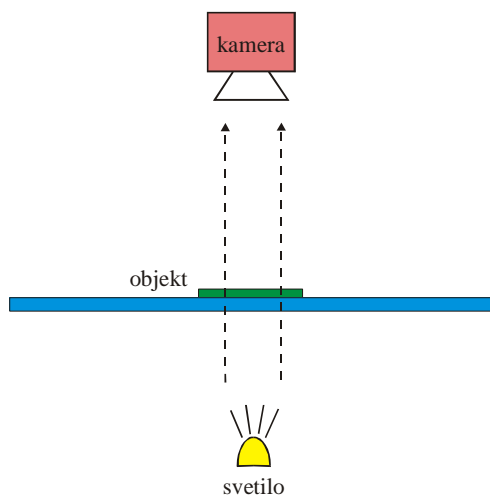
Difuzna svetloba (slika 8) je primerna za objekte, ki imajo take odbojne površine, ki povzročajo odbleske in nepravilne lome svetlobe.



Slika 8: Difuzna svetloba

Osvetlitev zadaj

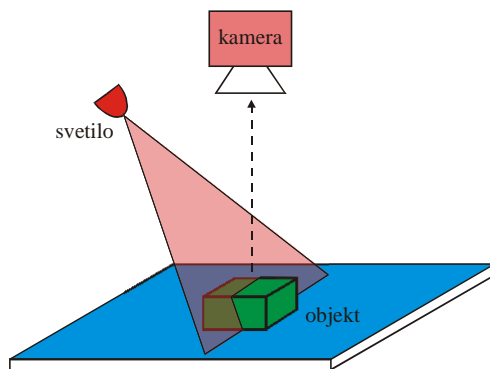
Pri transparentnih materialih lahko z osvetlitvijo od zadaj (slika 9) dosežemo opazovanje strukture materiala. Ta način osvetlitve nam omogoča tudi kvalitetne slike robov objekta, z uporabo difuzorja na svetilu, pa tudi oblike objekta.



Slika 9: Osvetlitev zadaj

Strukturirana svetloba

Strukturirano svetlobo obravnavamo kot usmerjeno svetlobo. Ta svetila (slika 10) projicirajo na površino objekta različne oblike. Največ se uporabljajo točke, črte, krogi itd... Različne deformacije svetlobnih žarkov na objektu nam omogočajo, da si lahko ustvarimo še tretjo dimenzijo (3D rekonstrukcija).



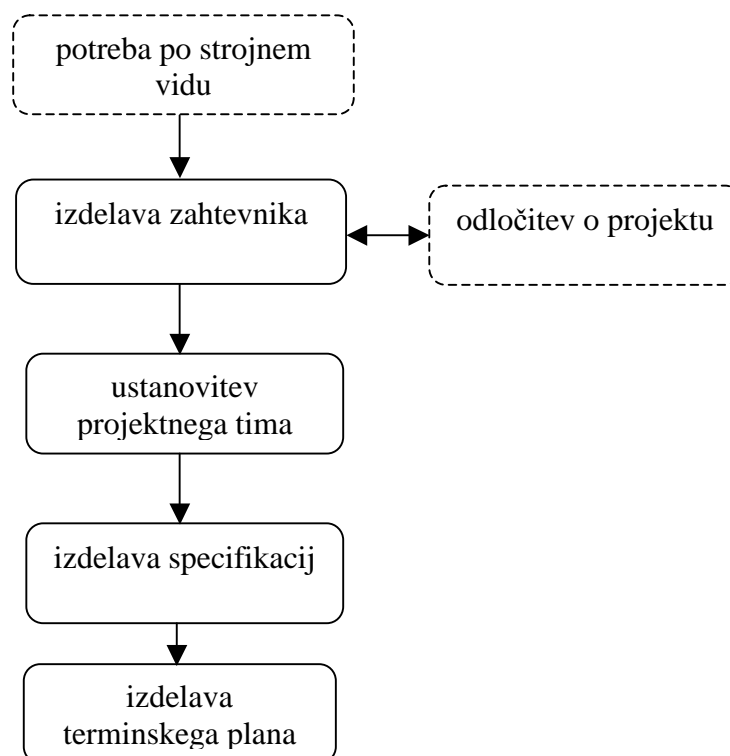
Slika 10: Usmerjena svetloba

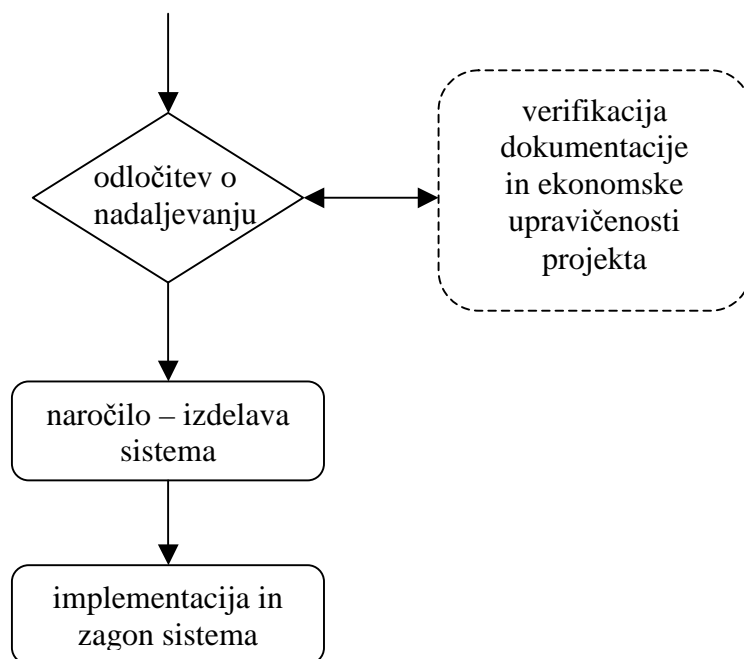
3. Projektno osvajanje sistema s strojnim vidom

Da bo sistem po implementaciji uresničil vsa pričakovanja glede kvalitete in uspešne realizacije, je vsekakor pomembno sistematično delo v času projekta, kamor prištevamo:

- sistematično načrtovanje sistema
- poznavanje podjetja in procesov, ki jih bo zajemal sistem
- ustrezen projektni tim
- poznavanje najnovejših tehnologij strojnega vida
- izdelane specifikacije za projekt
- izdelan projektni plan
- verifikacija projektne dokumentacije (elaborata)
- naročilo sistema
- monitoring izvedbe
- sistematično vodenje projektne skupine

Projektno osvajanje sistema s strojnim vidom zahteva realizacijo določenih aktivnosti, ki so prikazane v spodnjem diagramu (slika 11):





Slika 11: Diagram aktivnosti projekta

3.1 Definiranje zahtevnika in odločitev o projektu

Zahtevnik mora biti sestavljen tako, da opredeljuje vse tiste funkcije, katere pričakujemo od strojnega vida. Ni zaželeno, da bi v njem izpostavljali že tehnične rešitve - notranjo zgradbo, temveč samo funkcionalnost. Funkcije morajo biti opisane natančno, jasno in jedrnato. Kvalitetno sestavljen zahtevnik pomeni tudi hitro in kvalitetno izdelana aplikacija. V nadaljevanju so prikazane osnovne točke zahtevnika, kar pa ne pomeni, da dodatni opisi niso zaželeni. Nasprotno, vsak pomemben podatek je vedno dobrodošel.

Osnovne točke vsebine zahtevnika:

Osnovne točke so razdeljene na posamezne sklope [2]:

Proizvodni proces

- predvidena izdelovalna doba produkta
- takt procesa – normativ za kos
- vrsta transporta (in line, off line)

- vrsta naprave (samostojna / nadgradnja)
- opis obstoječe naprave, če gre za nadgradnjo
- število procesov, ki tečejo vzporedno
- čas obratovanja v enem dnevu
- način pregledovanja (100% pregled ali vzorčni)
- velikost polja, ki ga zajema kamera
- natančnost zajema slike

Aplikacija

- namen uporabe aplikacije (merjenje razdalj, orientacija, kvaliteta materiala, ...)
- odločitev, kdaj so kosi dobri in kdaj slabi
- odločitev, kaj storiti s slabimi kosi
- odločitev, kakšen odstotek napačne odločitve sistema je še sprejemljiv

Vzorci

- lastnosti vzorcev (barva, geometrija, velikost, material,...)
- način pozicioniranja vzorcev (naključno, kontrolirano)
- število različnih vzorcev
- ozadje posameznega vzorca

Uporabniški vmesnik

- predvidena izobrazba operaterja (znanje in izkušnje)
- izgled uporabniškega vmesnika
- varnost podatkov (nivojsko dostopanje z gesli, varnostno shranjevanje,...)
- shranjevanje podatkov (baze, nadaljnja obdelava)

Strojni vmesnik

- komunikacija z operaterjem (PC, panel, ...)
- komunikacija sistema z drugimi sistemi (način komuniciranja in vrsta podatkov)
- prikaz alarma – napake
- ostali priključki (Ethernet, RS232, ...)

Okolica

- stanje okolice (temperatura, vibracije, čistoča,...)
- ekološke zahteve

Način testiranja v fazi zagona

- število posameznih vzorcev, ki se testira
- število dovoljenih napačnih odločitev sistema

Nadzor naprave

- overjanje naprave in na koliko časa
- način kalibracije naprave

Ekonomika

- dobavni rok
- cenovni okvir
- garancija
- rezervni deli
- vzdrževanje
- možnost nadgradnje sistema

Odločitev o projektu

Odločitev o ustanovitvi projekta se izdelava na podlagi zahtevnika. Vodja poslovne enote podjetja sprejme odločitev na osnovi koristi, ki jih lahko prinese predvidena uporaba strojnega vida pri proizvodnji. V primeru potrditve se ustanovi projektni tim, ki nadaljuje z aktivnostmi, v nasprotnem primeru pa se projekt zaključi ali začasno ustavi.

3.2 Projektni tim

Projektni tim definira vodja poslovne enote na predlog enega ali več članov. Vodja poslovne enote hkrati postane nadzornik projekta. Sestavljajo ga vodja projekta in tisti člani, ki s svojim

znanjem in izkušnjami najbolj pokrivajo potrebe projekta. Vodja je odgovoren za delo in koordinacijo članov tima. Dolžan je izvajati aktivnosti po projektne planu in o morebitnih odstopanjih poročati nadzorniku.

Člani tima so odgovorni za nalogo, ki jim je bila dodeljena, in so podrejeni vodji projekta. Dolžni so izvajati aktivnosti po projektne planu in o morebitnih odstopanjih poročati vodji projekta.

Organizacija znotraj projekta temelji na:

- timske delu
- jasno opredeljeni vlogi posameznih udeležencev
- osebni odgovornosti

3.3 Specifikacija projekta

Vse predhodno naštetih aktivnosti so izredno pomembne za uspešno realizacijo projekta, sama zgradba in način izvedbe strojnega vida pa je opisana v specifikacijah projekta. V ta namen specifikacije vsebujejo:

- zahtevnik (glej poglavje 3.1)
- predlagane tehnične rešitve
- zgradbo sistema
- konstrukcijsko rešitev
- ekonomsko upravičenost projekta

3.3.1 Tehnične rešitve

Izbrane tehnične rešitve so izredno pomembne za ustrezno izvajanje vseh funkcij, ki so bile definirane v zahtevniku. Pri tem je pomembna:

- izbira pravih gradnikov
- način izvedbe

Pri prvi točki nas zanima, ali smo za dani problem izbrali pravo osvetlitev, lečo in kamero, ki nam omogočajo zadosten kontrast, majhno popačenje in ustrezno ločljivost. Način izvedbe pa je odvisen od postavitve opreme, izvedbe programske kode, zunanjih vplivov (zunanja svetloba, vibracije, motnje), komunikacije z ostalimi napravami, itd...

Večina današnjih kamer uporablja svetlobne senzorje z ločljivostjo 640 x 480 pikslov. Tako lahko hitro izračunamo, kolikšno velikost (X) pomeni en piksel v naravi: $X(\text{mm}) = \text{velikost celotne slike v naravi (mm)} / 640$. To ne pomeni, da je najmanjši predmet, ki ga zazna strojni vid, enak tej vrednosti, ampak je ta lahko še manjši. Odvisno od natančnosti (interpolacije) programa in od prisotnosti šuma.

Vrsta uporabe je odvisna od področja dela, ki ga pokriva sistem strojnega vida [2]:

- preverjanje sestava
- izvajanje meritev na izdelku
- določanje položajev objektov v danem prostoru
- odkrivanje napak in poškodb na objektu
- branje oznak in prepoznavanje objekta

Pomembno vlogo pri razpoznavanju slike igra tudi kontrast med predmetom in ozadjem. Dober kontrast in ostra meja med posameznimi elementi slike nam močno olajšajo delo. Seveda pri tem ne smemo pozabiti na ponovljivost položaja objekta pred kamero. Če ni možno zagotoviti preciznega položaja, potem moramo razširiti iskanje objekta na celotno območje, kjer se ta lahko pojavi. To pomeni, da objekt opišemo z manjšim številom pikslov oz. objekt ima slabšo ločljivost. Vibracije so še ena motnja, ki neugodno vplivajo na kvaliteto razpoznavanja slike.

3.3.1.1 Analiza sestava

V tem primeru nas zanima, ali so vsi objekti določenega sestava na svojih mestih. Če lahko dosežemo visok kontrast med vsakim objektom na danem polju in ozadjem, potem najmanjši objekt lahko pokriva polje 2 x 2 piksla (ali enako veliko polje drugačne oblike), da ga je možno še zaznati. Če je po drugi strani kontrast relativno nizek, si lahko pomagamo s preprostim pravilom, ki pravi, da objekt je možno zaznati, če pokriva najmanj 1% celotne slike. Pri velikosti slike 500 x 500 pikslov to pomeni na primer 2500 pikslov. V primeru, da

poznamo velikost piksla in število, ki minimalno opisuje objekt (2 ali 2500, odvisno od kontrasta), lahko izračunamo velikost najmanjšega objekta, ki ga lahko še zaznamo.

3.3.1.2 Merjenje razdalje

Pri uporabi strojnega vida za merjenje razdalj uporabljamo piksle kot oznake na merski premici. Če je velikost slike 500 x 500 pikslov, lahko celotno dolžino oz. širino slike prikažemo kot ravnilo s 500 oznakami. Seveda lahko oseba, ki odčitava ravnilo, odčita bolj natančno kot samo na eno črtico. No, to je zmožen tudi sistem strojnega vida z interpolacijo. Kakšno natančnost dosežemo, je predvsem odvisno od zmogljivosti programa. Lahko je to ena tridesetina piksla ali ena petina piksla. V splošnem se največ uporablja kar ena desetina piksla.

Pri uporabi strojnega vida kot napravi za merjenje razdalj ni pomembno samo, kako natančno lahko odčitamo, ampak tudi kakšno točnost in ponovljivost meritve dosežemo. Metrologija danes zagovarja pravilo, da moramo imeti vsaj trikrat do štirikrat bolj točno merilno napravo, s katero merimo, glede na prikazano točnost izmerjene vrednosti. Drugo pravilo metrologije pa pravi, da mora biti vsota ponovljivosti in točnosti merilne naprave manj kot 1/3 tolerance izmerjene vrednosti.

Pri merjenju objekta dolžine 1000 mm, ki ga zajamemo s sliko s 500 piksli, predstavlja vsak piksel 2 mm. Z ustreznim algoritmom, ki uporablja interpolacijo, lahko dosežemo odčitek na 1/10 piksla, to pa je 0,2 mm. Ponovljivost meritve je tipična vrednost (\pm) najmanjšega odčitka, ki jo merilni instrument zazna. V tem primeru je to $\pm 0,2$ mm.

Tudi merilna točnost je določena po standardu za najmanjši zaznani odčitek, to je 0,2 mm. Če se vrnemo na drugo pravilo metrologije, lahko objekt dolžine 1000 mm z zgoraj opisanim postopkom strojnega vida izmerimo z natančnostjo $\pm 1,2$ mm.

