

Uporaba naprednih industrijskih senzorjev v robotskih aplikacijah

Božidar ZAJC

Namen prispevka je prikazati uporabo nekaterih naprednih industrijskih senzorjev, ki so v zadnjem času vse bolj nepogrešljivi v robotskih aplikacijah. Najprej je predstavljen kratek pregled senzorjev pri podjetju Sick, ki se najpogosteje uporabljajo v robotskih aplikacijah, razen varnostnih senzorjev in sistemov, ki zaradi obsežnosti potrebujejo posebno obravnavo. Nekatere vrste senzorjev so le na kratko omenjene, večji poudarek pa velja laserskim skenerjem, preciznim laserskim merilnikom razdalje, predvsem pa vizualnim senzorjem in sistemom, ki se vse bolj uporabljajo v robotskih aplikacijah. Še posebej pa to velja za tako imenovane 3D kamere.

■ 1 Uvod

Kot eden vodilnih svetovnih proizvajalcev na področju industrijskih senzorjev z več kot šestdesetletnimi izkušnjami ima podjetje Sick verjetno najobsežnejšo zbirko proizvodov in tehnologij in je tudi vodilni na področju inovacij.

Celoten obseg avtomatizacije je pri Sicku razdeljen na tri velika področja:

1. Avtomatizacijo v industriji:
 - standardni, napredni industrijski senzorji in dajalniki impulzov,
 - varnostni senzorji in sistemi.
2. Avtomatizacijo v logistiki:
 - avtomatska identifikacija optičnih in RFID kod,
 - laserski merilni sistemi.
3. Avtomatizacijo procesov.

Čeprav uvrščamo rešitve za robotiko predvsem na področje avtomatizacije v industriji, se v robotiki uporabljajo tudi mnogi senzorji, ki jih uvrščamo

predvsem na področje avtomatizacije v logistiki. Posebno področje pa predstavljajo senzorji in sistemi za varovanje ljudi pri delu z roboti, ki pa zaradi specifičnosti in obsežnosti zahtevajo posebno obravnavo. Če izvajamo varnostne sisteme, se v robotiki tako najpogosteje uporabljajo naslednje skupine senzorjev:

1. standardni industrijski senzorji: fotoelektrični senzorji, približevalna stikala,
2. napredni industrijski senzorji: senzorji za registracijo, merilniki razdalje, vizualni senzorji in sistemi,
3. dajalniki impulzov (enkoderji),
4. senzorji in sistemi za identifikacijo: bralniki črtne kode, 2D kode in RFID,
5. merilni laserski skenerji.

V nadaljevanju je uporaba standardnih industrijskih senzorjev in senzorjev za identifikacijo omenjena bolj na kratko, malo podrobneje so prikazani laserski merilni skenerji. Poudarek je podan predvsem na naprednih industrijskih senzorjih, še posebej pa na preciznih merilnikih razdalje in na vizualnih senzorjih ter sistemih, ki

postajajo vse bolj pomemben sestavni del aplikacij z roboti.

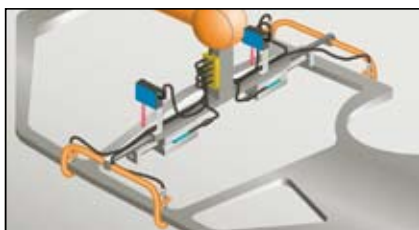
■ 2 Standardni senzorji za industrijsko avtomatizacijo

Med standardne industrijske senzorje uvrščamo:

- induktivne senzorje
- kapacitivne senzorje,
- magnetne senzorje,
- magnetne cilindrične senzorje,
- svetlobna tipala,
- refleksne svetlobne zapore in
- enosmerne svetlobne zapore.

