

## IZVEDBA SPECIFIČNEGA PRIJEMALA IN PRIJEMANJE ZA VIZUALNO KONTROLO IZDELKA

Vid Črešnik<sup>3</sup>, Jure Škrabar<sup>2</sup>, Aleš Zore<sup>1</sup>, Jure Rejc<sup>1</sup>, Marko Munih<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorij za robotiko, UL FE

<sup>2</sup> Kolektor Group d.o.o., <sup>3</sup> Kolektor Orodjarna d.o.o.

### POVZETEK

*V sklopu projekta GOSTOP smo zasnovali testno robotsko aplikacijo za nadzor kakovosti proizvodnih izdelkov z metodami strojnega vida. Uporabili smo sodelujoči robot UR5 na katerega smo namestili posebno prijemalo. Poleg robota in prijemala smo za zajemanje slik uporabili programske okolje Kolektor Imaging Software podjetja Kolektor Orodjarna d.o.o., ki je tekel na osebnem računalniku, ter kamero.*

*Delovanje sistema lahko razdelimo na tri podsklope in sicer na inicializacijo, prenašanje objekta (ang. pick and place) in vizualni nadzor (automated optical inspection - AOI). V inicializaciji vzpostavimo komunikacijo robota in računalnika preko TCP/IP komunikacijskega protokola, vnesemo parametre objekta in začetno mesto v paleti. V drugem podprogramu natakemo objekt s pomočjo posebnega prijemala in ga prinesemo pred kamero, kjer se prične tretji podprogram – vizualni nadzor.*

### 1. UVOD

Dandanes je kontrola kakovosti zelo pomemben del serijske proizvodnje. Uporabljenih je več metod nadzora od vizualnega pregleda s strani delavca, ki išče večje nepravilnosti v oblikah in na površini, do dimenzijskega preverjanja s kalibri ali različnimi merilniki (kljunasto merilo, mikrometer itd.), kar pa lahko doprinese k upočasnitvi proizvodne linije oz. popolna kontrola ni mogoča. V zadnjem času pa se tudi v proizvodnjah pojavljajo metode vizualnega nadzora z optičnimi metodami.

Za nadzor kakovosti s kamero je potrebno zagotoviti, da se objekt oziroma področje zanimanja na objektu, ki ga želimo pregledati, nahaja v goriščni razdalji optične postavitve, med drugim pa je potrebno zagotoviti tudi ustrezno pozicijo in orientacijo objekta. Poleg visoke ponovljivosti, hitrosti delovanja ter prilagodljivost robota, sta zagotavljanje ponovljive pozicije in orientacije objekta pred optičnim sistemom pglavitna razloga za uporabo robota, saj z njim lahko zelo hitro premaknemo ali zasukamo objekt in preko komunikacijskih vodil prožimo zajem slike.

Adaptivnost, avtonomnost in pohitritev nadzora kakovosti ter hkrati pridobivanje podatkov za globoko učenje je cilj adaptivne robotske celice (ARC) znotraj raziskovalnega programa GOSTOP

(Gradniki, orodja in sistemi za tovarne prihodnosti) [1]. Avtonomnost ARC pomeni komunikacijo robota med ostalimi zunanjimi napravami in rekonfigurabilnost - odločanje na podlagi pridobljenih podatkov.

Poglavje 3 opisuje uporabljeno opremo v robotski aplikaciji, 4. poglavje opisuje delovanje aplikacije, v zadnjem, 5. poglavju pa so strnjene misli o nadaljnjem delu.