Strojni vid torej ni najbolj primeren za merjenje razdalj s kamerami, ki imajo ločljivost samo 500 x 500 pikslov. Če zahtevana točnost ni prevelika, je sistem ustrezen, sicer pa je potrebna boljša kamera.

3.3.1.3 Določanje položaja objekta

Uporaba strojnega vida za določanje položaja objektov ima podobno osnovo kot sistem za merjenje razdalj. Vendar so v praksi sistemi za določanje položaja objektov najbolj prodajane aplikacije, ki izkoriščajo lastnosti točnosti in ponovljivosti zajete slike pri odčitku 1/10 piksla. Iz prejšnjega primera lahko vidimo, da pri 1000 mm dolgem objektu lahko zaznamo njegov položaj na $\pm 0,2$ mm natančno. Nekatera podjetja ponujajo celo aplikacije, ki so zmožne zaznati odčitek na 1/40 piksla. Seveda velja to le za določanje položaja objekta in ne za merjenje razdalj.

3.3.1.4 Odkrivanje napak

Pri tej uporabi strojnega vida je izredno kritična komponenta kontrast, ki vpliva na to, kaj bomo sploh zaznali kot napako. Kjer je kontrast izredno visok, npr. bel objekt na črni podlagi, je možno zaznati tiste napake, ki pokrivajo vsaj 1/3 piksla na sliki. Tako majhne napake lahko samo zaznamo, ne pa izmerimo ali klasificiramo.

Pri zmernih kontrastih se lahko opremo na pravilo iz vrednotenja sestava, ki omogoča zaznavanje objekta velikosti 2 x 2 piksla. Pri dodatni klasifikaciji pa je potrebna velikost objekta vsaj 25 pikslov.

Če je kontrast izredno nizek, mora biti velikost objekta vsaj 1% velikosti slike oz. v našem primeru 2500 pikslov.

3.3.1.5 OCR / OCV

Aplikacije, ki pri svojem delu uporabljajo OCR (optical character recognition) ali OCV (optical character verification), potrebujejo minimalno tri pikse širok znak (črko). Tipične velikosti znakov pa so 20 x 20 pikslov. Tu lahko kaj hitro nastopi problem, saj smo pri kameri 500 x 500 pikslov omejeni z dolžino niza, ki ga razpoznavamo. Pri velikosti znaka 20 pikslov in razdalji med znakoma 2 piksla lahko na enkrat odčitamo le 22 znakov.

Druga pomembna lastnost OCR sistemov je 99,9% verjetnost pravilne razpoznave znaka. Pri 1000 prebranih znakih to pomeni en nerazpoznan oz. en nepravilno razpoznan znak.

Obe pomanjkljivosti lahko omilimo z boljšo kamero (1000 x 1000 pikslov) ali z večjimi znaki (2500 pikslov za en znak). Slaba stran tega je draga kamera in počasna aplikacija, kar zmanjšuje upravičenost projekta.

3.3.1.6 Linijsko zajemanje slike

Linijske kamere so alternativa navadnim kameram. Njihova ločljivost dosega vrednost do 2000 pikslov v eni liniji. Obstajata dva načina zajemanja slike. Lahko premikamo objekt pod kamero, lahko pa je objekt na mestu in premikamo kamero. Seveda mora biti hitrost premikanja predmeta ali kamere skrbno nadzorovana in operacija zajemanja slike usklajena.

Najbolj razširjene linijske kamere ponavadi delajo s frekvenco 2MHz. To pomeni, da pri širini 2000 pikslov kamera zajema 1000 linij na sekundo ($2.000.000 / 2000$). Slike velikosti 2000 x 2000 pikslov tako kamera zajame v 2 sekundah.

Linijske kamere so primerne tam, kjer potrebujemo dobro ločljivost na majhnih detajlih. S poljem 2000 pikslov dosežemo 4-krat boljšo natančnost, kot pri polju 500 pikslov.

Priporočene velikosti objektov za posamezne operacije strojnega vida so prikazane v tabeli 1.

OPERACIJA STROJNEGA VIDA	ANALIZA SESTAVA	MERJENJE RAZDALJE	DOLOČANJE POLOŽAJA OBJEKTA	ODKRIVANJE NAPAK	OCR/OCV
vrsta meritve kontrast	minimalna velikost objekta, ki ga zaznamo	točnost meritve	natančnost določitve položaja	minimalna velikost napake na objektu	velikost znaka (ploščina)
nizek	50 x 50 pikslov	brez interpolacije, ločljivost = 1 piksel 6 pikslov	brez interpolacije, ločljivost = 1 piksel 1 piksel	2500 pikslov	/
srednji	10 x 10 pikslov	/	/	4 – 25 pikslov	40 pikslov
visok	2 x 2 piksli	z interpolacijo, ločljiv. = 0,1 piksel 0,6 piksli	z interpolacijo, ločljiv. = 0,1 piksel 0,1 piksel	1/3 piksli	3 piksle

Tabela 1: Velikost objektov za posamezne operacije

3.3.2 Zgradba sistema

Zgradba sistema je v specifikacijah predstavljena z blok shemo, ki vsebuje osnovne gradnike sistema strojnega vida in njihove opise. V primeru, da sistem strojnega vida ni samostojna naprava, morajo biti prikazane tudi povezave z obstoječimi napravami.

3.3.3 Konstruktivna rešitev

Konstruktivna rešitev opisuje način implementacije sistema s strojnim vidom v obstoječ proizvodni proces. Določena mora biti konstrukcija naprave ter mesta in način pritrditve posameznih komponent.

3.3.4 Ekonomska upravičenost projekta

Ekonomska analiza sistema s strojnim vidom prikazuje stanje prihrankov in stroškov v določenem časovnem obdobju, ki so posledica uporabe strojnega vida v proizvodnem procesu.

Predvideni stroški, ki jih v času načrtovanja upoštevamo kot investicijo v strojno in programsko opremo, navadno vsebujejo:

- stroške strojne opreme (kamere, leče, krmilniki, računalniki, osvetlitev, konstrukcija oz. ohišje,...)
- stroške predelave naprave, kamor se bo vgradil strojni vid (dodatni nosilci, sprememba konstrukcije,...)
- stroške programske opreme sistema za strojni vid
- stroške predelave programske opreme na obstoječi napravi
- stroške zaradi nekajdnevnega izpada obratovanja obstoječe naprave zaradi predelave
- stroške zaradi zagona in odpravljanja napak
- stroške šolanja operaterjev
- stroške zaradi napačne odločitve sistema s strojnim vidom
- stroški zaradi kompleksnejšega obvladovanja naprave

Predvidene prihranke v proizvodnem procesu je največkrat težko natančno oceniti, saj poleg neposrednih prihrankov časa nastopajo tudi posredni prihranki, ki jih težko ovrednotimo.

Največkrat nastopajo naslednji prihranki:

- zmanjšanje časa izdelave
- manjši materialni stroški (manjši izmet)
- zagotavljanje konstantne kvalitete
- avtomatska obdelava in shranjevanje podatkov
- ni vpliva človeškega faktorja na odločitev
- zadovoljstvo kupcev
- možnost povratnega vpliva na proizvodni proces v realnem času
- povečanje konkurenčnosti podjetja
- subvencije države za izvedbo projekta

V nadaljevanju sta prikazani tabeli za stroške (tabela 2) in prihranke (tabela 3) pri triletni amortizaciji:

opis stroškov	vrednost
strojna oprema	
programska oprema	
ostalo*	
vzdrževanje 1. leto	
vzdrževanje 2. leto	
vzdrževanje 3. leto	
SKUPAJ	

Tabela 2: Stroški sistema

* Pri stroških pod "ostalo" navadno upoštevamo stroške zagona sistema in prilagoditve obstoječega procesa na integracijo strojnega vida.

opis prihrankov / leto	1. leto	2. leto	3. leto	skupaj
prihranki časa				
prihranki materiala				

ostalo*				
SKUPAJ				

Tabela 3: Prihranki sistema

* Pri prihrankih pod "ostalo" upoštevamo posredne prihranke, ki so posledica uvedbe strojnega vida.

Uvedba strojnega vida v proizvodnem procesu je ekonomsko upravičena takrat, ko so prihranki v določenem časovnem obdobju večji od stroškov. Seveda to ne pomeni, da če je rezultat negativen, ne smemo pristopiti k izvedbi projekta. Lahko to predstavlja npr. pilotni projekt, ki bo imel na začetku večje stroške, dolgoročno gledano pa večji prihranek. Lahko je to cena, ki jo bomo plačali za izobraževanje oz. spoznavanje prednosti in slabosti naprav s strojnim vidom.

Skratka ekonomsko upravičenost je potrebno gledati širše in se potem odločati glede na dolgoročne učinke takih sistemov.

3.4 Terminski plan

Terminski plan mora vsebovati glavne aktivnosti, kot so navedene v tabeli 4. Zaradi transparentnosti projekta je lahko dodana še kakšna aktivnost, nobena od navedenih pa ne sme manjkati. Roki morajo biti realni in dosegljivi. O vsakršnem odstopanju od predvidenih rokov mora vodja projekta poročati nadzorniku projekta.

št.	aktivnost	odgovorna oseba	načrtovan začetek	načrtovan konec	dejanski konec
1	izdelava zahtevnika				
2	definiranje projektnega tima				
3	izdelava specifikacij				
4	izdelava terminskega plana				

5	verifikacija projektne dokumentacije				
6	izdelava sistema				
7	implementacija sistema				

Tabela 4: Terminski plan projekta

3.5 Verifikacija projektne dokumentacije

Projektni tim pripravi projektno dokumentacijo, ki mora vsebovati tudi terminski plan in specifikacijo projekta. Vodja projekta predloži celotno projektno dokumentacijo nadzorniku v potrditev. Osnovna naloga nadzornika je, da pregleda, če specifikacije ustrezajo zahtevniku in če predvideni stroški projekta pokrijejo prihranke v določenem časovnem obdobju. S svojim podpisom nadzornik izkaže soglašanje s celotno projektno dokumentacijo in prižge zeleno luč za izvedbo projekta.

Če nadzornik ne soglaša s projektno dokumentacijo, jo mora projektni tim popraviti in ponovno predložiti v pregled. Nadzornik lahko tudi na podlagi utemeljenih razlogov v tej fazi projekt ustavi oz. zaključi.

3.6 Naročilo (izdelava) sistema

Posamezen sistem, ki bo opravljal naloge strojnega vida, lahko izdelamo sami, lahko pa poiščemo ustreznega dobavitelja. V današnjem času je vse več podjetij, ki se ukvarjajo z izdelavo in implementacijo strojnega vida. Ta podjetja so specializirana na tem področju, imajo veliko izkušenj in poznajo tudi najustreznejše gradnike za optimalno izdelavo. Tako je največkrat najbolje, da se obrnemo kar na zunanje dobavitelje, sploh če imamo kvalitetno pripravljeno projektno dokumentacijo.

Pri manjših in enostavnih projektih pa lahko realiziramo sistem s strojnim vidom kar v domačem podjetju. Mogoče prva rešitev ne bo najbolj optimalna in bo potrebno v zaključni fazi še kaj spremeniti, bo pa projekt vsekakor prinesel veliko novega znanja, ki ga bomo lahko s pridom uporabili pri načrtovanju naslednjih sistemov.

Navadno si pri iskanju zunanega dobavitelja pridobimo več ponudb, na podlagi katerih se potem odločimo za najustrežnejšega dobavitelja. Izbira dobavitelja navadno ni lahka odločitev, zato si lahko pomagamo s tabelo 5, kjer so predstavljeni ustrezni kriteriji [2].

Kriteriji in pripadajoče uteži v tabeli 5 so določene glede na raziskavo v podjetju Iskraemeco,d.d. in se nanašajo na izdelavo števecv električne energije.

kriterij	utež	ocena	rezultat
SISTEM			
cena	9		
hiter rok dobave	8		
način instalacije (motenje proizvodnje)	8		
garancija (koliko)	5		
hitrost odziva pri odpravljanju napak	10		
nadgrajevanje sistema v prihodnosti	8		
dokumentacija	7		
izobraževanje operaterjev	7		
potrebno interno tehnično znanje	5		
reference obstoječih aplikacij ponudnika	5		
skupaj 1			
DOBAVITELJ			
zgodovina podjetja	3		
uspešnost na trgu	6		
odnos do uporabnika	8		
projektno vodenje	6		

skupaj 2			
UPORABNIŠKI VMESNIK			
število oken programa	3		
hitrost programa	8		
enostaven izgled oken	7		
več nivojski dostop uporabnikov	7		
prijaznost programa do uporabnika	8		
prijaznost programa do procesnega inženirja	5		
skupaj 3			
OSTALO			
možnost spreminjanja in dodajanja funkcij	10		
komuniciranje programa z drugimi sistemi	10		
interpolacija pikslov	8		
samodiagnoza programa	6		
shranjevanje parametrov (dostop do baze)	9		
varovanje podatkov (back up)	8		
skupaj 4			
skupaj 1+2+3+4			
faktor zaupanja v dobavitelja			
KONČNI REZULTAT			

Tabela 5: Odločitvena tabela

Dobavitelja se ocenjuje za posamezen kriterij od 1 do 10, kjer 1 pomeni slabo izpolnjevanje kriterija, 10 pa zelo dobro. Uteži so definirane že vnaprej in pomenijo, koliko je posamezen kriterij pomemben. Gibljejo se med 1 in 10. Utež 1 pomeni najmanj pomemben kriterij, 10 pa najbolj pomemben. Rezultat predstavlja produkt uteži in ocene. Na koncu tabele je potrebno definirati tudi faktor zaupanja v dobavitelja. Ta faktor navadno določimo po občutku, glede na to, kakšen vtis je dobavitelj naredil na nas v času usklajevanja dokumentacije. Giblje se med 0

in 100%. Npr. 95% zaupanje pomeni, da imamo veliko zaupanje v dobavitelja in skupni seštevek (1+2+3+4) pomnožimo z 0.95, da dobimo končni rezultat.

Tabelo lahko uporabimo kot spisek pomembnih funkcij pri načrtovanju sistema ali kot pomoč pri izbiri različnih ponudnikov sistema.

Končen rezultat ne pomeni kdo bo dobavitelj sistema, temveč kakšna je sposobnost dobavitelja, na katerih točkah pri njem opazimo pomanjkljivosti in kje dobavitelj zadovoljuje naše potrebe.

Izbrani dobavitelj lahko na podlagi upravičenih razlogov zahteva spremembo specifikacij projekta. Seveda mora te spremembe potrditi tudi nadzornik.

3.7 Implementacija sistema

Pri implementaciji sistema je pomembno, da čim manj motimo obstoječi proizvodni proces in, da pri tem upoštevamo ustrezne varnostne ukrepe ne glede na to, ali gre za novo napravo ali pa za nadgradnjo obstoječe.

Mehanska dela je potrebno izvesti kvalitetno in natančno. Paziti moramo:

- da je kamera dobro pritrjena in da jo je možno fino nastavljati
- da so moduli za osvetlitev dobro pritrjeni in da jih je možno nastavljati
- da izločimo zunanje motnje (vibracije, prah, svetloba,...)
- na kvalitetno izvedene povezave med gradniki, da ne pride do poškodb vodnikov

Nastavitev posameznih komponent strojnega vida poteka z vzorci, ki smo jih definirali v fazi izdelave zahtevnika. S temi vzorci se tudi začne preizkušanje delovanja sistema. Ko dosežemo zadovoljivo delovanje sistema, ga čim prej vključimo v proizvodni proces, saj le tako lahko s finimi nastavitvami dosežemo optimalno delovanje.

Začetno fazo obratovanja imenujemo faza zagona in navadno traja en mesec. Vodja projekta lahko to dobo spremeni ob dogovoru z dobaviteljem oz. se podaljša ob neizpolnjevanju kriterijev v zahtevniku. V fazi zagona se odpravijo tudi vse pomanjkljivosti v delovanju sistema.

