

Naprava za avtomatizirano kontrolo puš

Benjamin Jovanovič

Mentorja: ¹izr. prof. dr. Aleš Hace, ²doc. dr. Uroš Župerl

¹Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko računalništvo in informatiko, Smetanova
17, 2000 Maribor

²Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Smetanova 17, 2000 Maribor
jovanovic.benjamin@gmail.com, ales.hace@um.si, uros.zuperl@um.si

The device for automated control of bushes

In serial production for the automotive industry are high standards for quality of products. Every piece has to go through 100% control, before reaching the customer. In case of manual checking, it is very time-consuming. In order to control such piece, more specifically the bush for car chassis, was designed a measuring device for automated control. It was designed from two parts. First part makes measurements with web camera, taking visual inspections of dimensions. The program and user interface for this, were designed in LabView. The second part of measurements was performed by measuring sensor that was controlled by PLC S7 1212c. Program for it, was written in the TIA Portal.

In the article is more precisely explained the theoretical background of edge detection with visual inspection of dimensions, with a webcam.

Kratek pregled prispevka

V serijski proizvodnji za avtomobilsko industrijo so visoki standardi glede kakovosti izdelkov. Zato je potrebna 100% kontrola kosov, preden le ti pridejo do kupca. Če se ti kosi pregledujejo ročno, s pomočjo mehanskih šablon, je to zamudno in počasno. Zaradi tega je bila za kontrolo enega takega kosa, natančneje puše za podvozje avtomobila, izdelana merilna naprava za avtomatizirano kontrolo. Zasnovana je bila tako, da se polovico meritev opravlja s pomočjo spletne kamere, ki izvaja vizualno kontrolo dimenzij. Program in uporabniški vmesnik za to je bil izdelan v LabView -u. Drugo polovico meritev pa opravljajo merilna tipala, ki jih krmili PLC S7 1212c. Program zanj pa je bil spisan v TIA Portal programskem okolju.

V članku je natančneje razloženo teoretično ozadje za detekcijo roba, pri vizualni kontroli dimenzij s spletno kamero.

1 Uvod

Podjetje Šumer d.o.o. se ukvarja z različnimi panogami, od navijanja vzmeti do brizganja plastike, ena izmed njih je tudi strojna obdelava. Želja podjetja je bila izdelati napravo, ki bo omogočala vizualno kontrolo puše (glej sliko 1), katere kupec je avstrijsko podjetje Magna, končno mesto tega produkta pa je v avtomobilu Mini Moris. Mesečna naročila kosov se gibljejo okoli 30,000 pri tem pa je potrebno upoštevati, da se na približno 4000 kosov najde en slab kos. Z izdelavo naprave za avtomatsko kontrolo, bi se povečala učinkovitost in hitrost procesa končne kontrole.

V članku je opisana zasnova in izvedba prototipne naprave za avtomatizirano kontrolo puš. Najprej je definiran problem, potem je opisan koncept rešitve, sledi opis metode za vizualno detekcijo robov, ki predstavlja temeljni princip delovanja naprave. Nato je predstavljena še zgradba prototipne merilne naprave in povzetek testnih merilnih rezultatov. Na koncu so podane še sklepne ugotovitve.



Slika 1: Puša, ki jo je potrebno kontrolirati.