### 2. O PROGRAMU GOSTOP

Cilj predlaganega programa GOSTOP je pospešiti razvoj in izgradnjo koncepta pametnih tovarn v Sloveniji in odgovoriti na aktualne potrebe slovenskega gospodarstva, kjer nekatera industrijska podjetja že skušajo uvajati koncept pametnih tovarn v svojo proizvodnjo. V programu so združene raziskovalne skupine iz trinajstih podjetij in šestih raziskovalnih organizacij, ki imajo kompatibilne raziskovalno-razvojne programe in že izvajajo raziskave na področju pametnih tovarn. Upoštevajoč slovensko strategijo pametne specializacije kot tudi strategijo razvoja koncepta pametnih tovarn, ki se uveljavlja v EU, smo identificirali štiri področja, na katerih lahko Slovenija doseže pomembne preboje v bližnji prihodnosti: tehnologije vodenja, orodjarstvo, robotika in fotonika. S tem je v GOSTOP združena večina horizontalnih področij iz strategije pametne

specializacije Slovenije na področju pametnih tovarn.

### 3. UPORABLJENA OPREMA

Z namenom avtomatizacije meritev oziroma za avtomatiziran zajem slik merjenca je uporabljen:

- sodelujoči robot UR5 (slika 1), proizvajalca Universal Robots A/S [2],
- namensko zasnovano prijemalo za natikanje in iztikanje merjenca,
- programsko okolje KiS (Kolektor Imaging Software) za zajem in obdelavo slik, ki teče na osebnem računalniku,
- paleta merjencev.

#### Sodelujoči robot UR5

Robot UR5 je po zasnovi sodelujoči robot (ang. collaborative robot), tj. robot, ki lahko deluje v odprtem delovnem okolju brez zaščitne kletke tudi v primeru bližine človeka, kar je odvisno od zasnove same aplikacije oz. od uporabljenega orodja, obdelovanca ter hitrosti in način gibanja robota.

Glavne lastnosti, ki so pripomogle, da robot šteje med sodelujoče robote so:

- zaznavanje trkov,
- omejitev sile in moči,
- omejitev hitrosti gibanja v sklepih in na vrhu robota,
- omejitev delovnega prostora,
- vodenje z roko.

**Tabela 1: Specifikacije sodelujočega robota UR5.**

Doseg:	850 mm
Nosilnost:	5 kg
Število stopenj prostosti:	6
Ponovljivost:	0,1 – 0,0039 mm

Poleg »sodelujočih« lastnosti se robot lahko ponaša z razmeroma visoko nosilnostjo (5 kg) glede na lastno maso (18,4 kg), sorazmerno enostavno programiranje s pomočjo širokega zaslona na dotik in učenje točk z vodenjem z roko.

Za namene izvedbe eksperimentalne aplikacije ima tudi zadovoljiv doseg in ponovljivost.

Robot podpira številne komunikacijske protokole za komunikacijo z drugimi perifernimi enotami, kot so Ethernet TCP/IP, Modbus in ProfiNet [3].

#### Prijemalo

Zasnova prijemala temelji na osnovi *merilnega trna*, ki se ga uporablja tudi v proizvodnih procesih za manipulacijo in preizkušanje merjencev. Trn je posebno zasnovana konica na katero se največkrat



**Slika 1: Sodelujoči robot UR5 [2].**



**Slika 2: Slika merilnega trna.**

natika merjenca in preverja ustreznost izvrtin oziroma drugačnih odprtin.

Z namenom natikanja objekta smo merilno pripravo ustrezno prilagodili tako, da ga je možno namestiti na prirobnico, katero smo namestili na vrh robota.

Z merilnim trnom lahko merjenec samo natakemo, saj sta premer merilnega trna in izvrtina v središču merjenca dimenzionirana na tesni ujem.

Izmet merjenec smo rešili z dodanim servo motorjem in 3D natisnjem plaščem valja. Plašč valja preko ekscentrika, ki pretvori rotacijo motorja v vertikalno translacijo, potisne merjenec z merilnega trna (slika 3).

Krmiljenje servo motorja je izvedeno z mikrokrmilnikom NXP LPC2138, ki je povezan s krmilnikom robota.