Tehnični prevzem je dokument, ki zaključi fazo zagona in kjer vse pogodbene stranke soglašajo, da sistem deluje v skladu s pričakovanji. To je osnova za plačilo in za začetek garancijske dobe.

4. Analiza strojnega vida pri proizvodnji elektronskih števec

Izdelava elektronskih števecv električne energije obsega velik nabor bolj in manj kompleksnih proizvodnih operacij. Kvaliteta izdelka in dolga življenjska doba zahtevata zanesljiv in stabilen proizvodni proces, ki ga je največkrat možno izvesti z ustrežno kontrolo in stalnim nadzorom nad posameznimi operacijami. Danes večji del kontrole in nadzora opravlja človek oz. je vsaj prisoten vpliv človeškega faktorja, kar pa s stališča kakovosti ni najbolj primerno.

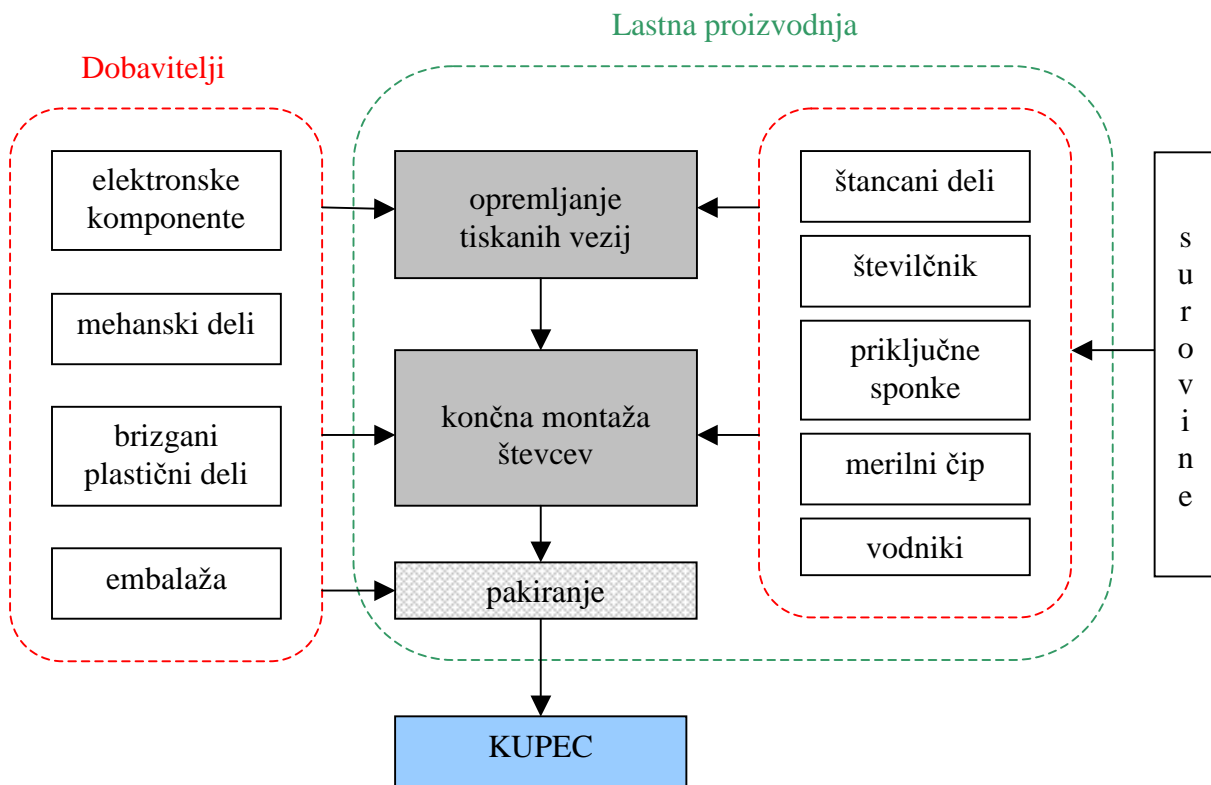
Današnja tehnologija ponuja že različne cenovno ugodne sisteme za avtomatsko kontrolo in nadzor. Eden od takih tehnologij je tudi strojni vid. Kje bi ga lahko uporabili pri proizvodnji elektronskih števecv, je opisano v nadaljevanju poglavja.

4.1 Proces izdelave elektronskih števecv

Števci električne energije so namenjeni merjenju porabe električne energije. Uporabljajo se tako v gospodinjstvih kot v industriji. Poleg merjenja energije, kar je bila domena starejših indukcijskih števecv, pa elektronski števeci omogočajo še veliko drugih funkcij:

- notranja ura s koledarjem za preklon tarif
- prikaz krivulje obremenitve
- merjenje napetosti in tokov po fazah
- dodatni vhodi in izhodi
- komunikacija z nadzornimi sistemi
- krmiljenje dodatnih naprav
- detekcija izpada faze
- različni tipi komunikacijskih vmesnikov

Veliko število posameznih funkcij potegne za seboj tudi ogromno tipov izdelkov in različnih vrst materiala. Obvladovanje takšne proizvodnje postane kompleksno, zato podjetje stremi k čim večji avtomatizaciji proizvodnih procesov.



Slika 12: Proizvodni proces elektronskih števecv

Proizvodnja elektronskih števecv temelji na dveh ključnih procesih (slika 12). Prvi je opremljanje tiskanih vezij, ki predstavljajo srce vsakega števca, drugi pa je končna montaža, kjer fizično nastane celoten števec, se umeri in se na koncu preveri njegova funkcionalnost. Izgled delno sestavljenega števca je prikazan na sliki 13.



Slika 13: Notranjost števca

Osnovne gradnike števca sestavljajo posamezne komponente. Večji del teh komponent kupimo od dobaviteljev (zlasti elektronske komponente in plastične dele), ostale pa proizvedemo sami. Sem spadajo:

- štancani deli (tokovni ovoji, kovinski jezički, oklopi...)
- vodniki (žičke za povezavo)
- priključne sponke (mehanska obdelava profilov)
- številčnik (ročna montaža kolotov in pastorkov na osi)
- merilni čip (inkapsulacija silicijeve tabletko v keramično ohišje)
- lasersko graviranje (vpisovanje podatkov na plastične dele)

4.1.1 Izdelava podsestavov

Štancani deli:

Štancani deli nastopajo v različnih sklopih v števcu. Vgrajujejo se v podsestave, na tiskano vezje in v števec. Proizvajajo se na ustreznih avtomatskih stiskalnicah (štancah) s tehniko odrezavanja in krivljenja v posebnih orodjih. Ker je proces izdelave posameznih kosov

sorazmerno hiter, se na eni stiskalnici proizvaja več različnih izdelkov. Pred začetkom izdelave operater najprej namesti ustrezno orodje v stiskalnico s posebnim dvigalom. Potem pripravi kovinski trak, iz katerega se izdeluje izdelek, in ga namesti v orodje. Prve kose pri zagonu stiskalnice preveri kontrolor, če ustrezajo predpisani dokumentaciji. Po uspešni potrditvi operater nadaljuje z izdelavo. Do zaključka serije kontrolor včasih še vmes preveri ustreznost izdelkov.

Vodniki:

Uporabljajo se za električno povezavo določenih sklopov s tiskanim vezjem. Največkrat povezujejo merilno celico ali pa sponke v priključnem delu s tiskanim vezjem. Vodniki se izdelujejo na posebni napravi, ki razrezuje neskončen vodnik s koluta na točno nastavljeno dolžino. Vodnikom na obeh koncih odstrani tudi izolacijo. Novejše naprave imajo še možnost spajkanja neizoliranega konca ali pa zakovanja posebnega priključka.

Priključne sponke:

Sponke nastopajo v priključnem delu števca. Namenjene so za priključitev zunanjih močnostnih vodnikov in za priključitev komunikacijskih povezav. Modernejše sponke so izdelane v stiskalnicah, ostale pa se izdelujejo na posebnih avtomatskih obdelovalnih strojih. Ti stroji iz palice materiala najprej odrežejo pravilno dolžino sponke, izvrtajo eno ali več lukenj in vrežejo navoje za vijake.

Številčnik:

Novejši elektronski števeci prikazujejo porabljeno energijo na mehanskem številčniku ali na displeju. Prvi je primeren s stališča, da na noben način ne moremo izgubiti podatka o porabljeni energiji, če števec odpove. Slabost pa je, da na številčniku lahko prikažemo samo en podatek. Displej nam omogoča prikaz več podatkov, je pa težko odčitati porabljeno energijo v primeru odpovedi.

Številčniki se izdelujejo ročno. Za to operacijo potrebujemo nekaj osi, kolotov, pastorkov, zobnikov, ohišje in navadno še koračni motorček. Delo je izredno natančno, saj pri montaži nastopa veliko majhnih in preciznih sestavnih delov.

Merilni čip:

Namenjen je za zajem tokovnega in napetostnega signala in za izračun trenutne porabe energije. Deluje na principu Hallovega senzorja, ki je integriran na silicijevo tabletko skupaj z analogno - digitalno tehniko. Posamezne komponente za izdelavo čipa dobimo izdelane od različnih dobaviteljev po naši dokumentaciji.

Proces inkapsulacije silicijeve tabletko v keramično ohišje je izredno zahteven postopek in se izvaja v posebnih prostorih pod strogimi klimatskimi pogoji. Tu nastopata tudi dve kritični operaciji. Ena je povezava (bondiranje) silicijeve tabletko v spodnjem keramičnem ohišju z nogicami na ohišju. Povezava se izvaja na avtomatski napravi s tanko žičko. Druga operacija pa je spajanje (pretaljevanje) spodnjega in zgornjega keramičnega ohišja s steklom. Na koncu procesa izdelave se na posebni kontrolni napravi preverijo vse funkcije čipa.

Lasersko graviranje

Racionalizacija proizvodnih stroškov in fleksibilnost izdelave sta omogočila uporabo laserja za vpisovanje tehničnih podatkov na plastiko – ohišje števca (slika 22). Pomembna lastnost laserja je tudi velika hitrost vpisa, možnost inkrementacije števil in črtnih kod ter izdelava posebnih znakov. Pri vsem tem pa laser ne porablja nobenega potrošnega materiala (barve, šablone, sita,...), saj znaki nastajajo z zažiganjem plastike.

4.1.2 Opremljanje tiskanih vezij

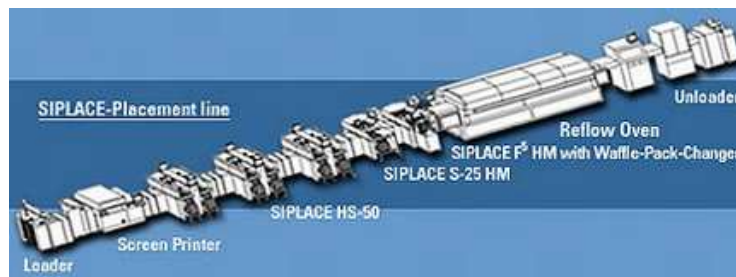
Tehnologija izdelave opremljenih tiskanih vezij postaja vse bolj zahtevna, saj so elektronske komponente vse manjše, pa tudi tiskana vezja postajajo vse manjša in večplastna. V večji meri so vsa opremljena tiskana vezja sestavljena iz majhnih površinsko pritrjenih (SMD) komponent in iz večjih klasičnih (THT) komponent, ki so prisvajkani skozi spajkalno luknjo.

4.1.2.1 Vstavljanje SMD komponent

Vstavljanje SMD komponent poteka izključno na avtomatskih polagalnih linijah (slika 14), saj so komponente izredno majhne (tudi 0,5 x 1mm), zahtevana točnost postavitve komponente pa izredno velika ($\pm 0,05\text{mm}$). Tako linijo lahko sestavljajo naslednje naprave:

- zalogovnik za nakladanje na linijo (loader)

- tiskalnik za nanašanje spajkalne paste (screen printer)
- polagalnik - lahko jih je več (pick & place mashine)
- tunnelska peč (reflow)
- vizualno kontrolno mesto (vision)
- zalogovnik za razkladanje z linije (unloader)
- transport med posameznimi napravami



Slika 14: Polagalna linija

Zalogovnik za nakladanje na linijo

V zalogovniku so naložene prazne plošče tiskanih vezij. Lahko so posamezne plošče, lahko pa so v obliki panelov (več plošč skupaj). Avtomatski podajalnik nalaga plošče na transportni trak.

Tiskalnik za nanašanje spajkalne paste

Namenjen je nanašanju spajkalne paste na tiskano vezje. V sodobnih printerjih se pasta nanaša tako, da prek tiskanega vezja namestimo posebno šablono, po kateri potem vlečemo (tiskamo) spajkalno pasto. Kjer ima šablona luknjice, tam se pasta nanese na tiskanino. Za natančno pozicioniranje šablone na tiskano vezje dispenzer lahko uporablja tudi kamero.

Polagalnik

Sodobni polagalniki vstavljajo SMD komponente na predhodno potiskano tiskanino, kjer se spajkalna pasta nahaja na kontaktnih mestih, kamor pridejo položene komponente. Hitrost polaganja se giblje od 10.000 do 200.000 komponent na uro. Komponente so zaradi lažjega avtomatskega pobiranja pakirane v posebnem traku, palicah ali paletah. Pri zagotavljanju točnosti položenih komponent si polagalnik pomaga z ustrezno kamero.

Tunelska peč

V peči se položene komponente na spajkalni pasti prispajkajo (pretalijo) na tiskano vezje. Plošča po transportnem traku potuje nekaj minut skozi prekate (cone) peči, ki vzdržujejo različne temperature (od nekaj 10°C do 250°C). S tem ustvarjajo ustrezen temperaturni profil, ki je potreben za kvalitetne spoje. Današnje peči vsebujejo do 10 con. Več con ima peč, bolj natančen profil se lahko nastavi.

Zalogovnik za razkladanje iz linije

Ta naprava usmerja opremljena tiskana vezja s transportnega traku nazaj v zalogovnik, kjer čakajo na nadaljnje operacije.

Transport

Transportne enote so namenjene za povezavo posameznih naprav med seboj v enoten transportni sistem.



Slika 15: SMD komponente

Proces vstavljanja SMD komponent (slika 15) lahko vsebuje še kakšno individualno ročno delovno mesto za posebne komponente, vendar se takih operacij skušamo izogniti. Ročno delo namreč predstavlja dodaten strošek, pa tudi kvaliteta največkrat ni ustrezna.

4.1.2.2 Vstavljanje THT komponent

THT komponente so večje kot SMD (slika 16). Lahko jih vstavljamo ročno ali pa s posebnimi inserterji. Te komponente je navadno pred vstavljanjem potrebno pripraviti, kar največkrat pomeni prekriviti oz. odrezati priključke na pravo mero. Pri ročnem vstavljanju je to operacijo potrebno izvesti ločeno na posebnih napravah, inserter pa to stori sam med vstavljanjem.

Poznamo tudi dva načina spajkanja vstavljenih THT komponent. Lahko je ročno s spajkalnikom ali pa avtomatsko. Tu ločimo spajkanje z:

- valovnim strojem
- vročo konico
- laserjem
- induktivno zanko



Slika 16: THT komponente

Avtomatsko spajkanje je s stališča zagotavljanja kvalitete bolj primerno, saj se hitro zgodi, da delavec pri ročnem spajkanju pozabi na kakšen spoj.

4.1.2.3 Dodelava

Sodobne tiskanine vsebujejo poleg elektronskih komponent tudi druge sestavne dele, kot so npr. razni plastični in kovinski deli, vijaki, matice,... Ti deli se navadno vgrajujejo na koncu procesa izdelave tiskanih vezij, da ne motijo avtomatizacije predhodnih procesov.