Od teh se v robotskih aplikacijah največ uporabljajo induktivni senzorji, magnetni cilindrični senzorji in svetlobna tipala. Primer uporabe standardnih industrijskih senzorjev vidimo na *sliki 1*. Za uporabo senzorjev v robotskih aplikacijah so pogosto podane posebne zahteve kot so višja maksimalna delovna temperatura, dodatna zaščita površine senzorja (nerjaveče jeklo, teflon, dodatno zaščitno steklo...) in neobčutljivost na močna zunanja elektromagnetna polja v primeru varilnega robota, predvsem pa mehanska trdnost, visoka stopnja IP zaščite, kemična odpornost

Božidar Zajc, univ. dipl. inž.,
Sick, d. o. o., Ljubljana



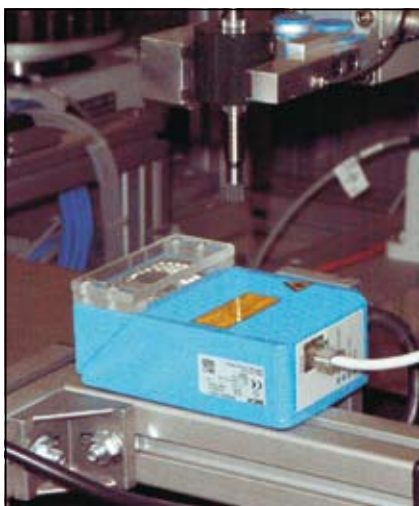
Slika 1. Primer uporabe standardnih senzorjev

(n.pr. zaradi emulzije), neobčutljivost na zunanjo svetlobo pri svetlobnih tipalih ...

■ 3 Senzorji za identifikacijo in merilni laserski skenerji

Iz te skupine se v robotskih aplikacijah najpogosteje uporabljajo:

- Bralniki črtne (1D) kode.
- Bralniki 2D kode.
- RFID bralno/zapisovalne enote.
- merilni laserski skenerji.



Slika 2. Branje matrične DPM kode

Primer uporabe bralnika 2D kode vidimo na *sliki 2*. V tem primeru gre za preverjanje matrične kode zapisane na samo površino predmeta z laserjem (DPM) – robot prinese predmet v bližino fiksno montiranega bralnika in preveri kodo.

Nove generacije bralnikov 2D kode pa omogočajo, poleg zanesljivega branja različnih 2D kod z majhnim kontrastom na zahtevnih podlagah, tudi branje standardnih črtnih kod in enostavno razpoznavanje teksta (OCR). Uporabo laserskih merilnih skenerjev v robotskih aplikacijah lahko razdelimo na tri skupine:

- Zaznavanje objektov/ovir.



Slika 3. AGV z laserskimi skenerji za navigacijo in zaznavanje ovir

- Dvodimenzionalno merjenje razdalj.
- Notranjo navigacijo.

Zaznavanje ovir, predvsem pa notranja laserska navigacija, se uporabljata v glavnem za smodljivo vodena vozila AGV (*slika 3*), medtem ko se dvodimenzionalno merjenje razdalj uporablja pri aplikacijah s »klasičnimi« roboti.

Merilni laserski skener je naprava, ki s pošiljanjem kratkih laserskih impulzov v prostor pod različnimi koti v eni ravnini in merjenjem časov odboja posameznega impulza, izmeri razdaljo do posameznih točk v prostoru. Ti podatki se potem lahko uporabijo za znaznavanje ovir, navigacijo v prostoru, ali pa za določanje položaja in oblike/kota zasuoka predmeta za zanesljivo prijema-



Slika 4. Primer uporabe LMS400

nje z robotom. Od dimenzij/volumna je lahko tudi odvisno, kam oziroma kako naj robot predmet odloži. Na *sliki 4* je prikazan primer uporabe laserskega skenerja LMS400 v praksi.

Možna sta dva primera uporabe: laserski skener je lahko montiran na sami robotski roki in robot poskrbi za vzdolžni pomik skenerja nad predmetom oziroma skupino predmetov na paleti, ali pa je laserski skener montiran fiksno nad transporterjem in med pomikanjem predmeta na transporterju izmeri posamezne profile, iz katerih lahko dobimo trodimenzionalno sliko. V tem primeru se običajno uporablja še dajalnik impulzov za izravnavo odstopanj v hitrosti transporterja.

