Rukovanje predmetima rada u pokretu

Radeljić, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:851867

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Radeljić Matija

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor: Student:

Prof. dr. sc. Bojan Jerbić, dipl. ing. Radeljić Matija

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Bojanu Jerbiću na pomoći i razumijevanju za vrijeme izrade diplomskog rada. Također zahvaljujem kolegi mag. ing. mech. Marku Švaci na suradnji i na stručnim savjetima pri izradi diplomskog rada.

Od srca zahvaljujem majci Ljiljani, bratu Iliji i teti Jasminki na podršci i razumijevanju tijekom cijelog studija.

Matija Radeljić

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. DIJELOVI SUSTAVA 3

2.1. Uvod 3

2.2. Transportna traka 3

2.3. Inkrementalni enkoder 4

2.4. Konstrukcija nosača inkrementalnog enkodera 5

2.4.1. Uvod 5

2.4.2. Središnji vijak 5

2.4.3. Fleksibilna spojka 6

2.4.4. Prirubnice 7

2.5. Robot 11

2.5.1. Uvod 11

2.5.2. Fanuc M-3iA 13

2.6. Upravljačka jedinica 14

2.7. Izvršno sučelje, privjesak za učenje (iPendant) 16

2.8. Kamera Sony XC-56 17

3. UČENJE RUKOVANJEM PREDMETIMA U POKRETU 19

3.1. Uvod 19

3.2. Enkoder 23

3.3. Postavljanje kamere 25

3.4. Postavljanje linije i radnog područja 30

3.5. Kalibracija vizijskog sustava 39

3.6. Učenje vizijskog procesa 46

3.7. Postavljanje senzora 52

4. IZRADA PROGRAMA 55

4.1. Uvod 55

4.2. Standardne naredbe 56

4.3. KAREL 57
5. ZAKLJUČAK 62
PRILOZI 63
LITERATURA 64

POPIS SLIKA

Slika 1. Bonfiglioli elektromotor 3
Slika 2. Inkrementalni enkoder Sick DGS60 5
Slika 3. Središnji vijak 6
Slika 4. Fleksibilna spojka 6
Slika 5. Vijak i spojka 7
Slika 6. Prirubnica uz motor 8
Slika 7. Prirubnica uz enkoder 8
Slika 8. Cijev 8
Slika 9. Konstrukcija nosača enkodera 9
Slika 10. Konstrukcija u labosu 10
Slika 11. Konstrukcija u labosu 10
Slika 12. *M-3iA* robot 14
Slika 13. M–30*i*A Mate upravljačka jedinica 15
Slika 14. Privjesak za učenje 17
Slika 15. Kamera Sony XC-56 18
Slika 16. Sustav 20
Slika 17. Sustav na kojem je rađen diplomski 21
Slika 18. Složeniji sustav 21
Slika 19. Povezivanje kontrolera robota i enkodera 23
Slika 20. Enkoder na privjesku za učenje 24
Slika 21. Postavljanje kamere 25
Slika 22. Kamera okomita na transportnu traku 26
Slika 23. Povezivanje kamere i upravljačke jedinice 26
Slika 24. Homepage robota 27
Slika 25. Postavljanje kamere, korak prvi 28
Slika 26. Postavljanje kamere, korak drugi 28
Slika 27. Postavke kamere 29
Slika 28. Postavljanje linije 31
Slika 29. Odabir radnog područja 31
Slika 30. Radno područje 32
Slika 31. Koordinatni sustav linije praćenja 34
Slika 32. Kalibracija enkodera, korak prvi 34

Slika 33. Kalibracija enkodera, korak drugi 34
Slika 34. Kalibracija enkodera, korak treći 35
Slika 35. Kalibracija enkodera, korak četvrti 36
Slika 36. Potvrda uspješne kalibracije 36
Slika 37. Skala enkodera i koordinatni sustav 37
Slika 38. Kalibrirano radno područje 37
Slika 39. Područje rada robota 38
Slika 40. Transportna traka sa ograničenjima 39
Slika 41. Kalibracijska mreža 40
Slika 42. Kalibracija kamere, izbor tipa kalibracije 40
Slika 43. Kalibracija kamere, postavke kalibracije 41
Slika 44. Kalibracija kamere, početak kalibracije 42
Slika 45. Kalibracija kamere, postavljanje ishodišta 43
Slika 46. Ishodište kalibracijske mreže 44
Slika 47. Kalibracija kamere, postavljanje osi X 44
Slika 48. Smjer osi X kalibracijske mreže 44
Slika 49. Kalibracija kamere, postavljanje osi Y 45
Slika 50. Smjer osi Y kalibracijske mreže 45
Slika 51. Stvaranje vizijskog procesa 46
Slika 52. Parametri vizijskog procesa 47
Slika 53. Naučeni vizijski obrazac 49
Slika 54. Vizijski proces 50
Slika 55. Referentna pozicija 51
Slika 56. Postavljanje senzora 52
Slika 57. Postavljanje referente pozicije, korak prvi 53
Slika 58. Postavljanje referentne pozicije, korak drugi 54

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu riješen je problem implementiranja sustava vizualnog praćenja i robotskog rukovanja predmeta u pokretu na transportnoj traci, koristeći pri tome vizijsku sustav robota i davač impulsa odnosno inkrementalni enkoder koji je povezan sa elektromotornim pogonom transportne trake. Sustav je izveden na postojećoj robotskoj stanici i transportnom sustavu koji se nalazi u Laboratoriju za projektiranje izradbenih i montažnih sustava.

U prvom dijelu diplomskog rada ćemo opisati naš sustav, od kojih dijelova se sastoji, te koje dijelove je bilo potrebno konstruirati i o čemu se trebalo voditi računa. Posebno ćemo se posvetiti svakom dijelu od robota, kamere, enkodera, transportne trake do privjeska za učenje.

Nakon toga opisati ćemo proces povezivanja transportne trake sa vizijskim sustavom i sa robotom. Unutar toga će se raditi postavljanja kamere, kalibracije transportne trake i enkodera, kalibracije kamere i učenja sustava na prepoznavanje predmeta rada.

Nakon postavljanja cjelokupnog sustava i njegovog usklađivanja posvetiti ćemo se izradi programa koji će izvršavati zadatak praćenja predmeta rada na transportnoj traci te njegovom izuzimanju sa linije.

1. UVOD

U današnje vrijeme montaža je postala neizostavni dio gotovo svake proizvodnje i skoro da ne postoji proizvod koji se ne sastoji iz dva ili više dijelova. Dijelovi se dovode u željeni odnos, a potom njihovim sklapanjem nastaje proizvod. Zbog takve raširenosti u proizvodnji, montaži je nužno posvetiti mnogo pozornosti te uzeti u obzir sve utjecaje koje ona ima na proizvodnju i cjelokupni tehnološki proces.

Jedan od važnijih utjecaja montaže na proizvodnju su troškovi koji su tijekom projektiranja relativno mali i iznose oko 10 do 15 %, ali zato u proizvodnji narastu i do 70 %. U odnosu na druge vrste proizvodnje, montaža često predstavlja jedini prihvatljivi, a ponekad i jedini mogući način proizvodnje, zato što je vrlo skupo, komplicirano ili nemoguće izraditi proizvod iz jednog dijela, a i većina proizvoda predstavlja neku vrstu sklopa.

Montaža se može definirati kao djelatnost kojoj je cilj spajanje dvaju ili više objekata u jednu cjelinu određene namjene i svrhe. Drugi pojam za montažu je sklapanje i ravnopravno se koristi. Djelatnosti potrebne za sklapanje odvijaju se prema određenim zakonitostima (tehničko-tehnološkim, ekonomskim, sociološkim, ekološkim itd.) koje izvode ljudi i/ili automati, sa svrhom ostvarenja tvorevine unaprijed definirane strukture.

U povijesnom smislu može se reći da se montaža počela razvijati pred kraj devetnaestog stoljeća kada je Frederik Winslow Taylor, 1881.g. iznio teoretske osnove iz metoda studija rada i pokreta. Svoj pravi zamah je doživjela u dvadesetom stoljeću pojavom moderne industrijske proizvodnje, osobito automobilske industrije, iz koje se mogu izdvojiti Morris Motors, 1893., s linijom za proizvodnju blokova motora i Henry Ford, 1903., s tekućom montažnom linijom i masovnom proizvodnjom.