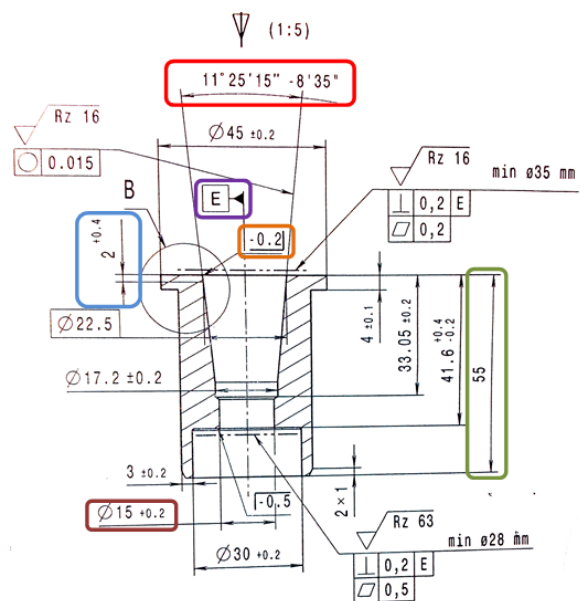
2 Opis problema

V namen preverjanja ustreznosti puše se je izdelal zahtevnik za mere, ki jih je potrebo kontrolirati. Izbrane so bile tiste, ki se pri obdelavi dostikrat spremenijo in zaradi katerih je prišlo v preteklosti do reklamacij. V tabela 1 so prikazane kritične mere pri izdelavi puše. To so kot konusa $11^{\circ}25'15''$, katerega tolerančno polje je $-8'35''$, premer luknje $\varnothing=22.5$ mm na višini $2^{+0.4}$ mm od zgornjega roba kosa, celotna

višina kosa, ki znaša 55 mm, najmanjši notranji \varnothing izvrtine, ki je $15^{+0.2}$ mm, rob posnetja na notranji izvrtini, koncentričnost izvrtin na vsaki strani, saj se kos izdeluje tako, da se najprej naredi izvrtina na eni strani kosa, nato pa še na drugi, saj sta različnih dimenzij in ni mogoče drugače izdelati kosa in vizualni izgled kosa, ki ga preverjata dve spletni kameri, ki sta nadgradnja naprave. Prav tako je bila zahteva, da cikel meritve ne sme biti daljši od 7 sekund.

Tabela 1: Mere, ki jih je potrebno kontrolirati.







Dimenzija	Vrednosti (orientacijske)
kot konusa	$11^{\circ}25'15''$
mera 22,5 na višini	$2+0,4\text{mm}$
višina kosa	55
notranji \varnothing	$15+0,2\text{mm}$
rob posnetja	$-0,2\text{mm}$
koncentričnost konus na $\varnothing 15$	bo definirano naknadno...
površina	vizualno



Slika 2: Načrt puše.

Na slika 2 je prikazan načrt puše. Za lažje razumevanje so mere, ki jih je potrebno kontrolirati označene z barvnimi kvadrati. Njihova legenda označb je prikazana v tabela 2.

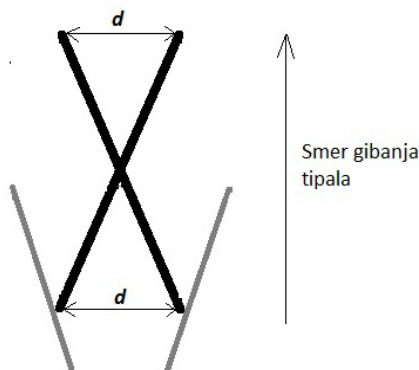
Tabela 2: Legenda označb.

Kontrolirana mera	Barva
Kot konusa	
Višina kosa	
Φ najmanjše izvrtine	
Rob posnetja	
Φ na višini $2^{+0,4}$ mm	
Koncentričnost izvrtin	

3 Konceptualna rešitev

Za meritev kota konusa je bila izbrana cenovno najbolj ugodna in za serijsko kontrolo dovolj hitra rešitev. To so bila **merilna tipala**, s katerimi smo izmerili kot konusa konične izvrtine, višino kosa in premer na določeni višini. Meritev opravljajo tako, da potujejo po konični površini in ob tem zapisujejo vrednosti, koliko razprta so tipala in na kateri višini se nahajajo, kot prikazuje *slika 3*. Kot konusa pa se nato izračuna po sledeči enačbi:

$$2 \cdot \alpha = \arctg \cdot \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3.1)$$



Slika 3: Skica principa merjenja s tipalom.

Meritev najmanjšega notranjega premera, koncentričnosti lukenj in prisotnost roba posnetja, se meri s pomočjo **strojnega vida**. Natančneje uporabljena je bila metoda detekcije roba, ki je bolj podrobno opisana v poglavju (4). Ker je bil cilj izdelati cenovno ugodno napravo, smo se odločili, da bomo uporabili klasično spletno kamero s čim višjo resolucijo, saj je v

primerjavi z industrijskimi kamerami neprimerljivo cenejša. Slabost tega je bila, da smo bili primorani sami spisati celoten program za detekcijo in komunikacijo, saj klasična spletna kamera v nasprotju z industrijskimi ne vsebuje posamičnih sklopov, ki bi jih lahko med seboj le povezali in nastavili.