#### PC / Programska oprema KiS 2.6.2

Na osebem računalniku se uporablja v Kolektorju razvito programsko opremo za obdelavo slik KiS (**K**olektor **I**maging **S**oftware), ki izhaja iz približno 20 let internega razvoja in izkušenj na aplikacijah. Okolje predstavlja skupek posameznih gradnikov za zajem slik in širokega nabora operatorjev za obdelavo slik. Integrirano ima tudi podporo za povezovanje s kamerami, krmilniki, motorji itd. Povezavo s perifernimi enotami je mogoče vzpostaviti preko ProfiNet, Modbus, RS232 in TCP/IP komunikacijskih protokolov.

Program je sestavljen z uporabo časovnega zaporedja ukazov za inicializacijo robota ter optičnega sistema, ukazov za zajem slike, preračun začetnega zasuka in poravnavo merjenca (poglavje 4).

Trenutno je komunikacija med robotom in programskim okoljem KiS vzpostavljena preko TCP/IP protokola in temu ustrezno iz obeh strani pošiljamo ukaze v podatkovni obliki stringov. Želja v prihodnosti je prehod na ProfiNet komunikacijo, kjer bi se pošiljalo oziroma preverjalo ustrezno postavljene bite v registrih robota in splošno namenskih vhodno/izhodnih priključkih.

#### 4. DELOVANJE APLIKACIJE

Delovanje aplikacije delimo na dva glavna dela, glede na lokacijo izvajanja programa (slika 4):

- robotski del in
- programski del za zajem in obdelavo slik - KiS.

Oba dela pa lahko v nadaljevanju razdelimo še na:

- inicializacijo in
- vizualni nadzor.

Pri robotskem delu imamo znotraj delovanja integriran poddel za manipulacijo merjenecv iz palete in v paletu. Oba glavna dela aplikacije delujeta kot dva neodvisna dela, ki za nadaljevanje izvajanja čakata na ustrezne medsebojne ukaze.

##### Inicializacija

Tik ob zagonu delovanja se na obeh straneh izvede inicializacija v kateri preverimo komunikacijsko povezavo in delovanje prijemala. Najprej se izvede vzpostavitev TCP/IP povezave med robotom in računalnikom, nato pa v naslednjem koraku KiS pošlje številski podatek o dimenzijskih vrednostih merjenca in začetno mesto v paleti, kjer so razvrščeni merjenci. Na strani robota se preveri delovanje izmeta



Slika 3: Prijemalo - skupek plašča valja, merilnega trna (v središču plašča valja) in servo motorja (v ozadju).

merjencev – delovanje servo motorja na prijemalu. Preveri se ali se prijemalo aktivira ob postavljenem digitalnem signalu. V kolikor bi pred inicializacijo že imeli nataknen merjenec, bi ga med samo inicializacijo izvrgli in s tem preprečili poškodbe ob natikanju novega merjenca.

**Pobiranje in manipulacija merjencev**

Angleški izraz za pobiranje, manipulacijo in odlaganje objektov z robotom je *pick and place*. Merjenci so zloženi v paleti 10x15. S pomočjo čarovnika za palete znotraj programskega okolja za programiranje UR robota se z vhodnimi parametri določi pozicije oglišč ter število objektov med posameznimi oglišči palete. Mesta na paleti so ustrezno oštevilčena z indeksom.

Indeks lokacije posameznega merjenca, kateri je predmet kontrole, se preko TCP/IP povezave pošlje iz KiS-a kot vhodni parameter krmilniku robota. Ustreznemu merjencu se približamo, upočasnimo hitrost gibanja, da merjenca ob natikanju ne poškodujemo ter ga natakne s pomočjo prijemala. Merjenec natakne do te mere, da se ob prenašanju ne iztakne, saj so si palete med seboj dimenzijsko podobne a dimenzijsko minimalno odstopajo, kar ima za posledico, da v paleti niso vsi merjenci identično poravnani. Optimalno natikanje dosežemo s kalibracijskim prislonom merjenca ob naležno

površino. S tem zagotovimo, da se površina merjenca predvidena za zajem slike, nahaja v goriščni razdalji optičnega sistema in preprečimo navidezno opletanje slik okoli središča rotacije. Po zajetu slik se merjenec manipulira nazaj na mesto odvzema v paleti.