Montaža se općenito može podijeliti na ručnu i automatsku, te između njih postoji povezanost i međusobno nadopunjavanje. Automatska montaža je nastala kao rezultat nastojanja da se čovjeku olakša rad, da se ujednače pokreti i operacije koje se provode, te da se ti pokreti automatiziraju izvođenjem od strane automata. Danas postoje sustavi kod kojih je u potpunosti izbačena ručna montaža, no troškovi uvođenja takvih sustava znaju bit jako veliki.

Općenito se teži što većoj brzini sklapanja dijelova odnosno što bržoj montaži. Cilj je izbaciti sve radnje koje usporavaju taj proces, ideja je da se u konačnici transportna traka uopće ne

zaustavlja ili da se zaustavljanja svedu na minimum. Takav način razmišljanja je i doveo do ideje rukovanja predmetima rada u pokretu. Za to je bio nužan razvoj vizijskih sustava i robotike. Današnji stupanj razvoja tehnologije nam omogućava različita rješenja za rukovanje predmetima rada bez njihovih zaustavljanja i pozicioniranja, odnosno izvođenje operacija na predmetima dok su u pokretnu na transportnoj traci.

2. DIJELOVI SUSTAVA

2.1. Uvod

Tracking sustav, odnosno sustav praćenja predmeta rada po transportnoj traci se sastoji od više dijelova. Sustav se sastoji od vizijskog sustava koji sačinjava Sony XC-56 kamera i teleobjektiv marke TAMRON, Fanuc robota model M-3i, inkrementalnog enkodera, te transportne trake koju pogoni elektromotor marke Bonfiglioli. Potrebno je sve dijelove sustava spojiti i povezati u cjelinu gdje svaki dio ovisi jedan o drugome, odnosno svi dijelovi su potrebni za adekvatno funkcioniranje sustava. Potrebno je svaki dio kalibrirati i povezati međusobno. Sve dijelove zasebno, te na koji način smo ih kalibrirali i povezli međusobno će biti opisano u ovom poglavlju.

2.2. Transportna traka

Transportne trake imaju veliku ulogu u svakom automatskom montažnom sustavu. Njihov zadatak je dobavljanje montažnih dijelova do radne stanice, te otpremanje gotovih proizvoda. Ona također povezuju različita radna mjesta automatskog montažnog sustava.

Transportnu traku, kao što je već prije spomenuto pogoni motor Bonfigioli, model Bn63b4.

Slika 1. Bonfiglioli elektromotor

2.3. Inkrementalni enkoder

Enkoderi su mjerni pretvarači kutnog ili linearnog pomaka. Dijele se na inkrementalne i apsolutne enkodere. Inkrementalni enkoderi daju na izlazu impulse čiji broj ovisi o veličini pomaka. Mjerenje pozicije pomoću inkrementalnih enkodera se izvodi brojanjem impulsa sa enkodera. Apsolutni enkoderi na izlazu daju binarni kod trenutne pozicije, npr. 1010. Kod inkrementalnog enkodera na staklenom disku imamo samo jednu traku koja propušta svjetlosne impulse na jednu fotodiodu. Impulsi nastaju uslijed rotacije diska, jer je sa jedne strane diska postavljen izvor svjetlosti (lampa), a sa druge fotodioda. Crna traka iscrtana od centra ka obodu diska prekida snop svjetlosti od izvora svijetlosti tako da fotodioda pri svakom obrtaju daje jedan impuls. Apsolutni enkoderi imaju i do dvanaest fotodioda pri čemu dioda najbliža centru diska daje jedan impuls po obrtaju, a dioda na obodu diska daje 2048 impulsa po obrtaju. Enkoder sa 3 fotodiode može signalizirati 2x2x2=8 kutnih pozicija, jer njegova dioda sa ruba daje 4 impulsa po obrtaju, dioda do centra daje jedan impuls po obrtaju, a srednja dioda daje 2 impulsa po obrtaju. Ukoliko se spoje preko zavojnog vretena ovakvi enkoderi mogu mjeriti i linearne pozicije, odnosno pomake. Inače za mjerenje linearnih pomaka se koristi posebna vrsta enkodera – mjerne letve. Proizvode se inkrementalni enkoderi sa 500 do 10,000 impulsa po obrtaju, međutim najveću primjenu imaju enkoderi sa 1,024, 2,500 i 5,000 impulsa. Enkoderi sa 1,024 impulsa po okretaju se koriste za glavna vretena alatnih mašina, a enkoderi sa 2,500 i 5,000 impulsa za osi pomoćnog kretanja. Suvremeni enkoderi se mogu spajati na BUS računalne mreže čime se znatno smanjuje broj potrebnih kablova.

Za svaki tracking sustav enkoder predstavlja jednu od glavnih komponenti. U našem sustavu korišten je inkrementalni enkoder proizvođača Sick, model DGS60. Inkrementalni enkoderi serije DGS60 su svjetski poznati modeli koji se koriste u najrazličitijim sustavima te su pogodni i za najteže okolišne uvjete. Imaju rezoluciju do 10.000 impulsa po okretaju.

Slika 2. Inkrementalni enkoder Sick DGS60

2.4. Konstrukcija nosača inkrementalnog enkodera

2.4.1. Uvod

Za izabrani enkoder bilo je potrebno osmisliti konstrukciju s kojem će se povezati direktno sa rotorom elektromotora, te da tako očitava okretaje. Pri izradi konstrukcije trebalo se voditi računa o više faktora. Prije svega potrebno je bilo osmisliti 'vratilo' koje će biti povezano sa elektromotornim pogonom transportne trake, nakon toga trebalo je osmisliti na koji način će se vratilo povezati sa enkoderom, te je trebalo osmisliti cijelu konstrukciju koja bi držala taj cijeli sustav u fiksnom položaju. Trebalo je posebno voditi računa da konstrukcija bude kruta i stabilna da ne bi dolazilo do oscilatornog pomaka enkodera, te da se uslijed toga ne pojave oštećenja na enkoderu koji je vrlo osjetljiv instrument. Konstrukciju je prvobitno bila osmišljena i napravljena u programu CATIA. Nakon par ideja došlo se do konačnog rješenja koje ćemo pobliže opisati.

2.4.2. Središnji vijak

Za 'vratilo' smo osmislili slijedeću konstrukciju. Središnji vijak ima izgled vijka te se pomoću navoja pritegne na pogon elektromotora. Potrebno je bilo voditi računa da vijak na svojem kraju ima iste dimenzije kao i spojka, te se moralo raditi unutar istog tolerancijskog polja.

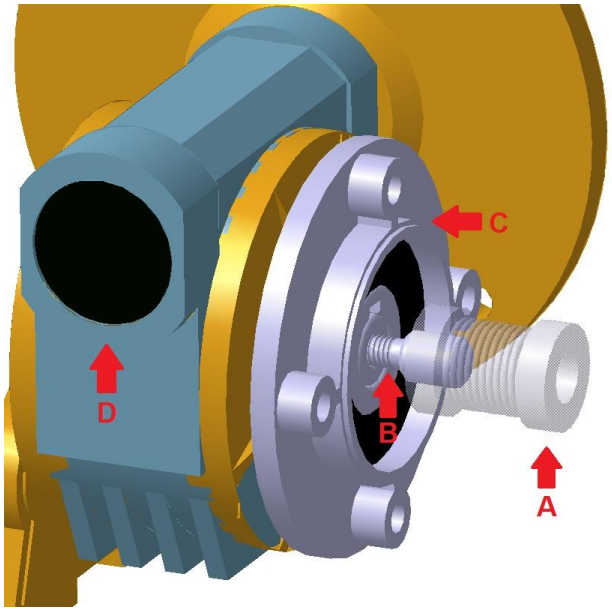
Slika 3. Središnji vijak

Na drugi kraj vijka dolazi spojka, koja je povezana sa enkoderom.

2.4.3. Fleksibilna spojka

Za sustav je izabrana fleksibilna spojka. Uzeta je fleksibilna spojka tako da se mogu kompenzirati eventualni pomaci konstrukcije pri okretaju elektromotora. Izbrana je spojka proizvođača SICK, model KUP-1010-B. Ta spojka omogućuje radijalni pomak od ± 0.3mm, aksijalni od 0.4mm, te pomak kuta od ± 4 stupnja. Spojka je napravljena od nehrđajućeg čelika.