4 Metode za vizualno detekcijo roba

S pomočjo detekcije robov, je mogoče izmeriti luknje v puši in prisotnost posnetja roba, saj se na območju spremembe naklona površine drugače odbija svetloba, kar posledično povzroči različno svetilno izrazitost slikovnih pik na sliki. Zaradi tega lahko rob zaznamo kot lokalne spremembe na zajeti sliki, saj je slika polje točk, ki jih predstavimo kot vektorje. Ko izvedemo gradientno metodo nad temi vektorji, dobimo lokalni maksimum dane funkcije $f(x,y)$ (4.1).

$$\nabla(x, y) = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Pomemben podatek pri gradientu je tudi obseg gradienta (4.2), ki je enak stopnji rasti funkcije $f(x, y)$ na enoto razdalje v smeri G .

$$G[f(x, y)] = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4.2)$$

Obseg gradienta predstavimo v absolutni vrednosti, saj se tako predstavlja tudi v praksi (4.3):

$$G[f(x, y)] \approx |G_x| + |G_y| \quad (4.3)$$

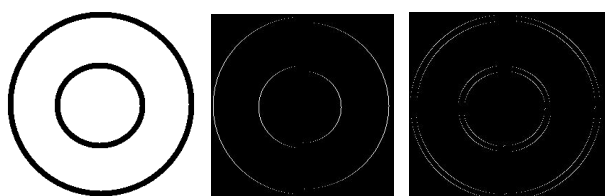
oz.

$$G[f(x, y)] \approx \max(|G_x|, |G_y|)$$

Za digitalne slike so odvodi približki razlik, ki se pojavljajo na sliki. Najbolj preprost gradientni približek je podan v (4.4). Pri tem je potrebno upoštevati, da indeks i predstavlja x smer, indeks j pa negativno y smer [3]:

$$\begin{aligned} G_x &\equiv f[i, j+1] - f[i, j] \\ G_y &\equiv f[i, j] - f[i+1, j] \end{aligned} \quad (4.4)$$

Zaznati spremembo rasti gradienta je mogoče s preprosto konvolucijsko masko zapisano v (4.5). Z masko preletimo sliko in dobimo iskani gradient oz. zaznamo rob, kot je prikazano na slika 4. Kot je razvidno iz nje, je na levi strani neobdelana slika, na sredini pa slika, ki smo jo preleteli s konvolucijsko masko mG_x . Pri tem smo zaznali le polovico robov, zato isti postopek ponovimo še z masko mG_y in zaznamo še drugo polovico robov, to na sliki seštejemo in dobimo sliko prikazano na desni strani.



Slika 4: Levo neobdelana slika, na sredini detekcija roba s masko mG_x , desno detekcija roba še s mG_y konvolucijsko masko.

$$\begin{aligned} mG_x &= [-1 \quad 1] \\ mG_y &= \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Uporaba približka mG_x zapisanega v (4.5) je pravzaprav gradientni približek v interpolirani točki $[i, j + \frac{1}{2}]$ in mG_y v točki $[i + \frac{1}{2}, j]$.

Metoda, ki uporablja 2x2 masko se imenuje Roberts-ov operator in z njim dobimo preprost približek gradientnega obsega (4.6).

$$\begin{aligned} G[f[i, j]] &= |f[i, j] - f[i+1, j+1]| + \\ &|f[i+1, j] - f[i, j+1]| \end{aligned} \quad (4.6)$$

Z uporabo konvolucijske maske to postane (4.7),

$$G[f[i, j]] = |G_x| + |G_y| \quad (4.7)$$

kjer sta G_x in G_y izračunana z uporabo slednjih dveh mask (4.8):

$$\begin{aligned} mrG_x &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \\ mrG_y &= \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Tako z uporabo Roberts – ovega operatorja dobimo gradient interpolirane točke $[i + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2}]$, ki v bistvo ni točka $[i, j]$ kot bi pričakovali, ampak je na meji dveh slikovnih točk, zato v tem primeru dobimo le približek gradienta za točko $[i, j]$, [4]. Če se hočemo temu izogniti, lahko uporabimo Sobel – ov operator, s katerim izračunamo gradient 3x3 soseščine in tako dobimo vrednost za centralno slikovno točko. Enačba za izračun obsega gradienta je zapisana v (4.9),

$$M = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (4.9)$$

pri čemer parcialna odvoda izračunamo po (4.10) in upoštevamo, da je $c=2$:

$$\begin{aligned} s_x &= (a_2 + c \cdot a_3 + a_4) - (a_0 + c \cdot a_7 + a_6) \\ s_y &= (a_0 + c \cdot a_1 + a_2) - (a_6 + c \cdot a_5 + a_4) \end{aligned} \quad (4.10)$$