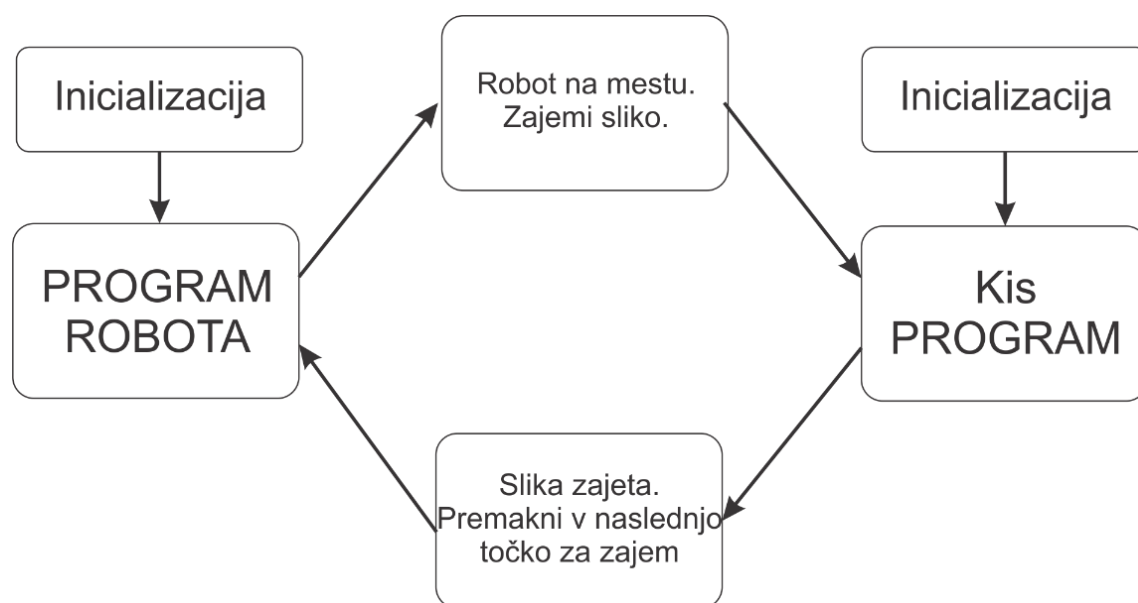
Učenje točk za manipulacijo merjencev je pohitrilo omogočeno vodenje z roko. Ker človek s svojimi čutili ni sposoben zagotoviti ustrezno natančnost orientacije, se vsem točkam, naučenim z metodo vodenje z roko, naknadno ustrezno precizno popravi orientacijo. Tako je zagotovljena zahtevana pravokotnost oziroma vzporednost z ravninami.

**Vizualni nadzor**

To je najpomembnejši del aplikacije. Potrebno je zajeti večje število kvalitetnih slik v kratkem časovnem obdobju za kreiranje zbirke slik, nad katerimi se bo v nadaljnjih korakih izvedlo globoko učenje za detekcijo napak na površini merjencev.

Na strani robota je vizualni nadzor še dodatno razdeljen na štiri podsklope glede na smer pogleda kamere na srebrno površino merjenca:

- čelno,
- z vrha,
- iz leve strani in
- iz desne strani.



Slika 2: Shematski prikaz delovanja programa robota in Kis-a, ter potek komunikacije.

Na vsakem izmed pogledov se zajame po osem slik (odvisno od vrste merjenca), torej skupaj 32 zajetih slik. Ker so poškodbe srebrenne površine v večini primerov lokalne narave, a preko robov stičnih površin povezane, je potrebno merjenec pregledati iz štirih različnih smeri - optimalno izrazimo napako.

Pred samim začetkom nadzora oziroma zajemanjem slik izvedemo poravnavo merjenca. Ko objekt premaknemo pred optični sistem zajamemo prvo sliko in na podlagi te slike se izračuna začetni zasuk (ang. offset) merjenca glede na optični sistem in merjenec ustrezno poravnamo.