Slika 4. Fleksibilna spojka



Slika 5. Vijak i spojka

Na slici je prikazan spoj spojke i središnjeg vijka. Na slici se nalaze:

A) Fleksibilna spojka, koja je postavljena namjerno transparentno radi bolje preglednosti

B) Središnji vijak

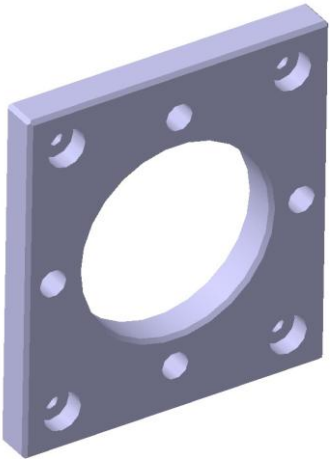
C) Pločica

D) Reduktor elektromotora

Sljedeći korak je bio kako osmisliti nosač cijelog enkodera. Za to smo se odlučili na konstrukciju 'kaveza'. Konstrukciju od dvije prirubnice i četiri cijevi kroz koje bi prolazili vijci za zatezanje

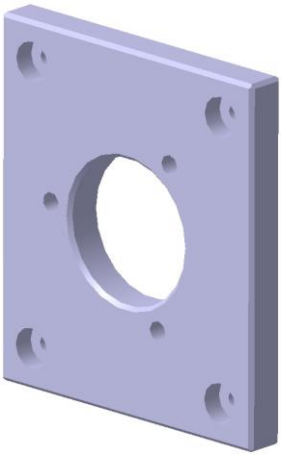
2.4.4. Prirubnice

Kako smo spomenuli ranije potrebne su nam dvije prirubnice. Jedna koja će biti povezana sa pločicom na reduktoru elektromotora i druga sa inkrementalnim enkoderom. Pri izradi konstrukcija moralo se izuzetno paziti na tolerancije i dosjede, jer je konstrukcija morala biti kruta i stabilna, da ne bi došlo do oštećenja na ekoderu. Potrebno je da obje prirubnice imaju po četiri utora unutar kojih će se umetnuti šuplje cijevi kroz koje će prolaziti vijci s kojima će se pričvrstiti cijela konstrukcija.



Slika 6. Prirubnica uz motor

Kao što je vidljivo sa slike prirubnica ima četiri utora preko kojih se sa M6 vijcima pričvrsti uz reduktor elektromotora, te četiri utora za šuplje cijevi. Nasuprot nje se nalazi prihvatnica za enkoder.



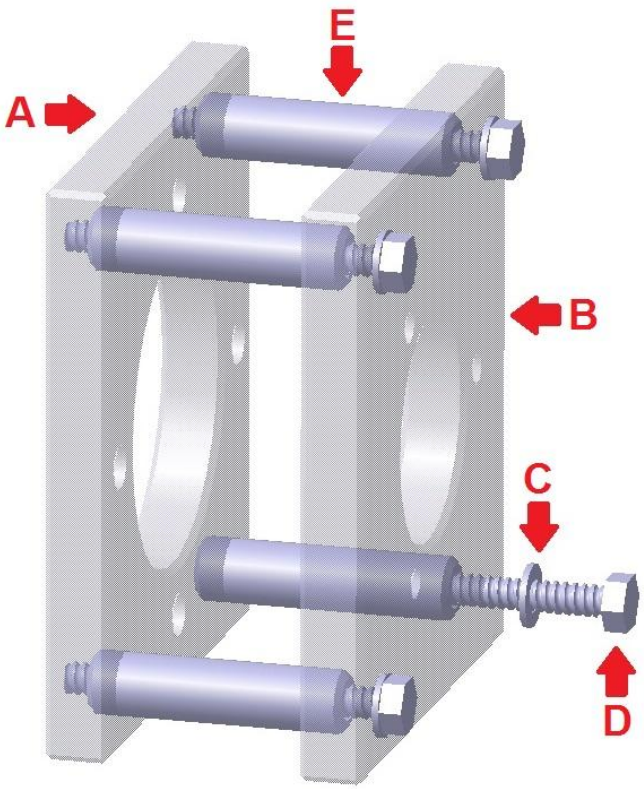
Slika 7. Prirubnica uz enkoder

Prihvatnica za enkoder ima tri utora za M4 vijke kojima je pričvršćen enkoder, te četiri utora za šuplje cijevi kao i kod prihvatnice za motor. Bilo je potrebno također skositi sve rubove za 1mm pod 45° da rubovi ne bi ispali oštri.

Ciljevi su dužine 40mm, vanjskog promjera 10mm i unutarnjeg 6mm, kroz koji će prolaziti vijak M5.

Slika 8. Cijev

Nakon spajanja prirubnica, cijevi, matica i vijaka dobije se konstrukcija 'kaveza' kao što je prikazano na sljedećoj slici.



Slika 9. Konstrukcija nosača enkodera

Na slici se nalaze:

A) Prirubnica uz motor

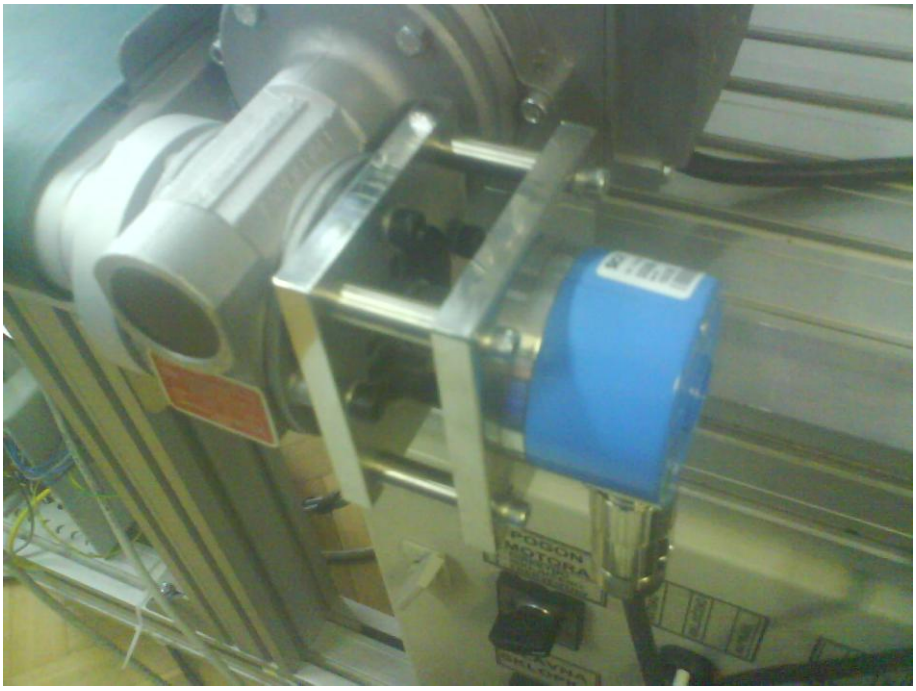
B) Prirubnica uz enkoder

C) Matica M5

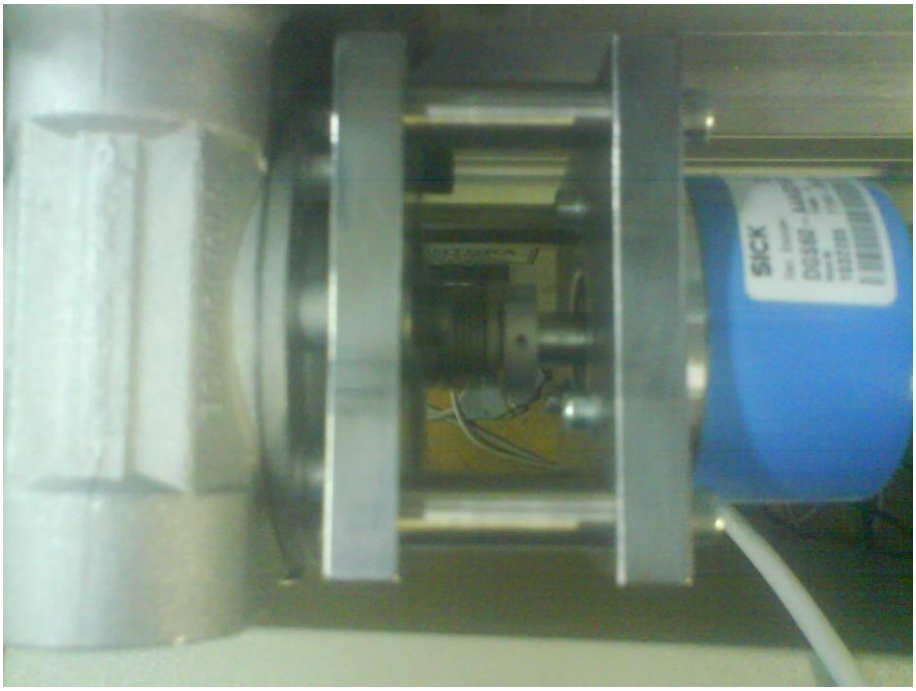
D) Vijak M5 dužine 50mm

E) Cijev dužine 40mm i ∅10mm

Na sljedećim slikama je prikazana gotova konstrukcija spojena na elektromotor i spremna za korištenje.