4.1.2.4 Kontrola tiskanih vezij

Tiskana vezja so zaradi množice elektronskih komponent zelo dragi sestavni deli oz. podsestavi. S pravočasnim ugotavljanjem proizvodnih napak na tiskanih vezjih lahko zmanjšamo stroške popravila končnih izdelkov. Najbolj uporabljene metode za kontrolo izdelave tiskanih vezij so:

- vizualna kontrola spojev in prisotnosti komponent
- kontrola spojev in prisotnosti komponent s strojnim vidom
- in - circuit test (preverjanje elementov tokokroga z množico fiksnih kontaktnih iglic)
- flying probe test (preverjanje elementov tokokroga med dvema gibljivima kontaktnima iglicama)
- funkcijski test (priklop vhodnih signalov in spremljanje vmesnih in izhodnih signalov – slika 17)



Slika 17: Naprava za funkcijsko kontrolo tiskanih vezij

Način kontrole je v veliki meri odvisen tudi od zahtevnosti opremljenega tiskanega vezja. Če je na njem samo nekaj konektorjev, zagotovo ne bo izvajanje funkcijskega testa. Vezja, ki so uspešno opravila kontrolo, nadaljujejo proizvodni proces, ostala pa je potrebno popraviti.

4.1.3 Končna montaža

Končna montaža predstavlja zadnji proizvodni proces pri izdelavi elektronskih števecv električne energije. Vsebuje sledeče operacije:

- sestavljanje števca
- umerjanje števca
- parametriranje
- končna kontrola

4.1.3.1 Sestavljanje števca

Pri sestavljanju potrebujemo vse predhodno izdelane podsestave (opremljeno tiskanino, sponke, številčnik, štancane dele) in ostale kupljene komponente (plastični deli, vijaki). Vsi deli se navadno sestavijo v spodnji del ohišja (dno števca). Nekateri deli se pritrdijo z vijaki, nekateri pa se le zaskočijo zaradi enostavne in hitre montaže. Na koncu operacije se spodnji del ohišja s celotno vsebino pokrije še s pokrovom in tako dobimo sestavljen števec.

4.1.3.2 Umerjanje števca

Elektronski števeci električne energije so merilni instrumenti in morajo ustrezati posameznim standardom, ki predpisujejo merilno točnost, odpornost na motnje, mehanske lastnosti, itd... Vsem zahtevam standardov lahko ugodimo s konstrukcijo števca, kalibracijo merilne točnosti pa moramo izvajati v proizvodnem procesu na vsakem števcu posebej. Merilni del števca sestavljajo različne komponente z večjimi ali manjšimi tolerancami, zato merilne krivulje ni možno vnaprej definirati.

Umerjanje števecv poteka na dva načina. Pri enem tipu števecv umerjanje izvajamo s spreminjanjem elektronskih komponent (uporov) v merilnem delu na tiskanem vezju, pri drugem tipu števecv pa korekcijske konstante za posamezne merilne veličine vpisujemo v posebne registre procesorja oz. merilnega čipa. V obeh primerih upore oz. korekcijske konstante izračunava računalnik. Vsak neumerjen števec pri umerjanju primerjamo z referenčnim števcem, mu izračunamo pogrešek in na podlagi tega določimo nove vrednosti uporov oz. korekcijskih konstant.

4.1.3.3 Parametriranje

Večina elektronskih števecv poleg merjenja in prikaza porabljene energije omogoča tudi druge funkcije, kot so:

- merjenje energije v različnih tarifnih časih
- koledarska ura
- komunikacijski vmesniki
- impulzni izhodi, tarifni vhodi
- kazalnik maksimalne moči
- omejevalnik bremena

Kupci imajo različne zahteve glede funkcionalnosti števca, ki jo določata mehanska opremljenost števca in programska podpora. Tako je po umerjanju potrebno v vsak števec preko komunikacijskega vmesnika vpisati tudi program, ki vsebuje parametre, kateri določajo delovanje števca za posameznega kupca. Temu postopku pravimo parametriranje.

4.1.3.4 Končna kontrola

Kljub kontroli ustreznosti posameznih podsestavov, ki tvorijo celoten števec, je na koncu potrebno preveriti delovanje vseh funkcionalnosti števca. Končno kontrolo lahko razdelimo na dva dela. En del predstavlja kontrolo merilne točnosti pri različnih obremenitvah, drug del kontrolo ostalih funkcionalnosti števca, kot so delovanje vhodov in izhodov, delovanje komunikacije, preverjanje vrednosti registrov, itd... Največkrat že sam kupec predpiše, katere meritve je potrebno izvesti.

Večji del kontrole poteka avtomatsko, včasih pa je vmes prisotno še nekaj ročnega dela (kontrola številčnikov). Po končani kontroli računalnik pripravi za vsak števec s svojo tovarniško številko še protokol z vsemi rezultati meritev. Protokol se hrani v elektronski obliki za primer odpovedi ali reklamacije.

4.1.4 Kakovostne zahteve

Zadnje čase kupci zahtevajo vse večji vpogled in nadzor nad kvaliteto izdelave pri proizvajalcu števecv. Zanima jih način obvladovanja kakovosti vhodnih materialov,

obvladovanje proizvodnega procesa, sledenje izdelkov, upoštevanje standardov in na koncu seveda kakovost izdelkov. Kupci skušajo s tem čim bolj zmanjšati možnost nastanka systemske napake na števcu in povečati kvaliteto vgrajenih števcv pri strankah. Odkritje in zamenjava slabega števca pri stranki predstavlja elektrodistribuciji velik strošek in nezadovoljstvo stranke.

Zagotavljanje kvalitete izdelave elektronskih števcv z napravami, kjer ni prisoten vpliv človeškega faktorja, je za kupca pomemben parameter pri izbiri dobavitelja. In strojni vid je vsekakor ena izmed teh naprav.

4.2 Analiza strojnega vida na posameznih operacijah

Analiza je bila izvedena za tista delovna mesta, kjer smo menili, da bi bila uporaba strojnega vida upravičena. Izhajali smo iz dejstva, da prikažemo osnovne stroške strojne opreme (kamera, objektiv, enota za procesiranje), medtem ko izdelave programske opreme nismo upoštevali. Razlog za to je bila odločitev, da sami v podjetju osvojimo programiranje z "vision" modulom LabView-ja (osnovne module že poznamo) in hkrati izdelamo tudi aplikacije. Izdelki se hitro spreminjajo, prav tako njihove funkcije, zato bi s takim načinom dela, lahko maksimalno sledili spremembam v proizvodnem procesu.

Za lažji (primerljiv) izračun stroškov smo uporabili sledeče osnovne gradnike (tabela 6):

osnovni gradniki	vrednost*
enota za procesiranje; NI 1450 Compact vision system	3550
LCD monitor 17"	420
kamera; 1/4" CCD, 640 x 480, monocrome, FireWire	330
kamera; 1/3" CCD, 1024 x 768, monocrome, FireWire	720
objektiv navaden; format 2/3 inch, gorišč. razdalja 8,5mm, zaslonka 1,5 - zaprto	85
objektiv za merjenje; format 2/3 inch, gorišč. razdalja	185

25mm, zaslonka 1,4 - 16	
osvetlitev; LED modul, bela svetloba	350
kabli; FireWire, osvetlitev, mreža	100

Tabela 6: Osnovni gradniki in njihove vrednosti

* Vrednosti je tabeli 6 in tudi v nadaljevanju so izražene s točkami. Na dan 1. 1. 2005 je bila vrednost ene točke enaka vrednosti 1€.

4.2.1 Kontrola sestave številčnika

Številčnik je eden od pomembnih elementov števca električne energije. Prikazuje porabljeno energijo in v primeru njegove odpovedi je celotno delovanje števca brezpredmetno. Številčnik je sestavljen iz (slika 18):

- kolotov na katerih so številke od 0 do 9
- pastorkov, ki skrbijo ob prehodu iz 9 v 0 za obrat predhodnega koluta
- osi za kolute in pastorka
- nosilnega okvirja
- zobniškega prenosa
- in navadno tudi koračnega motorčka.



Slika 18: Številčnik s koračnim motorjem

Po sestavi številčnika v posebni pripravi delavec izvede tudi kontrolo. Številčniku najprej vizualno pregleda odstotek ujemanja zobnikov, nato pa še s posebno merilno ploščico preveri zračnost zobnikov. Na koncu vstavi številčnik še v posebno vpenjalo, s katerim preveri, ali motor preko zobnika pravilno žene kolute.

Operacija kontrole je močno odvisna od človeškega faktorja, zato bi jo lahko nadomestili s strojnim vidom.

Zahteve:

Osnovne zahteve za kontrolo sestave številčnika so prikazane v tabeli 7.

parameter	opis
namen strojnega vida	1. izmeriti ujemanje zobniškega prenosa od 0 do 100%, točnost $\pm 2,5\%$ 2. izmeriti zračnost med zobniki od 0,0mm do 0,5mm, točnost $\pm 0,02\text{mm}$
strojni takt	30 sekund
način izvedbe	nadgradnja obstoječega vpenjala
način javljanja dober / slab	signalizacija "zelena" luč za dober signalizacija "rdeča" luč za slab
čas amortizacije	3 leta
pozicioniranje	številčnik vstavljen v vpenjalo, točnost pozicije $x,y = \pm 1\text{mm}$, $z = \pm 0,5\text{mm}$
dodatne zahteve	rezultati testa se po ethernetu vpišejo na strežnik v bazo dobrih ali slabih številčnikov

Tabela 7: Zahteve za kontrolo sestave številčnika

Predlagana rešitev:

Za izvedbo predhodno opisanih zahtev potrebujemo dve kameri, pritrjeni na obstoječe vpenjalo (tabela 8 in 9). Prva kamera bi z vrha merila zračnost kolute, druga kamera pa bi s

strani merila ujemanje zobnikov. Vpliv zunanje svetlobe bi omejili z ustreznim ohišjem (pokrovom).

kamera 1	opis
namen kamere	merjenje zračnosti kolutov
položaj kamere	z vrha
tip kamere	1/4" CCD, 640 x 480, monocrome, FireWire
tip objektiva	format 2/3 inch, f 8,5mm, F 1,5 - zaprto
položaj osvetlitve	z vrha, z vsake strani kamere po eden modul pod kotom
tip osvetlitve	dva LED modula
enota za procesiranje	NI 1450 Compact vision system

Tabela 8: Predlagana rešitev za kontrolo sestave številčnika – kamera 1

kamera 2	opis
namen kamere	merjenje ujemanja zobnikov
položaj kamere	s strani
tip kamere	1/4" CCD, 640 x 480, monocrome, FireWire
tip objektiva	format 2/3 inch, f = 8,5mm, F = 1,5 - zaprto
položaj osvetlitve	s strani, nasproti kamere
tip osvetlitve	LED modul + difuzor
enota za procesiranje	NI 1450 Compact vision system

Tabela 9: Predlagana rešitev za kontrolo sestave številčnika – kamera 2

Za obe vrsti meritve lahko uporabimo enaki kameri. Pri velikosti merjenca 10mm čez celotno širino zaslona pomeni ločljivost piksla 0,015mm. Premik merjenca po X ali Y osi ne vpliva na točnost meritve, premik po Z osi za 0,5mm pa pomeni napako meritve 0,36% izmerjene vrednosti. To pomeni, da je pri izmerjeni vrednosti zračnosti kolutov 0,4mm pogrešek zaradi premika po Z osi $\pm 0,00144$ mm, pogrešek zaradi natančnosti 1 piksla pa $\pm 0,015$ mm. Skupaj torej $\pm 0,0164$ mm, kar je dovolj natančno glede na zahteve, ki so $\pm 0,02$ mm.

S predlaganim načinom kontrole s strojnim vidom prihranimo pri vsakem številčniku 12s vizualne kontrole, hkrati pa pridobimo bazo meritev za posamezne številčnike.

Ocena stroškov:

V nadaljevanju sta prikazani tabeli za stroške (tabela 10) in prihranke (tabela 11) pri triletni amortizaciji:

opis stroškov	vrednost
strojna oprema (kamera, objektiv, proc. enota, kabli)	5.530
predelava vpenjala	680
vzdrževanje 3 leta	500
SKUPAJ	6.710

Tabela 10: Stroški sistema za kontrolo sestave številčnika

Pri letni izdelavi 160.000 številčnikov prihranimo povprečno 534 ur. Upoštevani direktni stroški so 12 točk / uro.

opis prihrankov /leto	1. leto	2. leto	3. leto	SKUPAJ
vrednost prihrankov časa	6408	6408	6408	19.224

Tabela 11: Prihranki sistema za kontrolo sestave številčnika

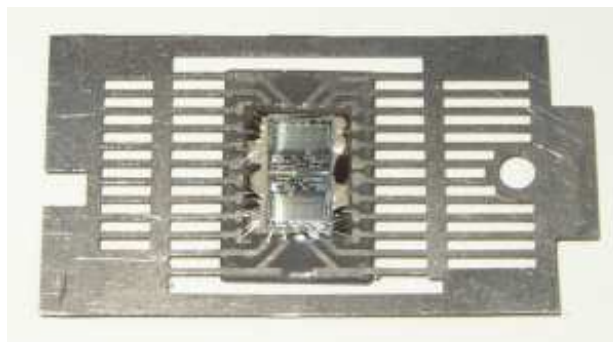
Sklep:

Če upoštevamo izdelavo programske opreme v lastnem podjetju, lahko materialne stroške pokrijemo že v dobrem letu. Pri amortizacijski dobi tri leta in povečanju kvalitete podsestavov lahko opravičimo tudi izdelavo programske opreme.

4.2.2 Bondiranje silicijeve tabletk

Bondiranje poteka v posebni napravi. Najprej je potrebno vstaviti spodnje keramično ohišje z nogicami na okvirju, in v katerem je silicijeva tabletk, v napravo ter zagnati postopek

bondiranja. Naprava s pomočjo kamere natančno določi koordinate okvirja in tabletko ter začne s povezovanjem. Tanko žico (debeline 0,02mm) s koluta privari na tabletko in nato na ustrezno nogico okvirja, kjer jo tudi odreže. Proces je končan, ko se postopek ponovi za vse nogice (slika 19). Število povezav se giblje od 10 do 25, odvisno od posamezne variante.



Slika 19: Dve silicijevi tabletki v spodnjem ohišju z okvirjem

Za operacijo bondiranja sledi ročna vizualna kontrola povezav in zvarov na posebnem mikroskopu. Operater si včasih pomaga še z majhno pinceto, s katero povleče žico, da preveri sumljive zware.

Omenjeno vizualno kontrolo zvarov lahko nadomestimo s strojnim vidom.

Zahteve:

Osnovne zahteve za bondiranje silicijeve tabletko so prikazane v tabeli 12.

parameter	opis
namen strojnega vida	preveriti kakovost zvarov in na zaslonu prikazati neustrezne
strojni takt	5 sekund za tabletko
način izvedbe	nov mikroskop s kamero in ustreznim vpenjalom
način javljanja dober / slab	signalizacija "zelena" luč za dobro tabletko signalizacija "rdeča" luč in pisk za slabo tabletko
čas amortizacije	3 leta
pozicioniranje	točnost pozicije silicijeve tabletko: $x, y = \pm 0,5 \text{ mm}$, $z = \pm 0,1 \text{ mm}$
dodatne zahteve	rezultati testa povezav se po ethernetu vpišejo na strežnik v bazo dobrih ali slabih

Tabela 12: Zahteve za bondiranje silicijeve tabletko

Predlagana rešitev:

Ustrezno ugotavljanje kakovosti zvarov lahko dosežemo z mikroskopom, ki ima poleg stereo okularja tudi nastavek za kamero. Spodnje keramično ohišje s silicijevo tabletko vstavimo v posebno ležišče mikroskopa, preko katerega kamera zajema sliko. Mikroskop omogoča uporabo posebnih filtrov in osvetlitve za lažje prepoznavanje kvalitete zvara. Aplikacija bi obdelala sliko in operaterju sporočila, ali so vsi zvari dobri ali ne. Hkrati bi operater na monitorju lahko videl, kateri zvar ni ustrezen. Mikroskopu je treba fiksirati gumbe za povečavo in ostrino, ter primerno izolirati merjenec od motenj zunanje svetlobe.

kamera	opis
namen kamere	zajemanje slike zvarov in povezav
položaj kamere	pritrjena na mikroskop
tip kamere	1/3" CCD, 1024 x 768, monocrome, FireWire
tip objektiv	/
položaj osvetlitve	s strani mikroskopa
tip osvetlitve	LED modul
enota za procesiranje	NI 1450 Compact vision system

Tabela 13: Predlagana rešitev za bondiranje silicijeve tabletko

Pri kameri ločljivost 1024 x 768 in velikosti objekta 10mm pomeni 1 piksel približno 0,01mm. Pri zaznavanju zvarov velikosti 0,04mm in debelini žice 0,02mm je kakovost slike dovolj dobra, da lahko računamo na veliko zanesljivost delovanja sistema (tabela 13). Mikroskop s svojim okularjem hkrati ponuja tudi možnost dodatnega presojanja kvalitete zvara s strani operaterja. Človekove izkušnje in 3D vid še vedno predstavljajo pomembne informacije pri odločitvi.