Kakor pri drugih gradientnih operatorjih lahko ms_x in ms_y implementiramo z sledečo konvolucijsko masko (4.11):

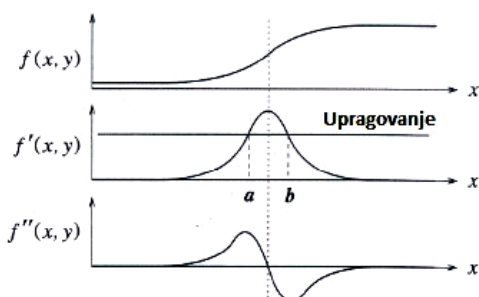
$$\begin{aligned} ms_x &= \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\ ms_y &= \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Z zgornjima metodama zaznamo rob, tako da izračunamo prvi odvod in če je ta nad pragovno mejo, je rob zaznan. Pri tem nastane problem,

kajti najdemo preveč robov. To odpravimo s ponovnim odvajanjem, saj pri prvem odvodu dobimo lokalni maksimum, ki ga ponovno odvajamo in dobimo funkcijo, ki seka x os, kot prikazuje *slika 5*. V tej točki je rob, ki ga iščemo.

Da dobimo drugi odvod, v dvodimenzionalnem prostoru uporabimo Laplac – ov operator (4.12):

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (4.12)$$

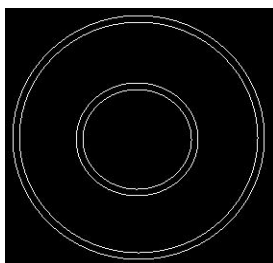


Slika 5: Oblika funkcije po dvakratnem odvajanju.

oziroma masko:

$$m\nabla^2 \approx \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

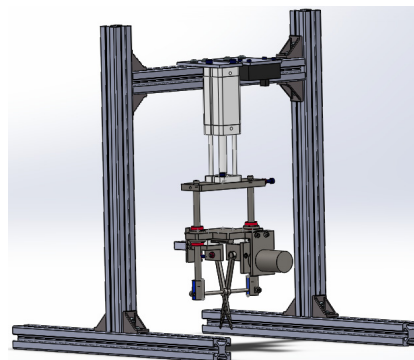
Če *slika 4* levo preletimo z masko (4.13) dobimo še natančnejši rob, kot je prikazano na *slika 6*.



Slika 6: Zaznavanje roba s pomočjo konvolucijske maske (4.13).

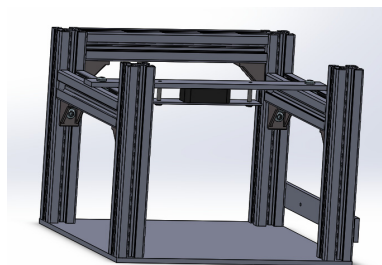
5 Zgradba merilne naprave

Naprava za avtomatizirano kontrolo puš je sestavljena iz dveh sklopov. Prvi sklop so merilna tipala (klešče), ki so prikazana na *slika 7*. Delujejo tako, da se tipala pomaknejo v konično izvrtino in potujejo po površini konusa. Kot rezultat meritve dobimo kot konusa, višino kosa in premer na določeni globini.



Slika 7: Merilne klešče.

Drugi del prototipne merilne priprave predstavlja ogrodje s spletno kamero. Tu se izvaja meritev najmanjšega premera izvrtine in preverja prisotnost posnetja roba ter koncentričnost izvrtin. Ogrodje je prikazano na *slika 8*.



Slika 8: Del naprave za vizualno kontrolo.