Po poravnavi vrh orodja skupaj z merjencem zasukamo tako, da imamo s kamero čelni pogled na srebrenno površino merjenca. Na samem merjencu je v našem primeru osem, po obodu enakomerno razporejenih, srebrenih površin. Zato je potrebno za zajem slik površin merjenec osemkrat zasukati za konstanten kot  $45^\circ$ . Po vsakem opravljenem zasuku robot signalizirala KiS-u s poslanim sporočilom in čaka na povratno sporočilo o zajeti sliki. S tem so zajete slike iz čelne strani. V naslednjem koraku izvedemo premik/zasuk prijemala okoli ene osi koordinatnega sistema središča orodja (TCP – tool center point) tako, da je omogočen zajem slik vrha srebrenne površine. Sledi osem zajemov slik vrha srebrenne površine po predhodno opisanem postopku ter po enakem kopitu še srebrenne površine iz obeh stranskih smeri/pogledov.

## 5. ZAKLJUČEK

Uspešno smo vzpostavili delovanje eksperimentalne aplikacije za zajem slik srebrenne površine merjenca z optičnim sistemom z različnimi pogledi. Aplikacija se je vzpostavila z namenom generiranja slikovne baze podatkov za potrebe razvoja AOI metod. Uporabljena oprema je sestavljena iz robota UR5, posebno zasnovanega prijemala, optičnega sistema sestavljenega iz kamere, objektiva in svetilnega vira, ter osebni računalnik s programsko opremo za zajem in obdelavo slik (slika 5). Komunikacija

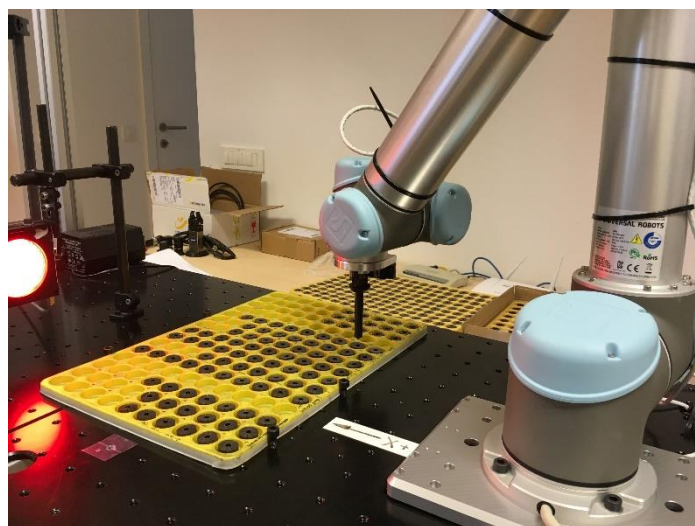
med robotom in računalnikom temelji na TCP/IP standardu.

Za vsak objekt je zajetih 32 slik, zato je bila zelo zaželeno optimizacija delovanja. Časovni cikel zajema slik se je z optimizacijo skrajšal iz dveh minut in pol na slabo minuto oz. iz 6,25h/paleto na 2,45h/paleto (150 kosov v paleti). Za nadaljnje delo ostaja tudi želja po dodatni optimizaciji časovnega cikla. Potrebno je tudi raziskati možnosti drugega načina vnosa in shranjevanja ogliščnih točk palete, saj je v sedanji izvedbi robot ročno voden v posamezne točke, ideja pa je po avtomatiziranem procesu na podlagi vizualne informacije.

Zadnji korak v optimizaciji je tudi prehod iz TCP/IP na ProfiNet komunikacijski protokol, ki omogoča hitrejši pretok informacij, boljše modularnost in lažji nadzor delovanja ter vodenja celotnega procesa.

## Literatura

- [1] GOSTOP: <https://www.gostop.si/>
- [2] Universal robots: <https://www.universal-robots.com/>
- [3] ProfiNet, <http://www.profibus.com/technology/profinet/>



Slika 3: Končna postavitev robota s prijemalom, kamere z osvetlitvijo ter palete z merjenci.