S predlaganim načinom kontrole s strojnim vidom prihranimo pri vsakem čipu okrog 10s.

Ocena stroškov:

V nadaljevanju sta prikazani tabeli za stroške (tabela 14) in prihranke (tabela 15) pri triletni amortizaciji:

opis stroškov	vrednost
strojna oprema (kamera, enota za procesiranje, LCD monitor, kabli)	4.790
mikroskop, osvetlitev, vpenjalo	3.800
vzdrževanje 3 leta	400
SKUPAJ	8.990

Tabela 14: Stroški sistema za bondiranje silicijeve tabletko

Pri letni izdelavi 800.000 čipov prihranimo povprečno 10s na čip. Pri direktnih stroških 12 točk / uro prihranimo na leto 26.667 točk.

opis prihrankov /leto	1. leto	2. leto	3. leto	SKUPAJ
vrednost prihrankov časa	26.667	26.667	26.667	80.000

Tabela 15: Prihranki sistema za bondiranje silicijeve tabletko

Sklep:

Z uvedbo strojnega vida pri kontroli zvarov z mikroskopom bi največ pridobili z bolj humanim delom, računamo pa tudi na boljšo kakovost izdelanih kosov. Z velikim prihrankom časa bomo lahko opravičili tudi stroške izdelave aplikacije.

4.2.3 Kontrola vstavljenih komponent tiskanega vezja

Za specifične operacije v proizvodnem procesu je navadno težko najti ustrezno napravo s strojnim vidom, ki bi zadovoljila naše potrebe. Pri izdelavi tiskanih vezij pa ni tako. Proizvodni proces je znan in se od proizvajalca do proizvajalca le malo razlikuje. Zato je trgu tudi veliko ponudnikov, ki ponujajo tovrstne naprave. Navadno so te naprave izredno drage, vendar imajo tudi zelo izpopolnjeno programsko opremo z vsemi knjižnicami komponent. To pomeni, da v zagonski fazi ni potrebno odpravljati napak v programu, da je fleksibilnost programa izredno velika in da je dobavni rok naprave krajši, saj ni potrebno razvijati programske opreme za vsakega kupca posebej.

Največji delež stroškov pri strojnem vidu za pregledovanju plošč tiskanega vezja zagotovo predstavlja programska oprema. Na vseh tiskanih vezjih lahko nastopa tudi tisoč in več različnih komponent, za katere je potrebno vnaprej pripraviti ustrezne parametre.

Pri drugih aplikacijah, kot so merjenje razdalj ali pregledovanje vsebine izdelka, se srečujemo samo z nekaj komponentami in njihovimi parametri, zato je programska oprema enostavnejša.

Naše znanje in uporaba standardnih gradnikov kot so kamere, objektivni, enota za procesiranje NI 1450 in programski paket LabView, ni primerno za fleksibilno operacijo pregledovanja plošč tiskanega vezja. V nadaljevanju je predstavljena Vision enota proizvajalca ASYS za kontrolo tiskanih vezij.

ASYS VISION System

Naprava je namenjena za "in line" kontrolo tiskanih vezij na SMD polagalnih linijah. Je samostojna naprava, ki se navadno nahaja na koncu linije. Programska oprema omogoča preverjanje:

- prisotnosti komponent
- orientacije komponent
- kvalitete spojev

Program je v osnovi razdeljen na tri sklope:

- CAD datoteko (vsebuje šifre artiklov z X, Y in Z koordinatami na plošči)
- kosovnico (povezava med šiframi artiklov in imeni komponent)
- bazo komponent (parametri, ki opisujejo komponento; orientacijo, dimenzije, spoje,...)

Za izdelavo programa, ki bo omogočal avtomatsko pregledovanje posameznega tiskanega vezja potrebujemo CAD datoteko in kosovnico, ki opisujeta vsebino in položaj komponent. Zraven je potrebno dopolniti še parametre za tiste komponente, ki niso definirani v bazi komponent.

Vse tri sklope povežemo med seboj in sestavimo "vision" program za pregledovanje plošče. Pripadajoča programska oprema določi pot, po kateri bo kamera zajemala slike, da pokrije

celotno področje tiskanega vezja. Hkrati na vsaki sliki že vnaprej definira komponente, katere pričakuje na ustreznem mestu.

Naprava ASYS VISION System deluje zelo zanesljivo in potrebuje 40 sekund za pregled povprečne plošče tiskanega vezja, ki se uporablja za izdelavo elektronskih števecov. Cena take naprave se giblje od 100.000 do 200.000 točk.

4.2.4 Kontrola končne montaže števca

Števec je merilni instrument in mora v svoji življenjski dobi čim kvalitetnejše opravljati svojo funkcijo. Pri končni montaži se v ohišje števca vgradijo različni podsestavi. Pravilen način njihove vgradnje močno vpliva na kakovost delovanja števca. Najpomembnejše operacije v smislu zagotavljanja kakovosti so:

- pravilno zataknjeno tiskano vezje v ohišje
- pravilno prispajkani vodniki številčnika
- pravilno prispajkani umerjevalni upori

Zadnja operacija je še posebej pomembna, saj se umerjevalni upori vstavljujejo na tiskano vezje šele po tem, ko je bil števec sestavljen in umerjen (slika 20).



Slika 20: Sestav števca

Števci se izdelujejo na avtomatski montažni liniji, kjer mora delavec pri sestavi sam za seboj preveriti pravilnost vgradnje in spajkanja elementov. Poleg tega pa delavec na koncu linije pregleda števec, če je avtomatski polagalnik pravilno položil in prispajkal umerjevalne upore.

V praksi se je pokazalo, da kljub 100% vizualni kontroli na liniji kakovost izdelkov ni brezhibna.

Zahteve:

Osnovne zahteve za kontrolo končne montaže so prikazane v tabeli 16.

parameter	opis
namen strojnega vida	1. preveriti pravilno zataknenost tiskanega vezja v ohišje 2. preveriti prispajkanost vodnikov številčnika na tiskano vezje 3. preveriti prisotnost in prispajkanost 14 umerjevalnih uporov
strojni takt	20 sekund
način izvedbe	samostojna naprava na BOSCH transportnem traku
način javljanja dober / slab	signalizacija "zelena" luč za dober signalizacija "rdeča" luč za slab
čas amortizacije	3 leta
pozicioniranje	števec na paleti, točnost pozicije X,Y,Z = $\pm 0,2$ mm
dodatne zahteve	rezultati testa se po ethernetu vpišejo na strežnik v bazo

Tabela 16: Zahteve za kontrolo končne montaže

Predlagana rešitev:

Kamero bi namestili navpično nad transportni trak, kjer se ustavi števec na paleti. Za osvetlitev bi potrebovali štiri osvetlitvene module. Vpliv zunanje svetlobe bi izločili s primernim ohišjem.

kamera	opis
namen kamere	zajem notranjosti števca (ca. 15 x 15cm)
položaj kamere	z vrha

tip kamere	1/4" CCD, 640 x 480, monocrome, FireWire
tip objektiva	format 2/3 inch, f 8,5mm, F 1,5 - zaprto
položaj osvetlitve	z vrha, z vsake strani kamere po dva modula pod kotom
tip osvetlitve	štirje LED moduli
enota za procesiranje	NI 1450 Compact vision system

Tabela 17: Predlagana rešitev za kontrolo končne montaže

Pri zajemu slike velikosti 15cm bi s predlagano kamero dosegli ločljivost 1 piksla 0,23mm. Najmanjši element na sliki je spajkalno očesce premera 1,5mm, tako da na ta način dosežemo ustrezno kvaliteto razpoznavanja vzorcev (tabela 17).

S strojnim vidom tako lahko prihranimo pri vsaki montaži števca 4s za vizualni pregled in 6s za pregled umerjevalnih uporov na koncu linije.

Ocena stroškov:

V nadaljevanju sta prikazani tabeli za stroške (tabela 18) in prihranke (tabela 19) pri triletni amortizaciji:

opis stroškov	vrednost
strojna oprema (kamera, objektiv, enota za procesiranje, osvetlitev, kabli)	5465
ohišje	1100
vzdrževanje 3 leta	300
SKUPAJ	6.865

Tabela 18: Stroški sistema za kontrolo končne montaže

Pri letni izdelavi 150.000 števecov na eni liniji prihranimo povprečno 416 ur. Upoštevani direktni stroški so 12 točk / uro.

opis prihrankov /leto	1. leto	2. leto	3. leto	SKUPAJ
vrednost prihrankov časa	4992	4992	4992	14.976

Tabela 19: Prihranki sistema za kontrolo končne montaže

Sklep:

Materialni stroški se pokrijejo prej kot v poldrugem letu. V obdobju treh let lahko opravičimo tudi izdelavo programske opreme.

4.2.5 Preverjanje mostičkov pri pakiranju

Števci imajo zaradi enostavnega načina izdelave in kontrole možnost ločitve tokovnega in napetostnega merilnega tokokroga. Na koncu proizvodnega procesa je za pravilno delovanje števca v električnem omrežju potrebno ta dva tokokroga skleniti s posebnim mostičem. V priključnem delu se na vsaki fazi števca odvijeta po dva vijaka, potem se premakne kovinski mostiček v zaprti položaj in na koncu se ta dva vijaka zopet privijeta.

Operacija se izvaja na koncu pakirne linije, preden se števec vstavi v kartonsko embalažo. Ker delavec ni 100% zanesljiv pri svojem delu, se zgodi, da tudi kakšen števec z odprtimi sponkami uide h kupcu.

Zahteve:

Osnovne zahteve za preverjanje mostičkov so prikazane v tabeli 20.

parameter	opis
namen strojnega vida	1. preveriti sklenjenost mostičkov 2. preveriti prisotnost matic v priključnem delu
strojni takt	10 sekund
način izvedbe	samostojna naprava na BOSCH transportnem traku
način javljanja dober / slab	signalizacija "zelena" luč za dober signalizacija "rdeča" luč + zvočni signal za slab
čas amortizacije	3 leta

pozicioniranje	števec na paleti, točnost pozicije $z = \pm 1\text{mm}$, števec ima poljubno orientacijo na paleti 32 x 32cm
dodatne zahteve	stikalo za izbiro različnih tipov števecov

Tabela 20: Zahteve za preverjanje mostičkov

Predlagana rešitev:

Kamero bi namestili navpično nad transportni trak, kjer se ustavi števec na paleti. Za osvetlitev bi potrebovali štiri osvetlitvene module. Vpliv zunanje svetlobe bi izločili s primernim ohišjem. Izbiro tipa števecov (en mostič, trije mostiči, brez mostičev), bi izvedli s posebnim stikalom. Poleg razpoznavanja položaja mostiča bi lahko izvedli tudi preverjanje prisotnosti dveh matic v priključnem delu. Te matice bi moral zagotoviti že dobavitelj, vendar se tudi kdaj zgodi, da kakšna manjka. Števec brez te matice ni primeren za vgradnjo.

kamera	opis
namen kamere	zajem števca (ca. 32 x 32cm)
položaj kamere	z vrha
tip kamere	1/4" CCD, 640 x 480, monocrome, FireWire
tip objektiv	format 2/3 inch, f 8,5mm, F 1,5 - zaprto
položaj osvetlitve	z vrha, z vsake strani kamere po dva modula pod kotom
tip osvetlitve	štirje LED moduli
enota za procesiranje	NI 1450 Compact vision system

Tabela 21: Predlagana rešitev za preverjanje mostičkov

Ločljivost 1 piksla je pri zajemu slike 32 x 32cm 0,5mm, kar je dovolj za preverjanje mostička in matice (tabela 21).

S strojnim vidom ne bi na liniji prihranili nič časa. Bi pa sigurno zmanjšali število reklamacij in povečali zadovoljstvo kupcev. Glede na izbrane podatke so stroški takih reklamacij povprečno 4.200 točk na leto.

Ocena stroškov:

V nadaljevanju sta prikazani tabeli za stroške (tabela 22) in prihranke (tabela 23) pri triletni amortizaciji:

opis stroškov	vrednost
strojna oprema (kamera, objektiv, enota za procesiranje, osvetlitev, kabli)	5465
ohišje	1400
vzdrževanje 3 leta	300
SKUPAJ	7.165

Tabela 22: Stroški sistema za preverjanje mostičkov

opis prihrankov /leto	1. leto	2. leto	3. leto	SKUPAJ
vrednost prihrankov časa	4.200	4.200	4.200	12.600

Tabela 23: Prihranki sistema za preverjanje mostičkov

Sklep:

Materialni stroški se pokrijejo prej kot v drugem letu. Če pa upoštevamo še zadovoljstvo kupcev in kakšno dodatno naročilo, pa projekt ne bi smel biti sporen.

5. Uvedba strojnega vida pri registraciji številčnika in delovanju displeja

V tem poglavju je opisan postopek projektnega osvajanja strojnega vida na liniji ME160, kot je predlagan v poglavju 3. Podrobno so prikazane posamezne faze projekta od začetka pa do implementacije sistema.

5.1 Proces izdelave števca na liniji ME160

Današnji boj za trg oz. kupce števecov zahteva od proizvajalcev čim nižje stroške proizvodnje ob konstantni in obvladljivi kvaliteti. Eno od takih rešitev ponujajo proizvodne linije, kjer je delo avtomatizirano in kjer človeški faktor malo vpliva na kvaliteto.



Slika 21: Števec ME160

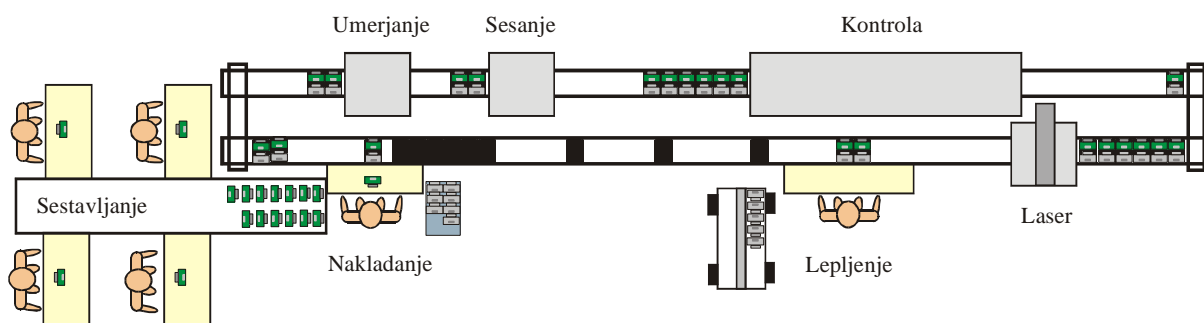


Slika 22: Števec ME161

Enofazna elektronska števec ME160 z mehanskim številčnikom (slika 21) in ME161 z displejem (slika 22) sta bila že v času razvoja zasnovana tako, da jih bo možno čim enostavneje izdelovati na liniji. Na izgled sta to enaka števec, le da prvi lahko meri energijo le v eni tarifi, drugi števec pa na displeju lahko prikaže do štiri tarife. Konstrukcija izdelka je takšna, da lahko posamezne operacije enostavno in poceni avtomatiziramo. Včasih to za sabo potegne malenkost dražje sestavne dela, vendar kasneje prihranimo pri izdelavi in pri zagotavljanju kvalitete.