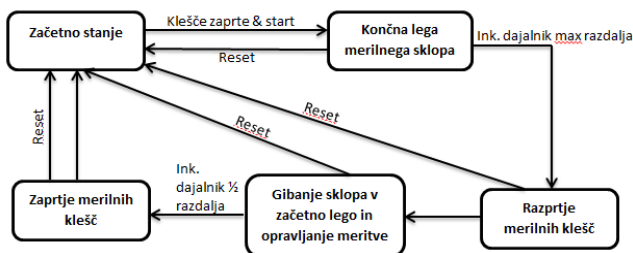
Naprava deluje tako, da se istočasno opravlja meritev z merilnimi tipali in spletno kamero. Program za vizualno kontrolo se izvaja v LabView programskem okolju na računalniku, merilna tipala pa krmili programirljivi logični krmilnik, ki je z računalnikom povezan preko Profinet standarda. Ob morebitnem slabem kosu pri vizualni kontroli se ta informacija pošlje krmilniku, ki ima pripravljene izhode, da o tem obvesti manipulator za doziranje in odstranjevanje kosov.



Slika 9: Povezava: spletna kamera - računalnik – PLK.

5.1 Merilna tipala

Merilna tipala smo krmilili s Simensovim PLK – jem CPU 1212c DC/DC/DC [5]. Vrednosti, kako razprta so tipala, smo dobili iz analognega induktivnega senzorja [1], trenutno višino tipal pa smo prebrali z žičnega senzorja [7]. Na slika 10 je prikazan diagram stanj merilnega sklopa. Kot je razvidno iz njega, se najprej merilna tipala spustijo v konično izvrtino. Ko so v maksimalni globini se razprejo in začne se zajemanje podatkov o razprtosti tipal in trenutni višini. Nato se merilna tipala začnejo gibati nazaj proti izhodiščni legi in med tem pa se na določenih višinah zajemajo podatki s senzorjev, ki so potrebni za izračun konične izvrtine.



Slika 10: Diagram stanj merilnega sklopa.

Preden pridejo merilna tipala v izhodiščno lego, se ustavi zajemanje podatkov in tipala se zaprejo.

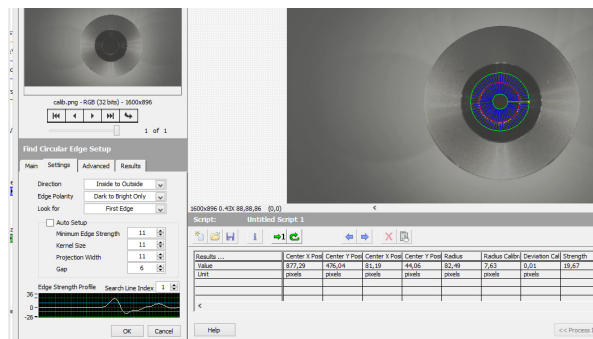
PLK je poleg krmiljenja in zajemanja podatkov s senzorjev odgovoren tudi za komunikacijo z aplikacijo v LabView programskem okolju, v kateri se izvaja vizualna kontrola. Ob morebitnem neustreznem vizualnem kosu ali neustreznem kosu pri meritvi z merilnimi tipali, se aktivira ustrezen digitalni izhod na PLK – ju, ki to signalizira.

5.2 Spletna kamera

Za meritev najmanjše izvrtine in koncentričnosti izvrtin ter detekcijo roba smo uporabili spletno kamero C525 HD proizvajalca LOGITECH, program za vizualno kontrolo pa smo izdelali v programskem okolju LabView. Uporabili smo knjižnici za strojni vid: Vision Acquisition in Vision Assistant [2]. S prvo smo nastavili ustrezne parametre za spletno kamero, ki so prikazani v tabela 3.

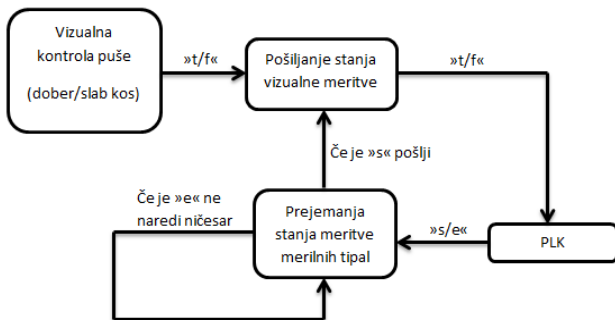
Tabela 3: Parametri spletne kamere.