Slika 10. Konstrukcija u labosu



Slika 11. Konstrukcija u labosu

2.5. Robot

2.5.1. Uvod

Roboti su ključni dio kod bilo kakvoga montažnog sustava te stoga moramo malo pozornosti posvetiti i njima. Roboti su "ruke" montažnog sustava i oni su zaduženi za izvršavanje same radnje montaže.

Prvi roboti nastali su 1950-tih godina u SAD, a potječu od pronalaska teleoperatora, s jedne strane, te numeričkih upravljanih alatnih strojeva s druge strane. Teleoperatori su razvijeni za vrijeme drugog svjetskoga rata radi potrebe daljinskog rukovanja nuklearnim sirovinama, a numerički upravljani alatni strojevi pojavili su se nakon rata kao rješenje problema izrade složenih avionskih dijelova. Prvi pravi robot izrađen je 1958. u suradnji dvojice Amerikanaca, G. Devola i J. Engelbergera. To su ujedno počeci prve i dugo godina vodeće tvornice robota u svijetu, Unimation Inc.

Više pozornosti posvetiti ćemo industrijskim robotima jer se direktno odnose na naš montažni sustav. Industrijski robot se od svojih prethodnika razlikuje po tome što je programski upravljan. Industrijski robot je utemeljen na poznatim znanstvenim i tehničkim disciplinama: kretanje mehanizma, energetski prigon, kompjutersko upravljanje, senzorika. Robot se sastoji od tijela (postolja), ruke, šake te prstiju odnosno prihvatnice. Mehaničku ruku pokreću motori u zglobovima, a njima upravljaju programirana računala. Možemo reći da je robot mehanička ruka kojom upravlja računalo.

Kao što se i drugi industrijski proizvodi dijele po vremenskoj i funkcionalnoj podjeli tako se i kod robota govori o podjeli na generacije. Postoje prva, duga i treća generacija robota. Prva generacija obuhvaća robote koji se sada primjenjuju. Njih karakterizira čisto upravljanje. Ti su roboti bez osjetila i s vrlo ograničenom inteligencijom. Od atributa inteligencije imaju samo pamćenje (memoriju), u koje je pohranjen program. Mogu obavljati samo niskokvalificirani rad, pa i okolina mora biti visoko organizirana. Kao što se može zaključiti roboti prve generacije ne mogu zadovoljiti zahtjeve koje postavlja montažna traka kojom se bavimo u ovom završnom radu. Roboti druge generacije (tzv senzitivni roboti) opremljeni su nizom senzora (vizualni, taktilni, sile), a mogu imati i sustave za raspoznavanje. Roboti preko

senzora dobivaju informacije o stanju okoline, a pomoću jednostavne logike ugrađene u računalo takvi roboti imaju mogućnost reagiranja. U tim slučajevima već je riječ o regulaciji s petljom povratne veze. Treća generacija robota (inteligentni roboti) je osim sustavima za raspoznavanje opremljena i sa računalima. Roboti treće generacije izvode vođenje multivarijabilnog procesa s više izlaznih i ulaznih varijabli. Cijeli bi sustav trebao imati svojstva višeg stupnja inteligencije tj. donošenje odluka, učenje i odlučivanje nedeterminantnim uvjetima.

Glavne značajke robota su:

- **broj stupnjeva slobode gibanja** – broj zglobova koji se mogu gibati neovisno jedan o drugome, najčešće strukture robota su kartezijeva, cilindrična, kvazicilindrična, sferna, rotacijska

- **nosivost** – nosivost u korijenu prihvatnice, a tu može biti uključena i težina prihvatnice; maksimalni teret kojim robot može upravljati

- **točnost ponavljanja** – mjera za maksimalno odstupanje mjernih vrijednosti u ponovljenim slučajevima za propisane vrijednosti

- **točnost pozicioniranja** – kazuje koliko položaj prihvatnice odstupa od propisane točke u prostoru

- **način upravljanja** – dvopoložajno upravljanje, točka-točka(PTP), kontinuirano(CP), slijeđenje montažne trake

- **način programiranja** – direktno učenje pomoću privjeska za učenje, indirektno učenje s ručnim vođenjem robotske ruke, tekstualno programiranje

- **vrsta pogona** – električni, pneumatski, hidraulički

- **težina,masa robota** – bitna je zbog toga što daje informacije na temelju kojih se može projektirati sustav i pozicija samog robota unutar sustava

- **doseg** – doseg koji robot može dohvatiti sa alatom u odnosu na ishodište koordinatnog sustava. Ishodište koordinatnog sustava robota u pravilu se nalazi u ishodištu robota

- **granice kretanja** – granice unutar kojih robot može pokretati pojedinu os

- **maksimalna brzina** – maksimalna brzina koju može postići pojedina os

- **moment** – moment koji može postići pojedina os robota

- **inercija** – moment inercije koji se mogu pojaviti u pojedinoj osi

2.5.2. Fanuc M-3iA

U našem sustavu se koristi robot marke Fanuc, model M-3iA. Taj model omogućuje velike brzine rada, te je njegova glavna osobina da je to robot paralelne kinematike. Idealan je za montažu, manipuliranje manjim dijelovima, za automatiziranje poslova koji su previše brzi ili presloženi za standardne robote. Koristi se često u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji gdje nije potrebna velika nosivost ali je potrebna velika brzina. Zbog visoke krutosti ruke i najmodernije servo tehnologije kretanje robotske ruke je glatko i bez vibracija pri visokim brzinama. Može postići brizne od 4,000° po sekundi kod četvero-osnog, te 2,000° po sekundi kod šestero-osnog modela. Uz to, ovaj model nudi fleksibilnost pokreta zgloba, brzo vrijeme ciklusa i visoku preciznost što je izuzetno bitno za rukovanje predmetima rada u pokretu. Robot je dizajniran tako da je postavljen na visećoj konstrukciji paralelno na transportnu traku. Svi motori u zglobovima su tako dizajnirani da se nalaze udaljeno od radne ruke. Time su omogućen veće brzine ali i da su dovoljno udaljeni od predmeta rada s kojima se manipulira koji mogu biti od agresivnih materijala, što se posebno odnosi na farmaceutsku industriju. Motori su adekvatno zaštićeni unutar kućišta tako da mogu bez poteškoća raditi u prašnjavim i vlažnim okruženjima. Time su smanjeni troškovi održavanja, produžen je životni

vijek i povećana učinkovitost. Pojednostavljeni mehanizmi smanjuju rizike zastoja, a zadržana je visoka preciznost i ponovljivost.

Jedna od također ključnih stvari je da ima mogućnost povezivanja sa vizijom, odnosno korištenje iRVision sustava koji je osmislio Fanuc, također ima sposobnost integriranja s *Robot Linkom* i ima zaštitu od sudara tzv. *Collision Protection*. Nosivost ovog modela robota je 6kg što je više nego dovoljno za naš zadatak.

Slika 12. *M-3iA* robot

2.6. Upravljačka jedinica

M–30*i*A Mate je Fanucova upravljačka jedinica za M-3*i*A robote koji omogućava napredne inteligentne aplikacije na relativno jednostavnom sustavu.

Napredna komunikacija omogućava jednostavnu i brzu komunikaciju sa serverom robota, ugrađena Ethernet kartica, Fanucovi ulazno – izlazni (I/O) linkovi, E-mail funkcija, Fieldbus (profibus, devicenet, CClink).