■ 4 Napredni industrijski senzorji

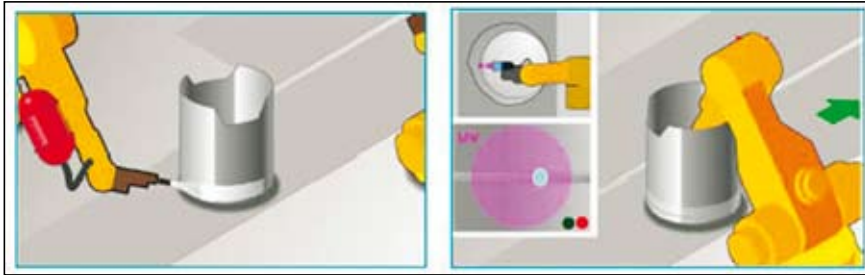
Med napredne industrijske senzorje prištevamo:

- senzorje za registracijo: kontrastne, barvne, luminescentne, viličaste, vrstične,
- svetlobne mreže za avtomatizacijo,
- merilnike razdalje: precizni merilniki razdalje, merilniki srednjega dometa, merilniki dolgega dometa, linearni, merilni senzorji, ultrazvočni senzorji, senzorji za optični prenos podatkov, pozicionirni senzorji,
- vizualne sisteme: vizualni senzorji, pametne kamere, 3D kamere.

Gre za najpomembnejšo skupino senzorjev, ki se v robotskih aplikacijah vse več uporabljajo, kar še posebej velja za precizne merilnike razdalje in vizualne senzorje in sisteme.

Senzorji za registracijo

Med senzorji za registracijo je mogoče najbolj zanimiva uporaba senzorja LUT, ki ima izvor svetlobe v UV območju, sprejemnik pa zaznava svetlobo v vidnem delu spektra. Tako lahko zanesljivo zaznamo tako naravno luminescentne snovi, kot snovi, ki smo jim umetno dodali luminoforescence ali v zadnjem času tudi UV vizualne senzorje.

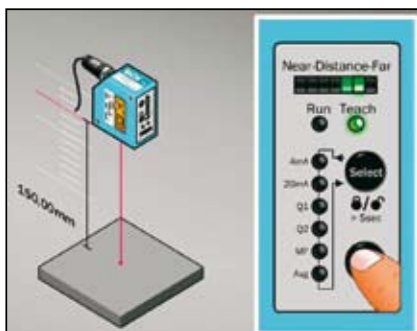


Slika 5. Preverjanje zvara z senzorjem LUT

Tako lahko na primer preverjamo zadosten nanos lepila pred lepljenjem delov, tesnenje zvarov s pomočjo luminescentnega olja (slika 5) ali pa omogočimo vodenje AGV-ja s pomočjo luminescentne proge, nalepljene na tleh.

Merilniki razdalje

Pogosto je potrebno pri delu z roboti preverjati natančno pozicijo ali pa preveriti dimenzije v nekaj točkah. V ta namen lahko uporabimo precizne merilnike razdalje oziroma merilnike odstopanja (»displacement« senzori). Ti merilniki merijo v območju od ± 1 mm do ± 200 mm z ločljivostjo vse do $0,02 \mu\text{m}$ pri senzorju OD Precision (OD5-25T01). Senzorji OD delujejo na principu triangulacije, kar pomeni, da se z razdaljo spreminja kot vpadne svetlobe in s tem mesto na sprejemnem digitalnem senzorju CMOS. Najpogostejše se uporabljajo senzorji OD Value za enostavnejše in OD Max ter OD Precision za zahtevnejše aplikacije. Medtem ko je senzor OD Value samostojen senzor z merilno glavo in elektronskim delom v enem ohišju (slika 6), imata senzorja OD Max in OD Precision merilne glave ločene od krmilne enote. V vsaki skupini pa je več različnih merilnikov glede na območje merjenja in pri senzorju



Slika 6. Senzor OD Value

OD Precision (slika 7) tudi glede na širino laserskega žarka.