Števca sta si konstrukcijsko zelo podobna, zato jih izdelujemo na isti montažni liniji (slika 23), ki vsebuje sledeče operacije:

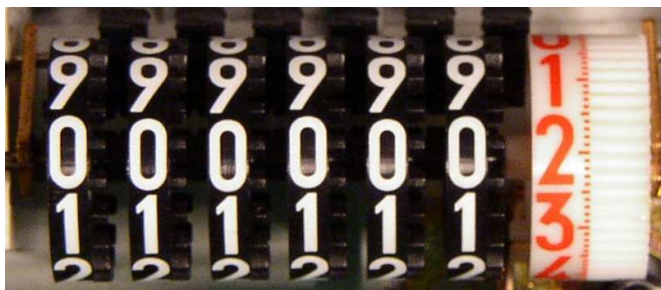
- sestavljanje
- ročna optična kontrola sestave števca in lepljenje sledljivostne nalepke
- umerjanje
- tresenje in sesanje vsebine
- končna kontrola
- vpis čelne plošče z laserjem
- lepljenje ohišja



Slika 23: Montažna linija ME16X

Montažna linija predstavlja končno montažo izdelka, kar pomeni, da vse sestavne dele dobimo pripravljene od dobaviteljev na posamezno delovno mesto.

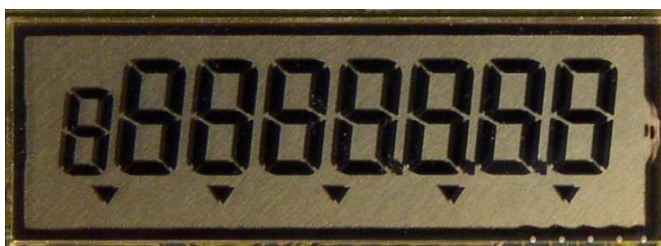
Ena od pomembnih montažnih operacij je tudi vizualno pregledovanje displeja oz. mehanskega številčnika, kjer se ugotavlja, če pravilno prikazujeta stanje porabljene energije. Pri mehanskem številčniku (slika 24) ga izvajamo tako, da najprej ročno popišemo začetno stanje energije na številčnici, doziramo znano količino energije in ponovno popišemo končno stanje. Razlika popisanega stanja mora biti enaka dozirani energiji. Zaradi ročnih vnosov podatkov v računalnik (ročni terminal) velikokrat prihaja do napak, kar po nepotrebnem zvišuje stroške izdelave.



Slika 24: Številčnik

Ustreznost prikaza energije na displeju (slika 25) preverjamo na tri načine:

- Delovanje segmentov preverjamo tako, da procesor preko ukaza vključi vse segmente in vizualno pregledujemo, če so na vseh mestih prikazane pravilne oznake (osmice, puščice,...).
- Pravilno registracijo preverjamo z avtomatskim odčitavanjem začetnega in končnega stanja registra energije v pomnilniku in preverjamo z znano dozirano energijo.
- Pravilno delovanje puščic za prikaz tarifnih vhodov preverjamo tako, da spreminjamo tarife in očno opazujemo prižgane puščice na displeju.



Slika 25: Displej

Nezanesljivost vizuelnega pregledovanja in vpliv človeškega faktorja na kvaliteto izdelave sta botrovali odločitvi, da skušamo to ročno operacijo nadomestiti s sistemom strojnega vida.

5.2 Primer projektnega osvajanja

Ponavadi, ko se pojavi potreba po vpeljavi nove tehnologije v proizvodnjo, se nam začnejo porajati različna vprašanja. Na kakšen način bomo to storili? Ali imamo dovolj znanja? Ali je v našem podjetju kdo, ki je to že kdaj uporabljal, itd...

V našem primeru smo se lotili osvajanja sistema s strojnim vidom na način, ki je opisan v poglavju 3. To je projektni način osvajanja. V nadaljevanju bodo podrobno opisane samo tiste faze projekta, ki so najbolj pomembne.

5.2.1 Začetek projekta

Od strojnega vida smo pričakovali enake funkcije, kot jih je do sedaj opravljal človek. Potrebno je bilo definirati zahtevnik, ki je vseboval tiste aktivnosti, ki so opisane v poglavju 3.1. Zahtevnik je navadno težko sestaviti, saj vedno obstaja kup vprašanj, na katere je v tistem trenutku težko odgovoriti. Je pa izredno pomembno, da zahtevnik kvalitetno sestavimo, saj je od tega odvisna tudi kvaliteta realizacije projekta. Za hitrost realizacije projekta pa je pomembno, da se v času izvajanja projekta zahtevnik ne spreminja.

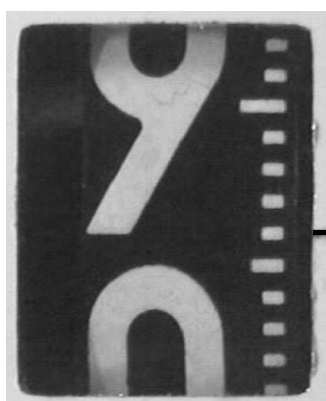
5.2.2 Izdelava zahtevnika

Zahtevnik smo izdelali na podlagi predloge, ki je opisana v poglavju 3.1. Vseboval je tiste podatke, ki so bili pomembni za ustrezno delovanje.

Proizvodni proces

- Načrtovana doba proizvodnje obeh števecv je 6 let.
- Takt procesa na liniji za en števec je 20s.

- Strojni vid je predviden na montažni liniji "in line". Vgrajen bo na obstoječo napravo "umerjanje". Števec je pozicioniran na mirujoči paleti. Z zgornje strani je 60 cm prostora za navpičen dostop do vzorca. Ta prostor je zaprt s pleksi steklom in ga je možno zatemniti.
- V obstoječi napravi "umerjanje" se umerjata po dva števca naenkrat, torej je takt linije za dva števca 40s. Umerjanje dveh števcov traja 30s, ostali čas pa je lahko namenjen strojnemu vidu za zajem in obdelavo podatkov.
- Na napravi "umerjanje" se 100% pregledujejo vsi števci.
- Velikost polja na števcu, ki ga zajemamo, je 5cm x 2cm.
- Natančnost zajema slike predstavljajo črtice na kolutu številčnika, ki so debele 0,3mm in oddaljene 0,4mm ena od druge (slika 26). Sistem mora razpoznati vrednost odhajajoče številke in število črtic naprej od sredine številke (npr. vrednost na sliki 26 je 9,4).



Slika 26: Natančnost zajema slike koluta številčnika

Aplikacija

- Aplikacija bo delovala v okviru programa za umerjanje števcov. Računalnik za umerjanje bo komuniciral s strojnim vidom in ga spraševal po določenih podatkih.
 - Števec ME160: na vprašanje umerjevalnega programa, kakšno je stanje na mehanskem številčniku, mora aplikacija strojnega vida odgovoriti z osemestno vrednostjo XXXXXX,XX.

- Števec ME161: na vprašanje, ali svetijo vsi segmenti, je odgovor aplikacije lahko DA ali NE. Na vprašanje, katera puščica sveti na displeju, pa je lahko odgovor 1, 2, 3 ali 4. Odvisno katera od štirih puščic sveti.
- Kateri kosi so dobri in kateri ne, se odloča umerjevalni program v okviru obstoječe aplikacije.
- Dopustno število napačnih odločitev (odgovorov) sistema za strojni vid je 0,1%.

Vzorci

- Imamo dva različna vzorca. Številčnik pri števcu ME160 (slika 27) in displej pri števcu ME161 (slika 28). Velikost obeh vzorcev je 6cm X 2cm. Številčnik je sestavljen iz valjev, narejenih iz polirane plastike, displej pa je na vrhu pokrit s steklom. Površina valjev številčnika je ukrivljena, površina displeja pa je ravna. Zaradi gladkih materialov obstaja nevarnost pojavljanja odbleskov.



Slika 27: Odčitavanje številčnika



Slika 28: Odčitavanje displeja

- Vzorci so v umerjevalni napravi pozicionirani na paleti s točnostjo po X in Y osi $\pm 0,2\text{mm}$ in po Z osi $\pm 0,1\text{mm}$.
- Ozadje vzorca pri številčniku je ohišje števca – sive barve, ozadje displeja pa je plošča tiskanega vezja temno zelene barve.

Uporabniški vmesnik

- Pričakovana izobrazba operaterja je poklicna ali srednja šola tehnične smeri. Zahtevano je osnovno znanje računalništva.
- Pri samem delovanju ne nastopa uporabniški vmesnik, saj umerjevalni program komunicira s strojnim vidom preko ukazov. Uporabniški vmesnik pa je potreben za testiranje. Na namizju se mora nahajati ikona za zagon testnega programa. Ob zagonu se mora pojaviti okno za vnos gesla. Po uspešni prijavi se odpre osnovno okno, v katerem se v menijski vrstici nastavijo uporabniki in gesla za prijavo ter parametri za komunikacijo. Na levi strani osnovnega okna morajo biti izbirne vrstice za vsa možna vprašanja (stanje številčnika, ali svetijo vsi segmenti, katera puščica je prižgana), na desni pa tipka "pošlji" ukaz. Spodaj v osnovnem oknu je polje za odgovor.
- Varnost nad parametri programa je zagotovljena s prijavo v testni program. Za primer odpovedi računalnika pa morajo biti vsi podatki potrebni za delovanje strojnega vida (program, učna množica, osnovni parametri,...) shranjeni na CD-ju.
- Shranjevanje podatkov v okviru strojnega vida ni potrebno, saj je ta aktivnost realizirana v okviru umerjanja.

Strojni vmesnik

- Komunikacija z operaterjem naj poteka preko osebnega računalnika na umerjanju.
- Komunikacija sistema s strojnim vidom in računalnikom za umerjanje je lahko preko Etherneta ali RS232 serijskega porta.
- Prikaz alarma v okviru te aplikacije ni potreben.
- Ostali priključki niso potrebni.

Okolica

- Temperatura v prostoru je $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, vibracije vzorcev in umerjevalne naprave ni, prostor je čist in klimatiziran.
- Gradniki sistema s strojnim vidom morajo biti iz takih materialov, ki niso ekološko sporni in se jih da čim več reciklirati.

Način testiranja v fazi zagona

- V fazi testiranja se bo testiralo 20 števecov s številčnikom in 20 števecov z displejem.
- Dopustno število napačnih odločitev (odgovorov) sistema za strojno vid v času zagona je 0,2%. Ta procent se mora v enem mesecu po koncu zagonske faze znižati na 0,1%.

Nadzor naprave

- Overjanje naprave poteka enkrat mesečno, ko operater s pomočjo testnega programa preveri, če aplikacija na vsa vprašanja odgovori pravilno.
- Kalibracija se izvaja samo ob povečanem številu napačnih odločitev sistema

Ekonomika

- Dobavni rok je 2 meseca ob sklenitvi pogodbe.
- Cenovni okvir je 8.000 – 12.000 točk.
- Garancija 1 leto.
- Rezervni deli morajo biti na voljo še 6 let po instalaciji.
- Vzdrževanje s strani ponudnika ni potrebno. V primeru dodatnih zahtev naročnik in ponudnik skleneta dodatno pogodbo.
- Sistem mora biti zgrajen modularno, kar pomeni, da se sistem lahko še nadgradi oz. se mu lahko deloma spremeni funkcionalnost.

Po odobritvi zahtevnika pri nadzorniku projekta smo definirali vodjo projekta in člane z različnih področij.

5.2.3 Projektni tim

Projektni tim so sestavljali tisti sodelavci, ki so s svojim znanjem pokrivali celoten spekter aktivnosti, ki so predvidene za izvedbo projekta. Potrdil ga je nadzornik in sledila je izdelava specifikacij.

5.2.4 Specifikacije projekta

Pri izdelavi specifikacij smo podrobno proučili celoten proizvodni proces, saj je bilo potrebno izbrati operacijo na liniji, ki bi jo bilo možno nadgraditi s strojnim vidom. Po kratki analizi smo ugotovili, da je zajem slike s kamero možno izvajati pri umerjanju števecov ali pri kontroli števecov. Pri obeh operacijah je števec priključen na napajanje in prikazuje stanje energije. Pravilno bi bilo, da bi avtomatski zajem slike izvajali na kontroli, tam se je ta operacija izvajala tudi ročno, vendar pa na liniji med umerjanjem in kontrolo ni ročnega poseganja, zato je možna tudi druga varianta.

Končna kontrola je daljša operacija, zato kontroliramo po šest števecov naenkrat, na umerjanju pa po dva, da lovimo takt 0,5 minute na števec. Če bi uvedli strojni vid na kontroli, bi potrebovali 6 kamer, na umerjanju pa samo dve. V obeh primerih bi se operacija podaljšala za okrog 4 sekunde. Pri kontroli bi to pomenilo podaljšanje takta linije za 4 sekunde, pri umerjanju pa ne, saj je ta operacija krajša od takta linije.

Odločitev o nadgradnji operacije umerjanja s strojnim vidom ni bila težka (slika 29).



Slika 29: Delovno mesto "umerjanje" na liniji ME160

Pri izbiri gradnikov sistema v smislu mehanskih komponent nismo predvidevali posebnih težav, saj je danes na trgu veliko proizvajalcev, ki ponujajo različne kamere, objektivne, osvetlitve in podobno. Večji problem nam je predstavljala izbira programske opreme. Iskali smo orodje, ki bo enostavno za programiranje in bo dovolj modularno zgrajeno, da bomo z njim lahko pokrili celoten spekter potreb v naši proizvodnji. Na koncu smo se odločili za Vision Module v okviru programskega paketa LabVIEW, proizvajalca National Instruments (NI).

Razlog za tako odločitev je bilo dejstvo, da v našem podjetju že uporabljamo izdelke tega proizvajalca (LabVIEW 7.0, krmilne enote, digitalne in analogne merilne kartice,...) in da naši procesni inženirji znajo delati s tem orodjem. Poleg tega NI zraven programske opreme ponuja tudi poseben real-time mini računalniški modul, na katerem se izvaja aplikacija in kamor lahko priključimo do tri kamere.

5.2.4.1 Zahtevnik

Zahtevnik je glaven vir informacij, kaj pričakujemo od projekta. Predstavlja izhodišča za izdelavo specifikacij in je podrobno opisan v poglavju 5.2.2.

5.2.4.2 Tehnične rešitve

Tehnične rešitve predstavljajo gradniki sistema in način njihove uporabe.

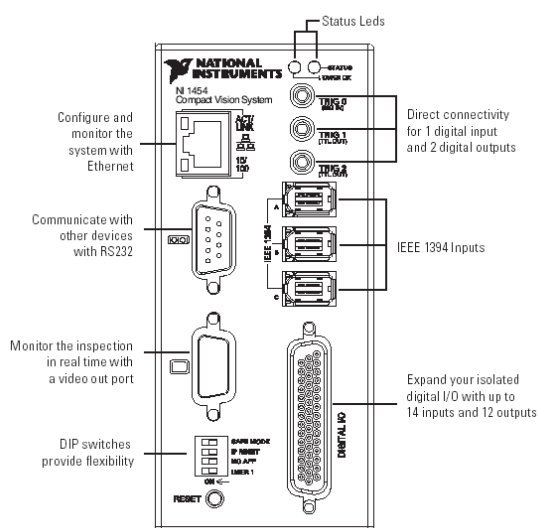
Gradniki sistema:

Enota za procesiranje

Glede na to, da smo se odločili za realizacijo strojnega vida s pomočjo LabVIEW-ja, smo pri istem proizvajalcu izbrali tudi enoto za procesiranje, na kateri se bo izvajala aplikacija. To je računalniški modul "NI 1450 Compact vision system" z vsemi ustreznimi vhodi in izhodi (slika 30). Zanj smo se odločili, ker potem ne potrebujemo industrijskega računalnika s posebnimi moduli za priklop dveh kamer, hkrati pa zraven dobimo tudi posebna razvojna orodja za izdelavo aplikacije.