Ulaz – izlaz (I/O) su električni signali pomoću kojih se kontrolira rad hvataljki i ostalih alata na robotu. Pomoću tih signala je moguća i komunikacija sa drugim robotima ili strojevima (npr. CNC strojevi) koje robot može posluživati. Postavke I/O signala mogu se odvojeno

kopirati pohranjivati na PCMCIA memorijske kartice ili na USB memorijske ključiće. R–30iA nudi nekoliko različitih tipova ulazno – izlaznih signala:

- DI/DO – digitalni signal
- RI/RO – digitalni signali robotske ruke
- GI/GO – grupirani I/O signali
- UI/UO – digitalni I/O signali za daljinsku kontrolu pomoću eksternog PLC-a
- AI/AO – analogni signali

Slika 13. M–30*i*A Mate upravljačka jedinica

Za pokretanje upravljačke jedinice je potrebno manje od 1 [min]. U slučaju nestanka struje program se pokretanje sustava traje jako kratko. HOT START funkcija omogućava sigurno pokretanje sustava i nastavak rada gdje je stao. Nema potrebe za ponovnim izvođenjem cijele operacije. Sustav provjere pozicije; ukoliko dođe do prekida rada iz bilo kojeg razloga, robot memorira zadnju poziciju. Kada se program ponovo pokrene, robot provjerava trenutnu poziciju te da li je bio pomican izvan granica tolerancija. Na taj način se sprječavaju nepredviđene kretnje i kolizije.

Upravljačka jednica sadržava minimalni broj komponenata, što znatno olakšava održavanje (masa mu iznosi oko 55 [kg]). Radi sa FANUC-ovim operativnim sustavom, što ima i prednosti:

- Nema virusa (nije baziran na MS Windows OS)
- Visoka zaštita podataka u slučaju nestanka struje ili nekog drugog kvara
- Brzo podizanje osnovnih programa i funkcija

- Lagan za korištenje

Sustav kontrole motora protiv preopterećenja kontinuirano prati iznose struja na servo motorima, a sustav protiv pregrijavanja prati rasipanje energije i kapacitet svakoga motora. U slučaju pregrijavanja, javlja se alarm i roboti se trenutno zaustavljaju. Također postoji i sustav protiv kolizije (u slučaju kolizije motori su dodatno opterećeni) koji sprječava nastanke većih šteta.

2.7. Izvršno sučelje, privjesak za učenje (iPendant)

Privjesak za učenje je spojen sa robotom preko upravljačke jedinice. On pruža operateru mogućnost ručnog dovođenja robota u određene položaje. Također ima funkciju inicijalizacije robota, pamćenje i brisanje zadanih točaka, provjere zadanih točaka i još neke posebne funkcije. Važno je naglasiti da se pamćenjem neke točke pamti i stanje prihvatnice (otvorena ili zatvorena). Privjesak za učenje se može koristiti za programiranje robota. Preko privjeska za učenje robot se može ručno, preko odgovarajućeg tastera, dovoditi u točke koje se nalaze na željenoj putanji. To znači da se putanja gibanja definira točkama na toj putanji, a između zadanih točaka uspostavlja se slobodni prijelaz. Točnost definicije putanje raste s porastom broja točaka na putanji. Upravljačke jedinice robota mogu pamtiti od nekoliko stotina do nekoliko tisuća točaka, ovisno o kapacitetu memorije računala. Ergonomski dizajniran *i*Pendant je izvršno sučelje nove generacije.

Neke od njegovih glavnih karakteristika:

- Ergonomski dizajn
- Sustav zaštite od ozljeda, tzv. *Deadman Switch*
- Inovativni multi-prozorski displej
- Mogućnost programiranja
- Integrirana funkcija za pomoć i dijagnostiku

- PMC stepenasta logika
- Sučelje koje korisnik može sam urediti
- Mogućnost povezivanja sa inernetom

Slika 14. Privjesak za učenje

Za pomicanje robota u prostoru koristit ćemo se isključivo sa upravljačkom jedinicom. Preko nje će se spremati trenutne pozicije robota, te će se preko njega vršiti i programiranje zadatka. Bitno je dobro savladati glavne stavke i način na koji se koristi izvršna jedinica. Tijekom korištenja potrebno je pritisnuti zaštitni osigurač, tzv. *Deadman Switch* koji može trenutno zaustaviti rad robota tako da blokira sve motore ukoliko se otpusti ili prejako pritisne prekidač.

2.8. Kamera Sony XC-56

Model Fanuc robota koje koristimo na ovom radnom mjestu, M-3iA opremljen je sa integriranim vizijskim sustavom *i*RVision. Vizijski sustavi su nam od posebene važnosti, jer oni predstavljaju "oči" montažnog sustava. Njihov zadatak je da prepoznaju orijentaciju ugradbenih elemenata i da taj podatak prenesu u računalo, nakon čega robot vodi prihvatnicu u odgovarajući položaj. Vizijski sustavi danas imaju široku primjenu u industriji, koja se uglavnom sastoji od toga da kontroliraju i prebrojavaju proizvode (provjeravaju serijske brojeve, traže eventualne površinske greške i sl.) ili da provjeravaju i kontroliraju ostale

komponente proizvodnog sustava. Ti zadaci su pretežno unaprijed definirani. No kada se priča o inteligentnim montažnim sustavima, vizijski sustavi su, kao što je već spomenuto, nezaobilazni dio. Pomoću kamere (ili nekog drugog senzora), robot "percipira" okolinu, te pomoću algoritama umjetne inteligencije donosi odluku o potrebnim akcijama koje treba poduzeti.

Slika 15. Kamera Sony XC-56

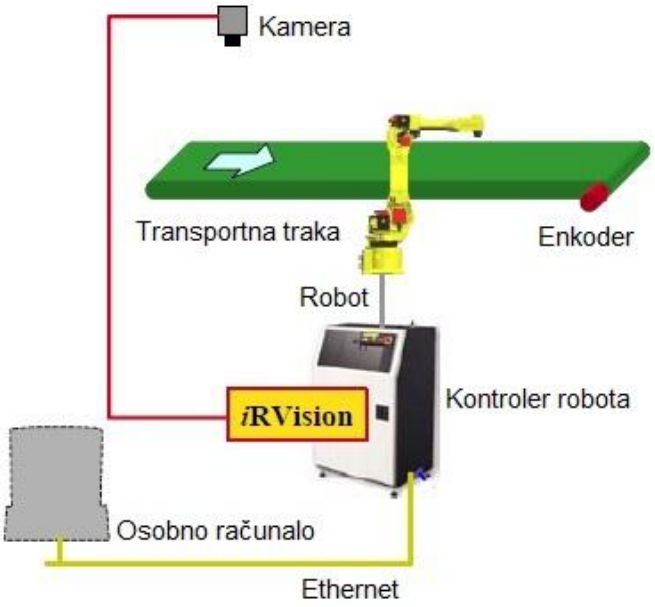
*i*RVision je stabilan i pouzdan sustav. Kamera je jednostavno povezana sa glavnom CPU pločom na upravljačkoj jedinici robota. Na upravljačku jedinicu se može povezati privjesak za učenje sa malim displejom koji pokazuje pogled kamere. Postoji i mogućnost povezivanja sa računalom. To povezivanje sa računalom će biti od posebne važnosti pri izradi programa za praćenje.

3. UČENJE RUKOVANJEM PREDMETIMA U POKRETU

3.1. Uvod

Nakon što smo opisali sustav kojim ćemo se koristiti u ovom diplomskom, nakon što smo osmislili, konstruirali, te postavili konstrukciju sa enkoderom možemo započeti sa programiranjem praćenja transportne trake. Da bi sustav funkcionirao potrebni su sljedeći elementi:

- upravljačka jedinica robota
- robot (u našem slučaju M-3iA)
- privjesak za učenje
- transportna traka
- senzor (nije nužan)
- kamera (u našem sustavu Sony XC-56)
- leća za kameru
- adekvatno osvjetljenje
- enkoder
- ethernet kabel za komunikaciju
- osobno računalo za programiranje



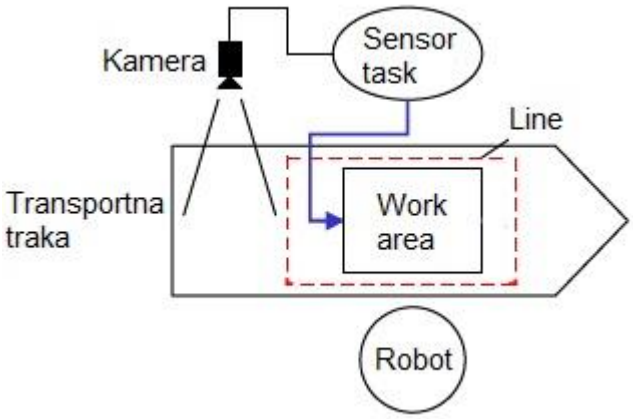
Slika 16. Sustav

Prije svega nužno je naučiti pojmove koji će se kasnije pojavljivati kroz cijeli diplomski, te koji se koriste pri 'učenju' robota. To su elementarni pojmovi za rukovanje predmetima rada u pokretu.