Slika 7. Senzor OD Precision

Najpomembnejše značilnosti senzorja OD Precision so naslednje:

- na voljo senzorji s širokim ali ozkim žarkom,
- visoka ločljivost in linearnost,
- priklop do 3 merilnih glav na eno krmilno enoto za obdelavo,
- možna samostojna uporaba merilnih glav,
- merjenje debeline n.pr. stekla z eno glavo,
- velik in kvaliteten barvni LCD prikazovalnik za enostavno nastavitve in prikaz merilnih rezultatov,
- robustno kovinsko ohišje IP67.

Primer uporabe senzorja OD Precision za preverjanje kvalitete/dimenzij aluminijastega odlitka vidimo na sliki 8.

Vizualni senzori in sistemi

Najpomembnejši predstavniki so vizualni senzor Inspector, pametni kameri IVC 2D in 3D in najzmogljivejša 3D kamera Ranger.

Vizualni senzor Inspector

Vizualni senzor Inspector je kompakten, uporabniku prijazen in natančen



Slika 8. Preverjanje odlitka s senzorjem OD Precision s tremi merilnimi glavami

2D vizualni senzor z vgrajeno osvetlitvijo, vgrajenimi algoritmi za vrednotenje slik ter vmesnikom Ethernet. Inspector lahko pregleda izdelek v katerikoli poziciji ali orientaciji in zanesljivo določi v realnem času ali izdelek zadovoljuje dane kriterije. Inspektor uporablja inteligentne in hitre algoritme, ki mu omogočajo, da lahko sledi tudi največjim hitrostim katerekoli proizvodne linije v pakirni industriji. Vse to velja tako za osnovna modela i10 Standard in i10 Dome, kot tudi naslednike, ki ponujajo izboljšane karakteristike in dodatno funkcionalnost (slika 9):

- i20 Flex in i20 UV: izmenljivi objektiv, izmenljiva stekla/filtri, nastavek za kupolasto osvetlitev, dodatna vhodno/izhodna enota.
- i40 Flex in i40 LUT: ločljivost VGA (640 x 480), višja hitrost, dodatni algoritmi, shranjevanje slik na FTP, PLC povezava preko EtherNet/IP.
- p30: določanje pozicije in kota, podatki preko povezave Ethernet, digitalni izhodi za vodenje.

Pri modelih i20, i40 in p30 je na voljo tudi dodatni pribor (slika 10), ki bistveno poveča funkcionalnost in prilagodljivost osnovne verzije: nastavek za kupolasto osvetlitev, izmenljivo



Slika 9. Vizualni senzori Inspector

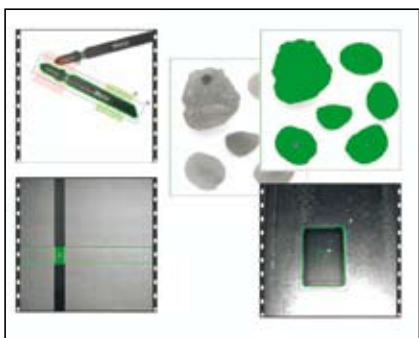


Slika 10. Dodatni pribor za Inspector

prednje steklo in različni barvni filtri ter različni objektivni.

Nekaj primerov aplikacij s senzorjem Inspector p30 (nekaj primerov slik iz programa za nastavitev Sopas vidimo na *sliki 11*):

- Določanje pozicije predmeta za avtomatizirano pobiranje.
- Poravnavanje delov pri proizvodnji.
- Pobiranje prehrabnih izdelkov različnih velikosti in oblik.
- Usklajevanje zasukov.
- Sledenje liniji pri samodejno vodenih vozilih (AGV).
- Končno določanje pozicije pri dvigalih v visokoregalnih skladiščih.