Tehnični podatki za NI 1450 so [4]:

- zmogljiva enota za procesiranje za hitro obdelavo slik
- 128 MB RAM-a in 32 MB fiksnega pomnilnika
- trije FireWire vhodi za kamero
- Ethernet in RS232 vhod
- VGA izhod
- digitalni vhodi in izhodi
- pripadajoča programska oprema



Slika 30: Enota za procesiranje NI 1450 z vhodi in izhodi

Za izvajanje aplikacije potrebujemo program LabVIEW verzije 7.0 z modulom "Vision Development".

Kamera

Pri izbiri kamere smo izhajali iz dejstva, da je najmanjši vzorec, ki ga moramo razpoznati iz slike, decimalna črtica na zadnjem (belem) kolutu, ki je debela 0,3mm. Ker je kontrast rdeče barve na beli podlagi prej slab kot dober, lahko razberemo iz tabele 1, da je natančnost določitve položaja črtice okrog 1 piksla. Če vzamemo kamero z ločljivostjo vsaj 640 x 480 pikselov, pomeni to pri 6cm dolgem številčniku približno 1 piksel = 0,1mm. To je zadosti dobro za iskanje črtice debeline 0,3mm. Cenovno ustrezna kamera je prikazana na sliki 31.



Slika 31: Kamera z objektivom

Tehnični podatki kamere:

- | | |
|-----------------|---|
| Proizvajalec: | ImagingSource |
| Tip: | DMK 21F04 |
| Ostali podatki: | - 640 x 480 Monochrome
- 1/4" CCD progresive scan
- FireWire interface
- 30 Frames/sec.
- C/CS mount
- DCAM 1.04
- Programska oprema: <ul style="list-style-type: none">▪ WDM Stream Class driver▪ IC Capture – Saves images and AVI-s▪ IC Imaging Control – ActiveX, C++ Class Library▪ LabVIEW extension |

Objektiv

Za dober zajem slike potrebujemo poleg kamere tudi ustrezen objektiv. Pomagamo si s priporočili proizvajalca kamere, ki na svoji internetni strani ponuja tudi ustrezne objektivne. Pri izbiri smo upoštevali naslednje:

- oddaljenost predmeta od kamere
- velikost predmeta (vidno polje)
- dimenzije objektiva (možnost vgradnje)
- vrsto priključka na kameri
- kvaliteto slike
- ceno

Glede na vse zahteve smo izbrali objektiv Pentax Cosmocar C815B (slika 32).



Slika 32: Objektiv

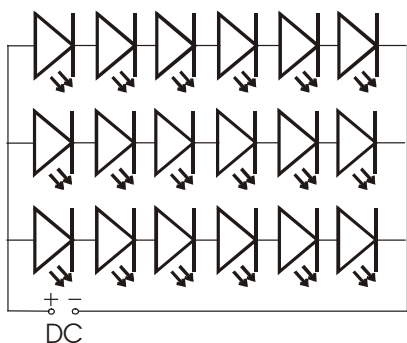
Tehnični podatki:

Proizvajalec:	Pentax
Tip:	Cosmocar C815B
Ostali podatki:	- odprtina 2/3" - goriščna razdalja 8,5mm - območje zaslonke: 1.5 - zaprta - nastavek C

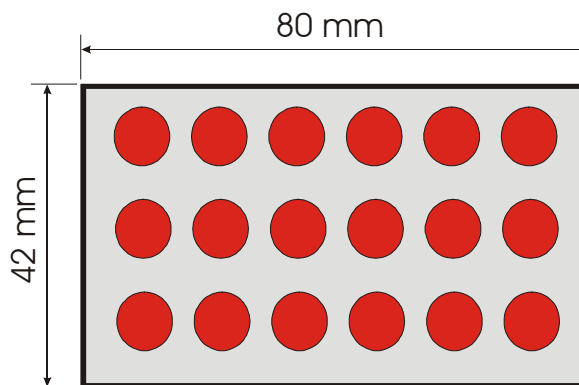
Osvetlitev

Osvetlitev mora biti primerna za obe vrsti vzorcev, to je za številčnik in displej. Ker imata oba vzorca gladke površine, je potrebno osvetlitev namestiti tako, da ni odbleskov. Zaradi tega smo že v osnovi izločili osvetlitev o obliki obroča, ki bi se namestil okrog objektiva. Izbrali smo po dva pravokotna panela rdečih LED diod za vsak števec (vzorec) z možnostjo regulacije svetilne moči. Panela bosta postavljena na vsaki strani števca in bosta pod kotom 45° osvetljevala displej oz. številčnik. Kamera pa bo z navpične strani zajemala sliko.

Enoto za osvetlitev sestavljajo 4 moduli z LED diodami (slika 34) in napajalnik s spremenljivo nastavitvijo izhodne napetosti. Vsak modul vsebuje tri vrste s po 6 rdečih LED diod s svetilnostjo 1000mCd (slika 33).



Slika 33: Električna shema osvetlitve



Slika 34: Razporeditev LED diod na panelu

Napajalnik za vse štiri panele ima izhodno napetost nastavljivo od 0 do 12V moči 5W. Nastavljanje izhodne napetosti nam omogoča spreminjanje svetilnosti panelov.

Ostala oprema

Za povezavo posameznih komponent potrebujemo:

- IEEE 1394 kabel za povezavo dveh kamer z enoto za procesiranje (2 kos, dolžine 1m).
- Ethernet kabel (dolžine 4 m)

Način izvedbe:

Vse komponente, našteje v prejšnjem poglavju, tvorijo sistem strojnega vida. Ta je povezan z računalnikom za umerjanje, ki je hkrati namenjen za parametriranje enote za procesiranje. Povezava poteka preko mrežnega kabla.

Kameri in paneli za osvetlitev so pritrjeni na posebne nosilce znotraj umerjevalne naprave. Ker je umerjevalna naprava zaprta s prozornim pleksi steklom, je potrebno zaradi eliminacije zunanje svetlobe prelepiti to steklo s posebno folijo, ki bo preprečevala vdor zunanje svetlobe v notranjost. Paleta s števci se pri pozicioniranju v umerjevalni napravi dvignejo nad transportni sistem, zato so pri zajemanju slike motnje zaradi vibracij zanemarljive.

Komunikacija med umerjevalnim računalnikom in enoto za procesiranje (tabela 24) bo potekala preko ASCII znakov in sicer:

UMERJEVALNA NAPRAVA	ENOTA ZA PROCESIRANJE		
	vprašanje	odgovor	opis
A1	xxxxxx,xx	stanje številčnika	F
A2	D	prižgani vsi segmenti	F
	N	niso prižgani vsi segmenti	
A3	1	prižgana 1. puščica	F
	2	prižgana 2. puščica	
	3	prižgana 3. puščica	
	4	prižgana 4. puščica	

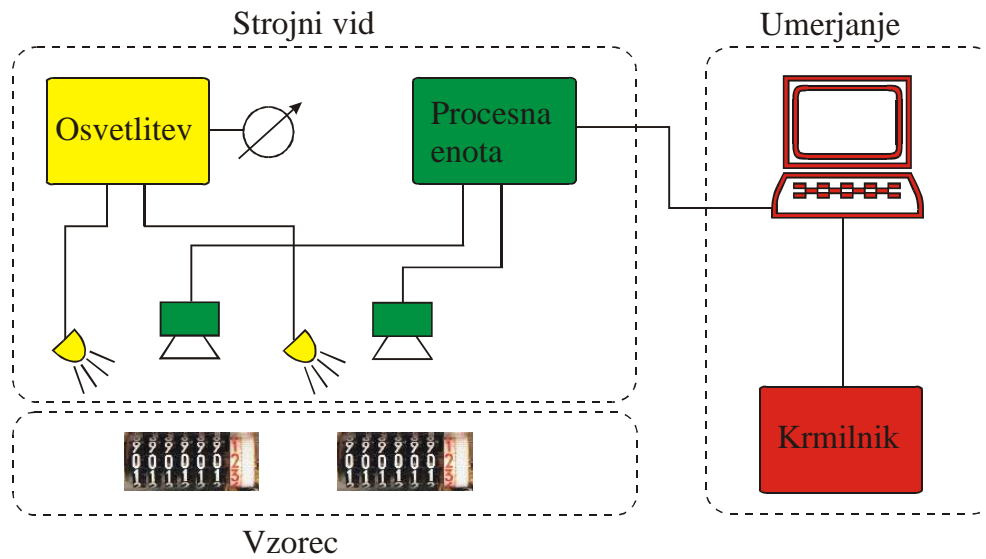
Tabela 24: Komunikacijska tabela

5.2.4.3 Zgradba sistema

Strojni vid na umerjevalni napravi predstavljajo:

- kameri z objektivom
- enota za procesiranje
- osvetlitev

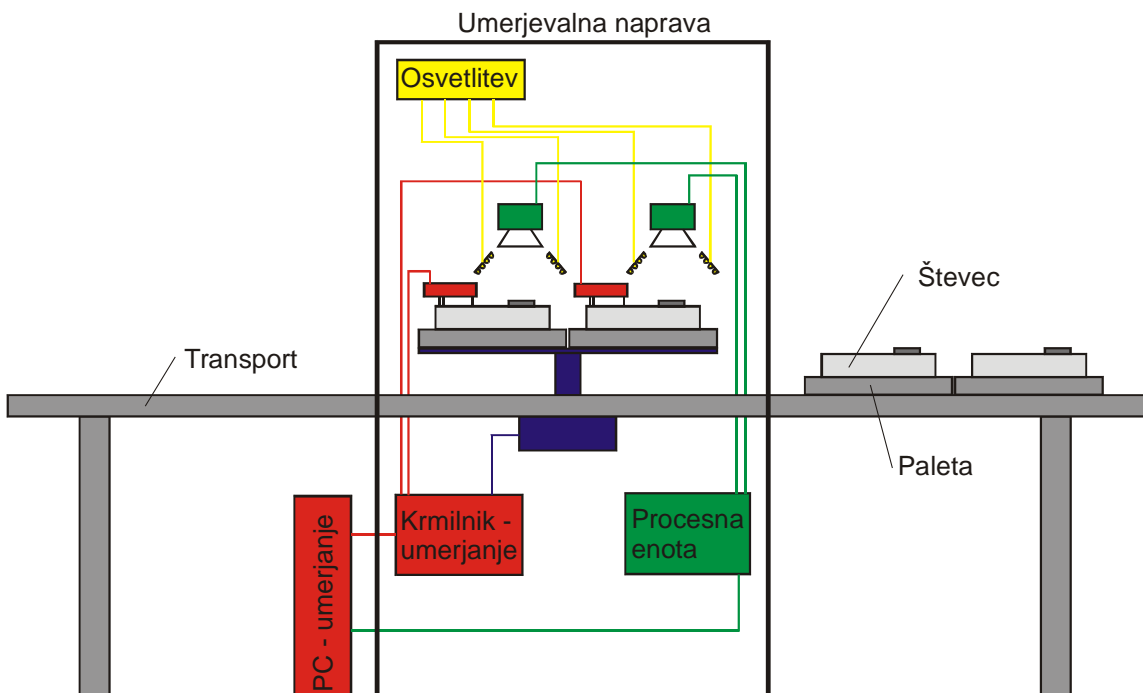
Način priključitve posameznih komponent in povezave z umerjevalno napravo je prikazan na sliki 35.



Slika 35: Blok shema komponent strojnega vida

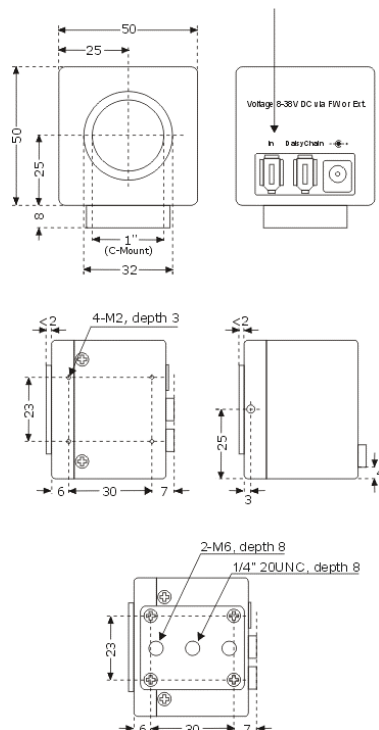
5.2.4.4 Konstruktivna rešitev

Na sliki 36 je prikazana konstruktivna rešitev nadgradnje umerjevalne naprave s sistemom strojnega vida. Z zeleno barvo je označen sistem za zajem in obdelavo slik, z rumeno pa osvetlitev.



Slika 36: Konstruktivna rešitev strojnega vida

Zgornji del ohišja (pleksi steklo), kjer so nameščene kamere, je potrebno prevleči s posebno folijo, ki ne prepušča svetlobe, zaradi izločitve vpliva zunanje svetlobe. Pritrditev kamer se izvede s pripadajočimi vijaki (slika 37).



Slika 37: Dimenzije kamere in način pritrditve

5.2.4.5 Ekonomska upravičenost projekta

Ekonomska analiza sistema s strojnim vidom prikazuje stanje prihrankov in stroškov v določenem časovnem obdobju, ki so posledica uporabe strojnega vida v proizvodnem procesu.

V nadaljevanju sta prikazani tabeli za stroške (tabela 25) in prihranke (tabela 26) pri triletni amortizaciji:

opis stroškov	vrednost [točke]
strojna oprema	10.380
programska oprema	5.750
ostalo*	1.875
vzdrževanje 1 leto	250

vzdrževanje 2 leto	180
vzdrževanje 3 leto	180
SKUPAJ	18.615

Tabela 25: Stroški sistema

* Pri stroških pod "ostalo" so upoštevani ostali nematerialni stroški brez programske opreme.

V povprečju prihranimo 8s pri enem števcu. Letno naredimo na liniji okrog 290.000 števecv. Direktni stroški v tej proizvodnji so 12 točk \ uro.

opis prihrankov /leto	1. leto	2. leto	3. leto	skupaj
prihranki na času [točke]	7.740	8.500	9.830	26.070
prihranki materiala [točke]	380	400	420	1200
ostalo* [točke]	210	210	210	630
SKUPAJ [točke]	8.330	9.110	10.460	27.900

Tabela 26: Prihranki sistema

* Pri prihrankih pod "ostalo" so upoštevani posredni prihranki, ki so posledica uvedbe strojnega vida.

Uvedba strojnega vida na liniji ME160 je ekonomsko upravičena, saj so triletni prihranki večji od stroškov.

5.2.5 Terminski plan

Terminski plan (tabela 27) je pomemben za izvajanje posameznih aktivnosti znotraj projekta. Pomembno je, da so načrtovani roki realni in dosegljivi za dano projektno skupino.

št.	Aktivnost	odgovorna oseba	načrtovan začetek	načrtovan konec
1	izdelava zahtevnika	Vodja proj.	1.8.2004	30.8.2004
2	definiranje projektnega tima	Nadzornik	5.8.2004	10.8.2004

3	izdelava specifikacij	Vodja proj.	10.8.2004	10.9.2004
4	izdelava terminskega plana	Vodja proj.	10.8.2004	20.8.2004
5	verifikacija projektne dokumentacije	Nadzornik	10.9.2004	15.9.2004
6	izdelava sistema (naročilo)	Vodja proj.	15.9.2004	1.12.2004
7	implementacija sistema	Vodja proj.	1.12.2004	10.12.2004

Tabela 27: Terminski plan

5.2.6 Verifikacija projektne dokumentacije

Celotna projektna dokumentacija, vključno s specifikacijami in terminskim planom je bila predložena nadzorniku projekta. Po pregledu dokumentacije je nadzornik s svojim podpisom izkazal soglasanje z uvedbo strojnega vida na umerjevalni napravi in tako sprožil aktivnosti za izdelavo in implementacijo sistema.