- *Work Area* – radno područje na transportnoj traci unutar koje robot izvršava svoj zadatak, robot unutar tog područja rukuje sa predmetima

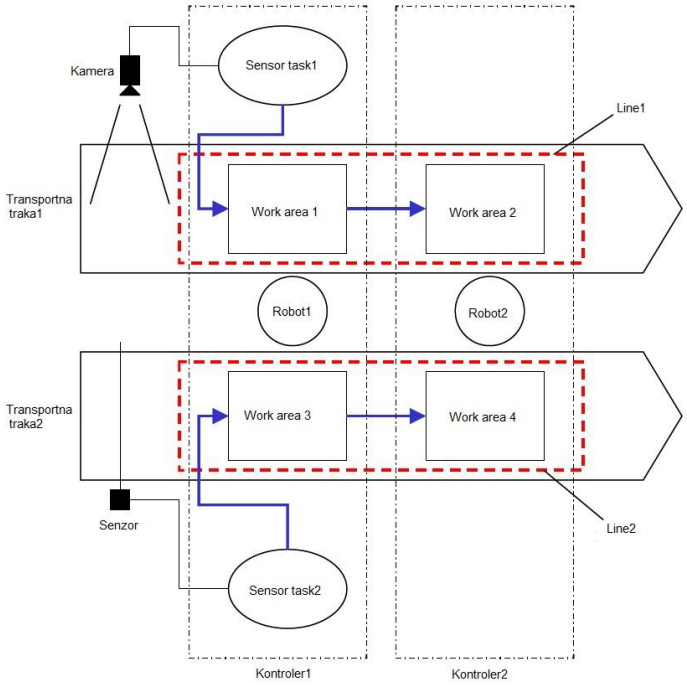
- *Line* – linija predstavlja područje na kojem se kreću dijelovi, te se unutar nje nalazi Work Area, unutar linije može biti više radnih područja odnosno Work Area

- *Sensor Task* – robotski program za detektiranje dijelova na transportnoj traci, te upisivanje tih podataka u registar. Prepoznavanje predmeta rada je moguće preko vizijskog sustava ili preko senzora



Slika 17. Sustav na kojem je rađen diplomski

Kao što je vidljivo iz slike, sustav na kojem je rađen diplomski rad sastoji se od jednog robota, jedne transportne trake, jedne kamere, jedne linije, jednog radnog područja i jednog senzorskog zadatka. Sustav je fleksibilan te je moguće imati više robota, radnih područja, kamera, transportnih traka i sve to ukomponirati u usklađeni funkcionalni sustav gdje dva robota mogu raditi paralelno na dvije transportne trake i izvršavati zadatke dok se dijelovi kreću po transportnoj traci bez prekida rada. Takav jedan složeniji sustav je prikazan na sljedećoj slici.



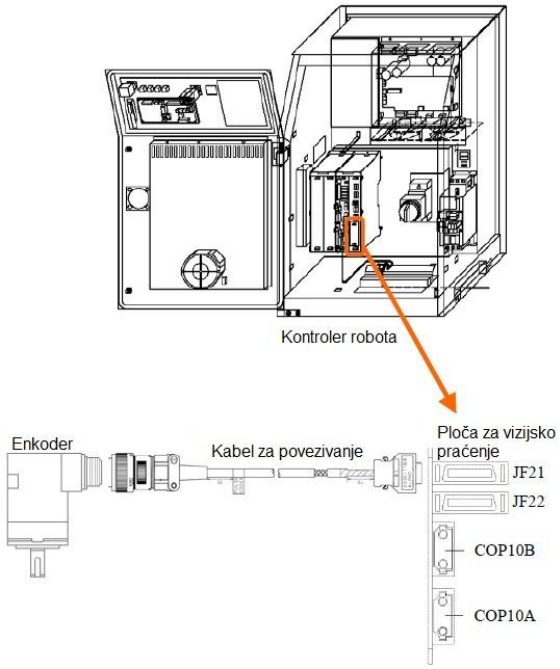
Slika 18. Složeniji sustav

Nakon upoznavanja sa sustavom i osnovnih pojmova koje ćemo koristiti, možemo se pobliže početi baviti potrebnim stavkama za funkcioniranje sustava, te njihovim kalibracijama. Sustav ćemo kalibrirati korak po korak.

1. Instalacija, spajanje enkodera i postavljanje parametara enkodera
2. Instalacija, spajanje i kalibracija kamere
3. Povezivanje osobnog računala sa robotom za 'učenje' vizijskog procesa
4. Postavljanje centralnog alata za hvataljku robota za kalibraciju sustava i odgovarajućeg koordinatnog sustava
5. Postavljanje linija i radnog područja
6. Učenje vizijskog procesa
7. Postavljanje senzora i učenje referentne pozicije
8. Izrada programa na robotu za rukovanje predmetima u pokretu

3.2. Enkoder

Enkoder i njegovu konstrukciju smo pobliže pojasnili u prijašnjem poglavlju. Potrebno je bilo postaviti enkoder tako da fizički ne ometa proces vizijskog praćenja, stoga je postavljen na rub transportne trake, te je spojen direktno sa elektromotorom, a ne na transportnu traku radi preciznijeg očitanja vrijednosti pomaka. Kada se enkoder spaja direktno na transportnu traku treba se posebno vodit računa da ne dolazi do proklizavanja rotacijskog diska enkodera koji se nalazi na traci jer se time gubi na vrijednosti i ne očitavaju se točne vrijednosti. Drugim riječima dio će se pomicati po transportnoj traci ali će se nalaziti na sasvim drugačijoj lokaciji nego što se trebao nalaziti preko očitanih vrijednosti impulsa enkodera. Zbog toga je enkoder u ovom sustavu direktno spojen sa osovinom elektromotora, te zbog toga ne može doći do pojave proklizavanja. Nakon montiranja enkodera i povezivanja sa osovinom elektromotora potrebno je bilo povezati enkoder sa sustavom. Nužno je preko kabela povezati enkoder sa upravljačkom jedinicom M-3iA robota, na taj način smo osigurali povezanost robota, transportne trake odnosno vrijednosti pomaka transportne trake. Enkoder se povezuje na JF21 konektor.

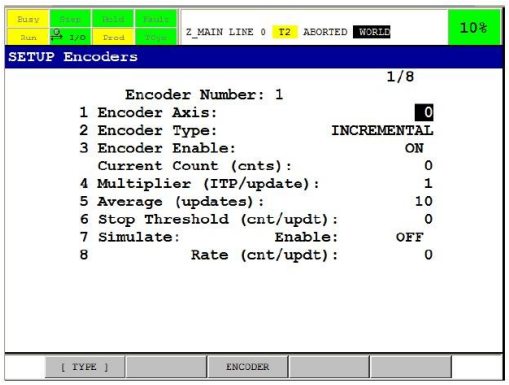


Slika 19. Povezivanje kontrolera robota i enkodera

Nakon pravilnog povezivanja enkodera sa upravljačkom jedinicom robota, može se započeti kalibracija enkodera. Sljedeće radnje se izvršavaju preko *Teach Pendanta,* odnosno izvršnog sučelja. Potrebno je vidjeti da li je enkoder dobro povezan sa sustavom. Da bi smo to provjerili potrebno je preko izvršnog sučelja pratiti korak po korak.

1. Pritisnuti tipku MENUS
2. Odabrati SETUP
3. Odabrati [TYPE], preko tipke F1
4. Izabrati [Encoders]

Nakon toga pojavljuje se slijedeći izbornik koji se nalazi na slici.



Slika 20. Enkoder na privjesku za učenje

Bitno je pod rednim brojem 2, pod opcijom *Encoder Type* izabrati INCREMENTAL, odnosno da se koristimo inkrementalnim enkoderom.