Slika 11. Prikaz aplikacij p30 v Sopas-u

Zmogljiv kot kamera in enostaven za uporabo kot standardni fotoelektrični senzor – to so dejstva, ki veljajo za celotno družino vizualnih senzorjev Inspector. Majhne dimenzije, robustno kovinsko ohišje z IP67 zaščito pa še



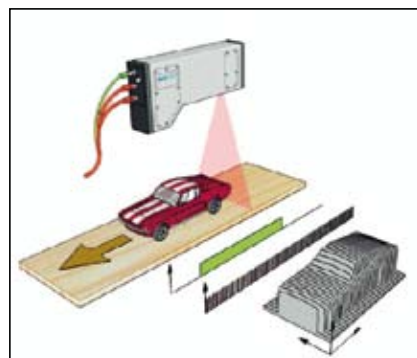
Slika 12. Inspector Viewer

dodatno potrjujejo primernost Inspectorja za robotske aplikacije. Kot pripomoček, ki še dodatno olajša uporabo vizualnih senzorjev Inspector, pa je sedaj na voljo tudi senzor Inspector Viewer, ki omogoča tako začetno nastavitve, kot tudi spremljanje delovanja večih Inspectorjev preko Ethernet-ne povezave (*slika 12*)

IVC-3D – prva pametna 3D kamera na svetu

Ko mora robot zanesljivo prijemati, zahtevani položaj prijemancev pa v mejah podanih toleranc ni mogoče vzdrževati, je nepogrešljiva uporaba pametne kamere IVC-3D. S pomočjo kamere je mogoče hitro in natančno ugotoviti dejanski položaj kosov v treh dimenzijah.

Kamera IVC-3D je zahvaljujoč knjižnicam uporabnih rešitev kompaktna, pametna in enostavna za parametризacijo. Kamera projicira linij-



Slika 13. Nastanek 3D slike na osnovi profilov

ski laserski žarek na objekt in zazna odstopanje z vgrajeno tehnologijo CMOS. Z dodatnim gibanjem kamere glede na objekt znotraj merjenega območja se ustvari zelo natančen 3D-model objekta, ki omogoča določanje koordinat za dostop in usklajevanje gibanja robota.

Nastanek 3D slike na osnovi posameznih profilov vidimo na *sliki 13*,



Slika 14. Primer uporabe IVC-3D kamere

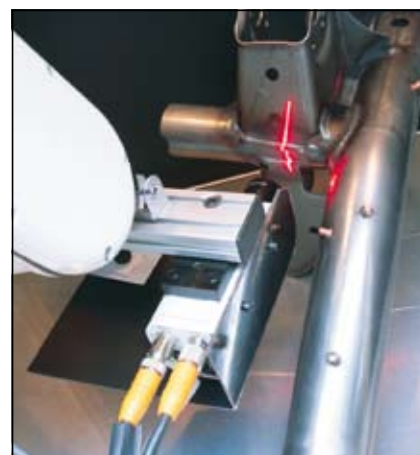
primer uporabe IVC 3D kamere na robotu pa na *sliki 14*.

Ranger E – najhitrejša 3D kamera!

Tudi pri kamerah Ranger govorimo o 3D kamerah, ker je njihov osnovni namen zajemanje 3D profilov, a zmore kamera še veliko več. Tudi pri Rangerju temelji zaznavanje profilov na laserski triangulaciji, a je potrebno tu zagotoviti ločen laserski vir. Uporabnik lahko na tak način določa vidno polje, višino območja in ločljivost v višino glede na specifično aplikacijo.

Osnovne značilnosti Rangerja E:

- Zajemanje 35.000 profilov/s v 3D načinu.
- 3D in MultiScan pri najvišjih hitrostih.
- 3D meritve neodvisne od kontrasta.
- Ločljivost do 1536 točk pri zajemanju 3D profilov.



Slika 15. Preverjanje kvalitete zvara z Rangerjem



Slika 16. Določanje 3D položaja predmetov pri pobiranju

- Ločljivost 3072 točk pri zajemanju sivinske slike.
- Patentirana tehnologija za meritve sipanja laserske svetlobe.
- Zmanjšanje vpliva zunanje svetlobe z IR opcijo.
- Gigabit Ethernet povezava.

Uporabo Rangerja pri preverjanju kvalitete zvara in pri določanju 3D položaja pri pobiranju predmetov vidimo na slikah 15 in 16.