Parameter	Vrednost
Exposure (izpostavljenost)	0.283133 μ s
Contrast (kontrast)	0.138253
Brightness (svetlost)	74
Gain (ojačanje)	235
White Balance (belina)	5981
Zoom (povečava)	1
Focus (fokus)	75
Sharpness (ostrina)	1
Saturation (nasičenost)	1



Slika 11: Detekcija in meritev krožnega roba najmanjše izvrtine.

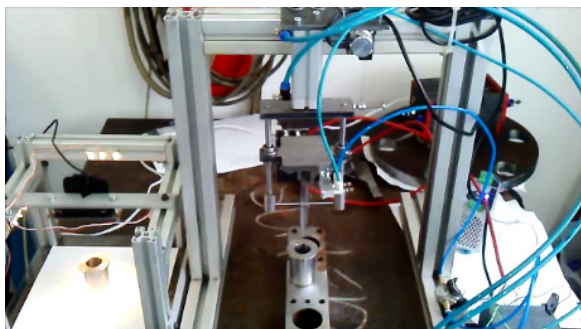
Z drugo pa smo izdelali program za detekcijo in meritev robov. Na slika 11 je prikazano okno, v katerem je potrebno nastaviti parametre pri detekciji roba, z upoštevanjem teorije iz poglavja (4). Tretji del kode v LabView – u predstavljala komunikacija s PLK – jem. Diagram stanj na slika 12 prikazuje stanja pošiljanja rezultatov meritev spletne kamere.



Slika 12: Shematični prikaz izvajanja programa v LabView - u.

6 Rezultati testnih meritev

Testne meritve smo izvedli tako, da smo izbrali kose, ki so imeli napako in dobre kose. Nato smo vsak izbrani kos najmanj petkrat premerili in si pri tem zapisovali odstopanja meritev med seboj. Pri meritvi najmanjšega premera konične izvrtine, ki smo jo izvedli s pomočjo spletne kamere, je mogoče doseči natančnost dve stotinki milimetra, pri meritvi koncentričnosti izvrtin pa štiri stotinke milimetra. Natančnost merilnih tipal pri meritvi kota konusa znaša 0.05° , pri meritvi višine kosa in zelenega premera na iskani višini, pa je možno doseči do dve desetinki natančno meritev. Poleg natančnosti prototipne merilne naprave, je bilo potrebno še izmeriti čas cikla meritve, ki pa je znašal 6 sekund.



Slika 13: Izgled prototipa.

7 Zaključek

Cilj projekta je bil izdelati napravo za avtomatizirano kontrolo puš. S prototipom, ki smo ga izdelali smo izpolnili zadane zahteve, kajti testne meritve so pokazale, da je natančnost meritev znotraj predpisanih tolerančnih polj. Čas cikla meritve ne presega predpisane vrednosti 7 sekund, kvečjemu je še sekundo hitrejši. V prihodnje je potrebno dodati še manipulator (robotsko roko), ki bo dozirala kose in izvajala zlaganje in izmet pregledanih kosov. Trenutno je naprava v fazi preizkušanja in odpravljanja morebitnih napak.

8 Literatura

- [1] Indiktivni analogni senzor,“ Dostopno na: <http://www.sensor.si/data/pdf/analogni/IX080CM65MG3.PDF>, [8. 10. 2014].
- [2] „LabView,“ Wikipedija, prosta enciklopedija, Dostopno na: <http://en.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>, [13. 10. 2014].
- [3] R. K. B. G. S. Ramesh Jain, Machine Vision, McGraw-Hill, 1995.
- [4] „Roberts – ov operator“ Dostopno na: http://en.wikipedia.org/wiki/Roberts_cross, [19. 10. 2014].
- [5] „S7 1200 manual,“ Dostopno na: <http://www.paratrasnet.ro/pdf/automatizari-industriale/S7-1200.pdf>, [8. 10. 2014].
- [6] „Sobel – ov operator“ Dostopno na: http://en.wikipedia.org/wiki/Sobel_operator, [19. 10. 2014].
- [7] „Žični senzor,“ Dostopno na: http://www.asm-sensor.com/asm/pdf/pro/ws31_42_us.pdf, [8. 10. 2014].