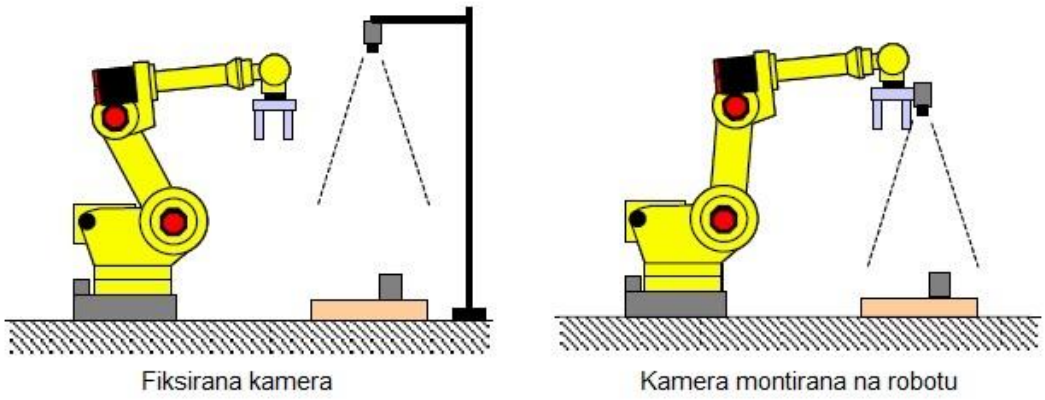
Da bi smo vidjeli dali je sve dobro povezano, potrebno je pustiti traku u pogon i trebale bi se pojavljivati vrijednosti pod rednim brojem 3., naravno također je izuzetno bitno da je enkoder uključen, odnosno da je opcija *Encoder Enable* pod ON. Vrijednosti mogu biti negativne ili pozitivne ovisno u kojem smjeru se okreće enkoder. Moguće je imati do dva enkodera za sustav ali naravno da se može imati samo jednog po transportnoj traci. Za naš sustav koristiti će se robot pod rednim brojem jedan. Bitno je zapamtiti koji enkoder koristimo zbog radnji koje slijede kasnije pri programiranju sustava.

Pod rednim brojem 1. bira se os enkodera. Mogući je izbor broja od 1-8, obično se odredi broj 1, a tako je i izabrano za naš sustav.

3.3. Postavljanje kamere

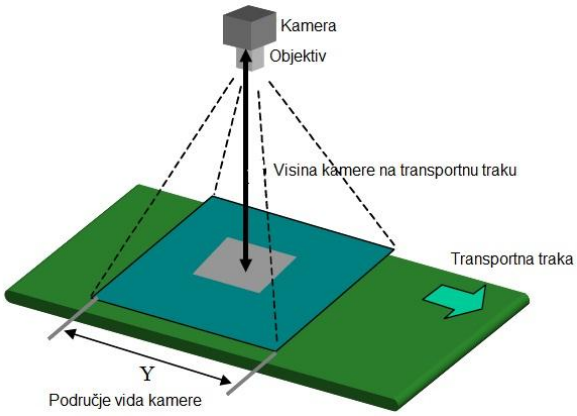
Sljedeći korak je postavljanje kamere koju ćemo koristiti u ovom sustavu. Kamera predstavlja jedan od ključnih elemenata u vizijskom praćenju predmeta rada na transportnoj traci, zbog toga je izuzetno važno provesti dobru kalibraciju kamere jer svaki sitni krivi korak u kalibraciji koji se može mjeriti i u samo jednom milimetru može kasnije prouzročiti probleme.

Kod vizijskih sustava kamera može biti fiksno montirana okomito na transportnu traku ili direktno na robota. Odluka o pozicioniranju kamere ovisi o sustavu i njegovim potrebama. Jasna prednost fiksirane kamere je brzina obrađivanja slike, dijelovi uvijek dolaze okomito na kameru, te je zbog toga puno lakše prepoznavanje dijelova kada se ne treba voditi računa o kutu zakreta kamere i o brzini pokreta robota, te o orijentaciji robota u prostoru odnosno njegovoj orijentaciji naspram dijelova koji putuju po transportnoj traci.



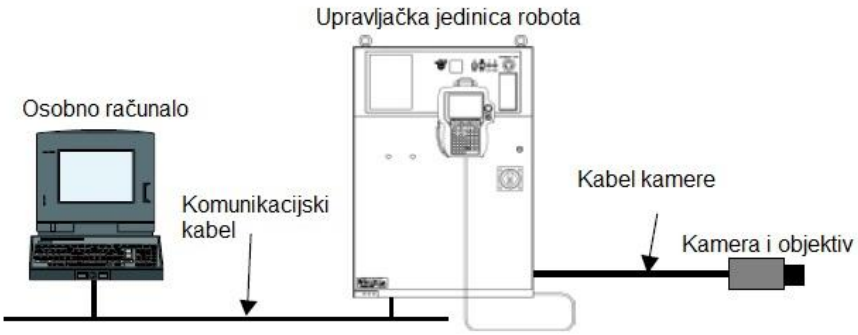
Slika 21. Postavljanje kamere

U sustavu koji mi koristimo kamera je fiksirana okomito na sustav, zbog prednosti koje smo naveli.



Slika 22. Kamera okomita na transportnu traku

Isto kao što je bio slučaj kod enkodera potrebno je i kameru povezati sa upravljačkom jedinicom robota, preko koje će se kasnije povezati sa računalom. Preko računala će se kasnije raditi sve radnje vezane uz viziju, za to će se koristiti *i*RVison sustav koji je osmislio i proizveo FANUC isključivo za svoje robote. *i*RVison se sastoji od kamere i objektiva, kabela za povezivanje kamere, ploču za vizijsko praćenje koja se nalazi na upravljačkoj jedinici robota, osobnog računala i komunikacijskog kabela.

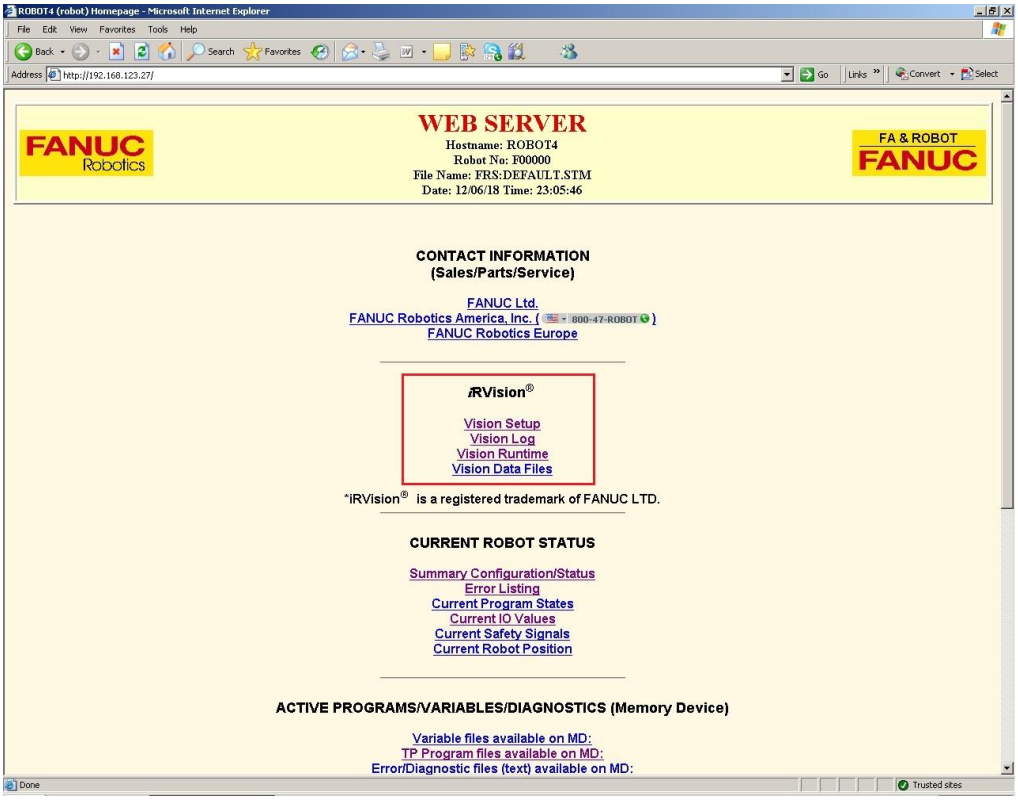


Slika 23. Povezivanje kamere i upravljačke jedinice

Za kalibraciju kamere potrebno je da kamera bude povezana s računalom, preko kojeg se vrši kalibracija. Kamera nije direktno povezana sa računalom već preko upravljačke jedinice. Za naš sustav koristi se standardno stolno računalo sa Windows XP operacijskim sustavom. Nužno je voditi računa o tome koji su operacijski sustavi kompatibilni sa *i*RVison. Upravljačka jedinica je povezana sa računalom preko IP adrese koju je potrebno postaviti, u

principu postupak je isti kao da se povezuju dva računala preko 10BASE-T ili 100BASE-t *cross* kabela. Cross kabel se koristi ukoliko se računalo povezuje direktno sa upravljačkom jedinicom. Pri povezivanju potrebno je isključiti zaštitu na računalu odnosno *FireWall* koji može prouzročiti probleme.