5.2.7 Naročilo (izdelava) sistema

V projektne skupini smo se odločili, da poskušamo čim več stvari izdelati v okviru našega podjetja. Tako smo izdelali štiri module za osvetlitev z napajalnikom, s katerim lahko nastavljamo jakost osvetlitve. Uporabili smo rdeče LED diode, ki jih uporabljamo pri izdelavi elektronskih števcov. Na trgu obstaja veliko različnih modulov za osvetlitev, vendar so cene sorazmerno visoke.

Prav tako smo pripravili tudi vse mehanske elemente za pritrditev kamere in modulov za osvetlitev. S posebno folijo smo zatemnili tudi ves zgornji del pleksi stekla na umerjevalni napravi. S tem smo zaščitili mesto zajema slike pred zunanjo svetlobo.

Ostale gradnike, kot so kamera, objektiv in enota za procesiranje s pripadajočimi kabli, smo kupili od najboljšega ponudnika.

Poleg nakupa oz. izdelave mehanskih gradnikov je bilo potrebno izdelati aplikacijo za zajem in obdelavo slik (slika 40) ter prilagoditi umerjevalni program za delo s strojnim vidom (slika 39). Ker je bil umerjevalni program izdelan v našem podjetju, nismo imeli večjih težav pri modifikaciji. Drugače je bilo pri izdelavi aplikacije za zajem in obdelavo slik. Osnovni programski paket LabVIEW poznamo dobro, uporabo Vision Modula pa smo morali šele osvojiti.

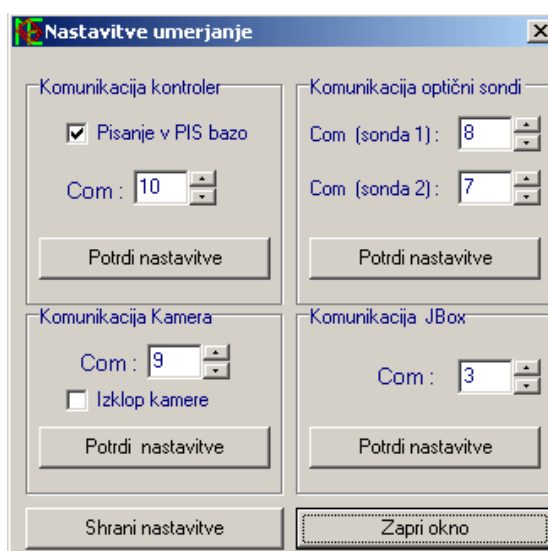
Za kamero, objektiv in "NI 1450 Compact vision system" smo sestavili povpraševanje in dobili dve ponudbi. Pri izbiri najboljšega ponudnika smo si pomagali s tabelo 5:

kriterij	Utež	Dobavitelj 1		Dobavitelj 2	
		Ocena	Rezultat	Ocena	Rezultat
SISTEM					
cena	9	7	63	7	63
hiter rok dobave	8	9	72	8	64
način instalacije (motenje proizvodnje)	8	8	64	8	64
garancija (koliko)	5	7	35	7	35
hitrost odziva pri odpravljanju napak	10	8	80	7	70
nadgrajevanje sistema v prihodnosti	8	6	48	8	64
dokumentacija	7	5	35	8	56
izobraževanje operaterjev	7	5	35	6	42
potrebno interno tehnično znanje	5	7	35	7	35
reference obstoječih aplikacij ponudnika	5	3	15	6	30
skupaj 1			482		523
DOBAVITELJ					
zgodovina podjetja	3	3	9	6	18
uspešnost na trgu	6	6	36	7	42
odnos do uporabnika	8	8	64	7	56
projektno vodenje	6	5	30	7	42
skupaj 2			139		158

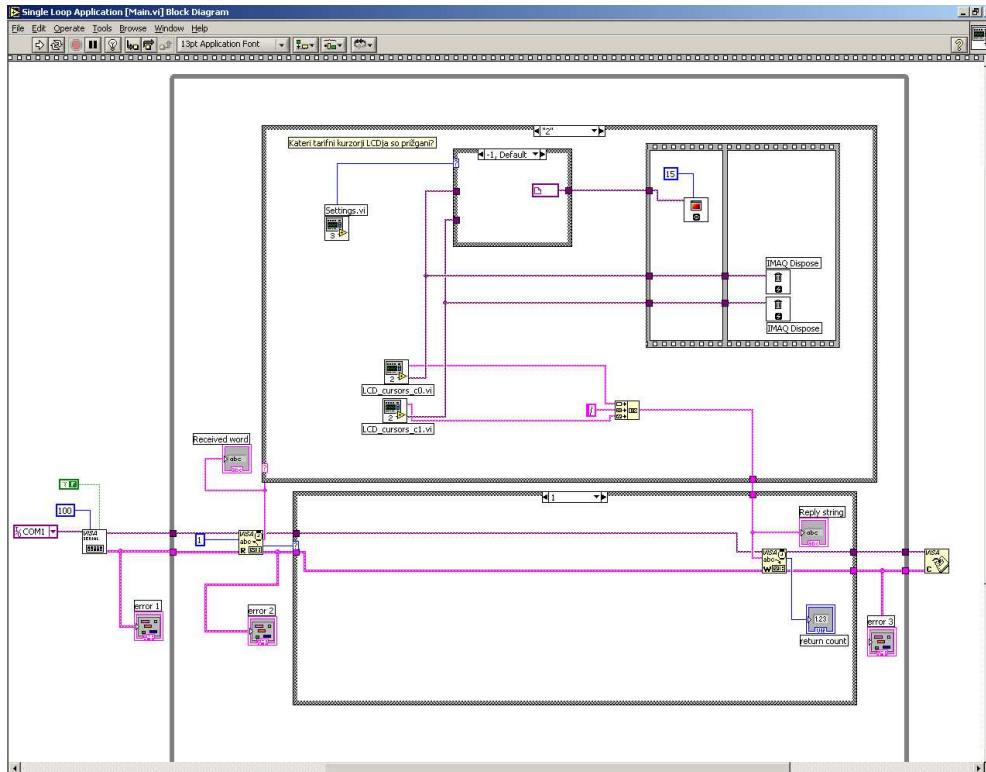
skupaj 1+2			621		681
faktor zaupanja v dobavitelja			70%		80%
KONČNI REZULTAT			435		545

Tabela 28: Sposobnost dobaviteljev

Ponudbi obeh dobaviteljev sta se malenkostno razlikovali. Prvi dobavitelj je imel malo krajši rok dobave, drugi dobavitelj pa je imel boljše reference in zato v tabeli 28 tudi veliko boljši skupni rezultat. Zaradi dvomov glede resnično hitrejše dobave opreme pri prvem dobavitelju, smo se odločili za nakup opreme pri drugem dobavitelju.



Slika 38: Sprememba umerjevalnega programa



Slika 39: Program za zajem in obdelavo slik

5.2.8 Implementacija projekta

Implementacija sistema se je začela, ko smo dobili vse pomembne sestavne dele (objektiv, kamero in enoto za procesiranje) in smo jih postavili v testnem okolju. Iskali smo najboljše nastavitve posameznih gradnikov in začela se je izdelava aplikacije.

Že kmalu smo ugotovili, da rdeča osvetlitev številčnika (slika 40) ni primerna, saj rdeče številke na belem kolutu skoraj niso bile vidne.



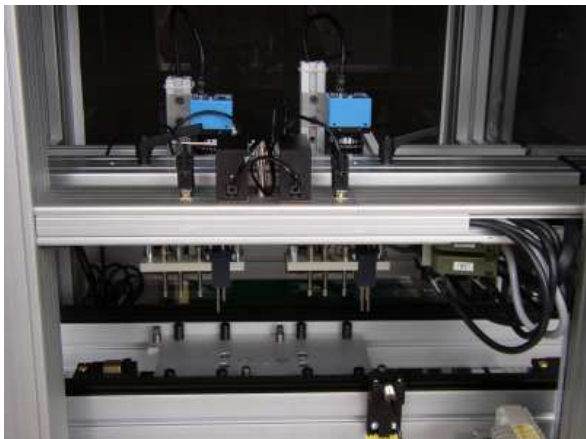
Slika 40: Številčnik, osvetljen z rdečo svetlobo

Izdelali smo še nekaj modulov za osvetlitev z različnimi barvami LED diod in izkazalo se je, da najboljše rezultate razpoznavanja dosežemo pri osvetlitvi številčnika z zelenimi diodami.

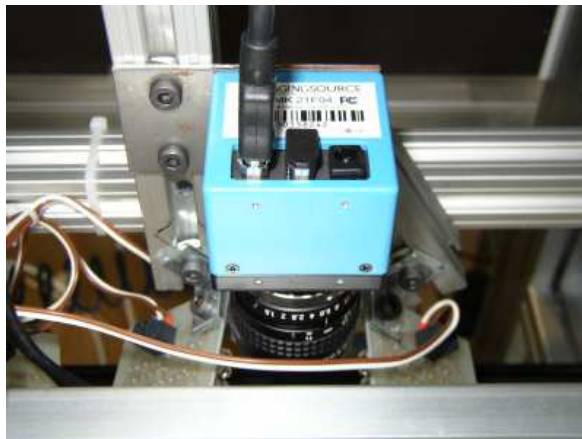
Nasprotno pa se je izkazalo, da je ravno rdeča svetloba najprimernejša za osvetlitev displeja. Zelena barva diod zaradi zelenega ozadja displeja ni bila primerna. Tako smo izdelali dva tipa modulov za osvetlitev. Iz rdečih diod za displej in iz zelenih za številčnik. Na koncu se je tudi izkazalo, da je bolje, da so moduli za osvetljevanje številčnika in displeja ločeni. Prilagajanje vsake osvetlitve posebej je namreč mnogo lažje kot iskanje kompromisa in prilagajanje ene osvetlitve na oba tipa izdelka.

Izdelava aplikacije za kontrolo displeja je bila enostavna in ni predstavljala večjih problemov. Pri razpoznavanju številčnika pa je bilo več težav, saj je sistem zaradi vrtenja kolutov in občasno slabega tiska številke napačno določil vrednost. Problem smo rešili z izboljšanjem izdelave kolutov (boljši tisk), z drugačnim načinom izdelave števca in seveda z boljšo aplikacijo.

Ko smo dosegli zadovoljivo delovanje sistema v testnem okolju, smo prenesli opremo na linijo za izdelavo števecov ME160 (slika 41 in 42). Instalacija sistema za strojni vid je potekala konec tedna, saj takrat nismo motili ostale proizvodnje.



Slika 41: Vgrajeni kameri



Slika 42: Osvetlitev ob kameri

V času instalacije smo izvedli še nekaj popravkov aplikacije in programa za umerjanje, in delovanje sistema je hitro doseglo naša pričakovanja. Seveda so bili testi opravljeni na vzorcih, ki smo jih določili v zahtevniku za fazo testiranja.

Ob zagonu redne proizvodne števecv na liniji ME160 se je v enomesečni fazi zagona pri delu s strojnim vidom na umerjanju pokazalo še veliko napak. Napake navadno niso bile posledica slabega delovanja strojnega vida, temveč spreminjanje ključnih sestavnih delov na obeh tipih vzorcev.

Pri števcu z displejem so bile sledeče napake:

- spreminjanje nagiba displeja
- spreminjanje kontrasta na displeju (drug proizvajalec)

Napake pri števcu s številčnikom:

- zamaknjen tisk številčk na kolutu
- drugačna barva rdečih številčk na kolutu
- konstrukcijska sprememba ohišja

Poleg spreminjanja določenih sestavnih delov na vzorcih je določen problem predstavljal tudi način pritrditve kamere in modulov za osvetlitev v umerjevalno napravo. Občasno se namreč zgodi, da je potrebno ročno poseganje v umerjevalno napravo zaradi kakšne zlomljene kontaktne iglice ali kaj podobnega. Pri tem se je kljub pazljivosti zgodilo, da je operater po

nerodnosti premaknil kamero oz. osvetlitev. Pritrditev je bila ustrezna, vendar pa ni bilo predvideno kakršno koli butanje zaradi nerodnosti. Skratka pritrditev kamere in osvetlitve smo potem izdelali na novo, saj vsakršno nastavljanje vzame ogromno časa.

Po dveh mesecih rednega obratovanja smo ob pomoči dobavitelja opreme optimirali delovanje strojnega vida na liniji ME160 do tolikšne mere, da ustreza zahtevniku in zadovoljuje potrebe proizvodnje.

6. Zaključek

Projektni način osvajanja strojnega vida nam s svojimi opornimi točkami olajša načrtovanje, izdelavo in instalacijo sistema v industrijsko okolje. Hkrati približa strojni vid proizvodnim aktivnostim in procesnim inženirjem, ki nimajo ekspertnega znanja in tako omogoča njegovo široko uporabo.

Seveda projektni način ne ponuja uvedbe strojnega vida brez vsakršnih problemov. Vsak sistem je specifičen in temu primerno se pojavijo tudi različne težave v času zagona. Teh problemov pa je neprimerno manj, če v fazi načrtovanja upoštevamo določena pravila in zakonitosti.

Uvedba strojnega vida pri registraciji številčnika in delovanju displeja je pokazala, da z dobrim načrtovanjem lahko kvalitetno izdelamo in implementiramo sistem v proizvodnjo. Kakovost delovanja takega sistema pa je še vedno v večji meri odvisna od znanja in kvalitetnega pristopa projektne skupine v zagonski fazi. Odprava posameznih malenkosti lahko traja veliko časa, vendar pa neprimerno poveča zadovoljstvo pri delu in doda piko na i k celoviti rešitvi proizvodnega procesa.

Ustrezno delovanje strojnega vida je odvisno tudi od kakovosti in obvladovanja predhodnih operacij proizvodnega procesa. Če izdelki, ki jih razpoznavamo s strojnim vidom, ne izpolnjujejo pričakovanih zahtev (slaba kakovost, drugačna konstrukcija), potem še tako dober strojni vid ne more zagotoviti brezhibnega delovanja.

Enostavne operacije je možno reševati s sistemom strojnega vida na predlagani način, saj za to ne potrebujemo ekspertnega znanja in ogromnega razvojnega tima, medtem ko je pri kompleksnih operacijah smotrneje kupiti že izdelane in preizkušene sisteme, ki jih ponujajo podjetja, ki so specializirana na tem področju.

Literatura

- [1] M. Sonka, V. Hlavac, R. Boyle, *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, (second edition), Brooks/Cole Publishing Company, 1999.
- [2] N. Zuech, *Understanding and Applying Machine Vision*, (second edition), Marcel Dekker, 2000.
- [3] S. Kovačič, *Strojni vid*, Skripta na podiplomskem študiju, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, 2002.
- [4] National Instruments, *NI 1450 Series Compact Vision System User Manual*, National Instruments Corporation, 2003
- [5] Pentax, *CCTV catalog*, Pentax Corporation Japan, 2004

Izjava

Izjavljam, da sem magistrsko nalogo izdelal samostojno pod vodstvom mentorja prof. dr. Stanislava Kovačiča. Izkazano pomoč drugih sodelavcev sem v celoti navedel v Zahvali.

Strokovni življenjepis avtorja



Mirko Šalej se je rodil 3. 4. 1971 v Kranju. Po končani osnovni šoli v se je vpisal na takratno Srednjo šolo elektrotehniške in kovinsko predelovalne usmeritve v Kranju, kjer je pridobil poklic elektrotehnik elektronik. Po odsluženem vojaškem roku se je leta 1991 vpisal na Fakulteto za elektrotehniko in računalništvo Univerze v Ljubljani ter oktobra leta 1996 diplomiral na smeri avtomatika – procesna avtomatika. V začetku leta 1996 se je zaposlil v podjetju Iskraemeco, d.d. v Kranju, kjer je od vsega začetka opravljal tudi mentorsko delo s študenti, za kar je leta 2002 prejel Vidmarjevo nagrado. V podjetju se ukvarja predvsem z avtomatizacijo procesov in prenosom novih izdelkov iz razvoja v proizvodnjo.