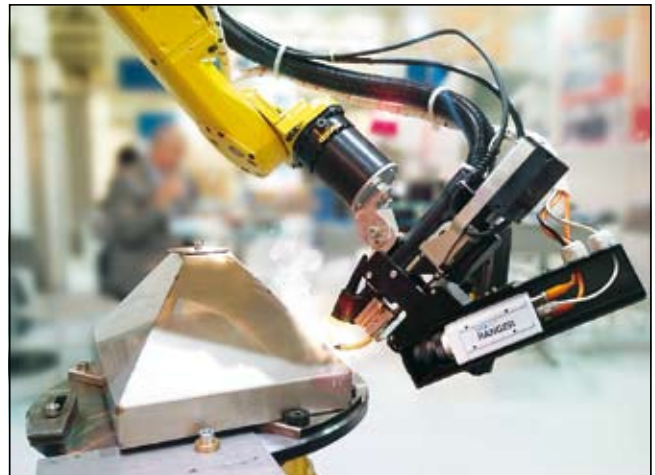
Najnovejši član Sickove družine 3D kamer pa je Color Ranger E, ki z zagotavljanjem RGB barvne slike visoke ločljivosti do 3072 točk na vrstico, še razširja možnosti preverjanja izdelkov. S sočasno 3D in barvno informacijo pri frekvenci delovanja več kot 11 kHz, omogoča več preverjanj paralelno pri polni hitrosti proizvodne linije.

3D kamera Color Ranger združuje funkcionalnost 3D kamere in linijske barvne kamere. Sickova Multi-

kamer, kar znižuje velikost sistema, kot tudi ceno za strojno opremo, vgradnjo in vzdrževanje.

Na koncu pa si pogledajmo še primer uporabe kamere Ranger E pri zahtevnem varjenju za izdelavo delov za uporabo v farmaciji, kemični in prehranski industriji. Gre za rešitev podjetja Modre tehnologije, ki s pomočjo kamere Ranger E (slika 17) omogoča robotu zaznavanje reže, določanje poti varjenja in predvsem prilagajanje poti med samim varjenjem. Pot varjenja se tako določi le enkrat, vsem nadaljnjim odstopanjem pa se lahko robot sproti prilagaja. Niti močno visokofrekvenčno elektromagnetno polje varilnega procesa, niti ekstremno močna svetloba med samim varjenjem ne vplivata na natančno vodenje robota.

S to rešitvijo se je bistveno povečala storilnost robota, povečala se je kakovost procesa varjenja in samih



Slika 17. Uporaba kamere Ranger pri varjenju (WiseWelding)

Scan tehnologija omogoča hkrati več meritev, kot je na primer 3D oblika, zajemanje sipanja laserske svetlobe na površini, zajem monokromatske in barvne slike itd. Ena sama kamera Color Ranger lahko tako nadomesti več

zvarov ter s tem tudi kakovost proizvodov.

5 Zaključek

V prispevku je predstavljen le izbor iz široke palete Sickovih senzorjev, ki se uporabljajo tudi v robotskih aplikacijah, s poudarkom na merilnih laserskih skenerjih in naprednih industrijskih senzorjih.

Vse bolj zmogljive in hkrati robustne izvedbe merilnih laserskih skenerjev, še posebej pa 3D kamer, omogočajo robotu hitro in zanesljivo določanje položaja bolj ali manj naključno postavljenih delov in s tem občutno povečajo učinkovitost robota.

Literatura

- [1] Veliki angleško slovenski slovar, Grad, Škerlj, Vitorovič, DZS.
- [2] Elektrotehniški trojezični slovar, Poženel, TZS, 1999.
- [3] Revija Avtomatika, 84, 87/2008
- [4] Revija Avtomatika, 89, 91, 92/2009
- [5] Revija Avtomatika, 99, 100/2010
- [6] Revija Ventil, 16/2010/5
- [7] SICKinsight, 2/2008, 1/2009, 2/2009, 1/2010
- [8] Machine Vision Introduction, Sick, 3/2010
- [9] Sick Vision Products, Sick, 6/2010