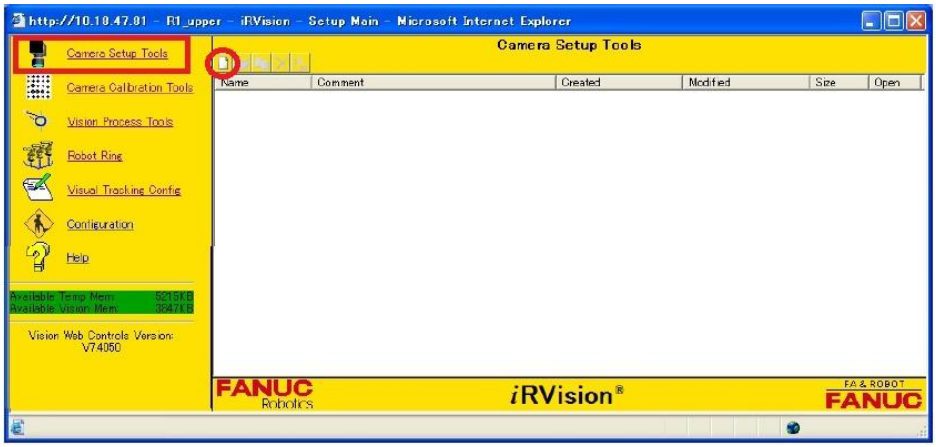
Nakon uspješnog povezivanja računala i upravljačke jedinice potrebno je pokrenuti *Internet Explorer*, te u dijelu za pretraživanje upisati IP adresu robota koju smo definirali prilikom povezivanja računala i upravljačke jedinice. Ukoliko su svi koraci izvršeni na zadovoljavajući način pri upisivanju IP adrese, koja je u našem slučaju 192.168.123.27, trebao bi se pojaviti upravljački prozor za *i*RVison koji je prikazan na sljedećoj slici.



Slika 24. Homepage robota

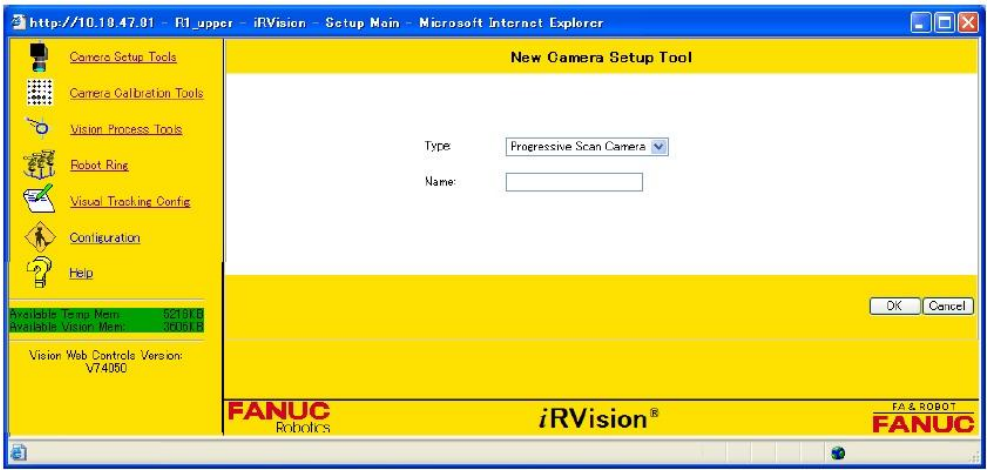
Na slici je u crvenom pravokutniku istaknut dio koji je nama potreban odnosno *i*RVision, gdje će se određivati kalibracija cijelog sustava, a ne samo kamere. Pod *i*RVision opcijom moguće je pratiti sve podatke vezane uz viziju robota. Od zapisa u registar vezanih za naš vizijski sustav (*Vison Log*), pa do ostalih podataka koji su nam potrebni (*Vision Data Files*).

Za postavljanje kamere potrebno je ući u izbornik *Vision Setup*, gdje će se vršiti sve postavke vezane uz vizijski proces, od kalibriranja kamere do postavki linije praćenja. Nakon ulaska u *Vision Setup* izbornik pojavljuje se sljedeći prozor.



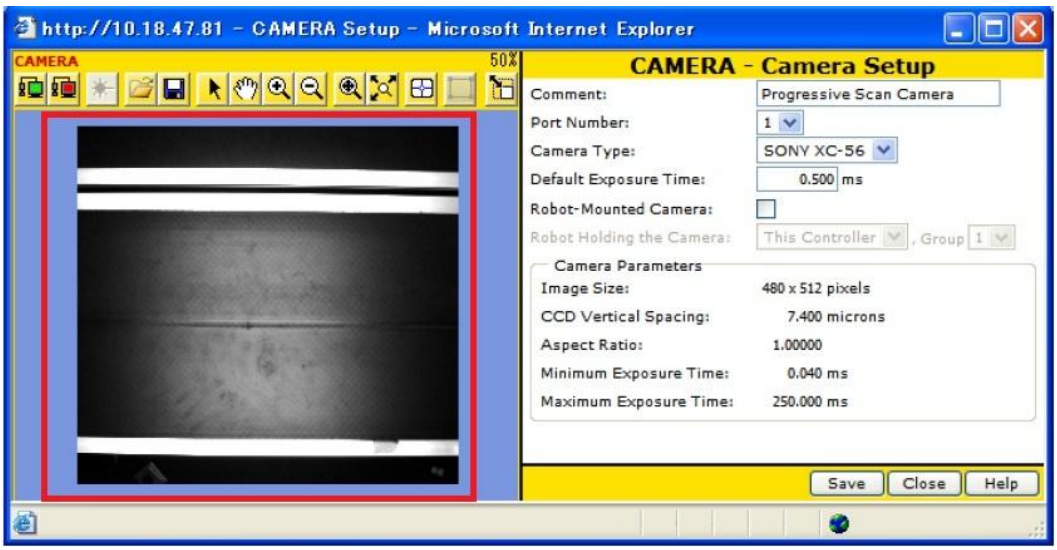
Slika 25. Postavljanje kamere, korak prvi

Nakon pojavljivanja prozora odabire se *Camera Setup Tool* (označeno crvenim pravokutnikom na slici 25), koji se može prevesti kao 'pomoćnik za postavljanje kamere', gdje će se izvršiti postavljanje kamere. Da bi smo postavili novu kameru potrebno je pritisnuti na simbol koji se nalazi u lijevom dijelu ekrana (na slici 25 označeno crvenim krugom). Nakon pritiska na simbol pojavljuje se sljedeći prozor.



Slika 26. Postavljanje kamere, korak drugi

Pod tip (*eng. Type*) odabire se *Progressive Scan Camera*, a za naziv smo odabrali KAMERA_FIKSNA. Bitno je zapamtiti ime, jer će kasnije biti poveznica na tu kameru. Nakon odabira tipa kamere i odabira imena potrebno je pritisnuti tipku OK čime smo kreirali kameru. Sada je potrebno postaviti određene postavke, što se radi tako da se u početnom izborniku za postavljanje kamere (*Camera Setup Tool*) odabere upravo kreirana kamera. Tim odabirom se pojavljuje sljedeći prozor.



Slika 27. Postavke kamere

Slika 27 predstavlja pogled kamere i neke postavke vezane uz nju. U lijevom prozoru unutar označenog crvenog četverokuta se nalazi trenutni pogled kamere. U desnom dijelu prozora pod postavkom *Camera Type* se odabire model kamere koju koristimo. Kao što smo ranije opisali naš sustav koristiti će kameru marke Sony, model XC-56 koji je kompatibilan sa Fanuc robotima i *i*RVison sučeljem.

Za *Default Exposure Time*, odnosno vrijeme ekspozicije odabire se 0.5 milisekundi.

U lijevom kutu prozora se nalazi simbol . Pritiskom na taj simbol kamera napravi jednu sliku, te se ta slika pojavljuje u lijevom dijelu prozora (na slici 27 unutar označenog crvenog pravokutnika). Tu opciju ćemo koristiti pri kalibraciji kamere i pri učenju prepoznavanja predmeta rada. Za probu se može postaviti predmet rada unutar područja da vidimo da li je

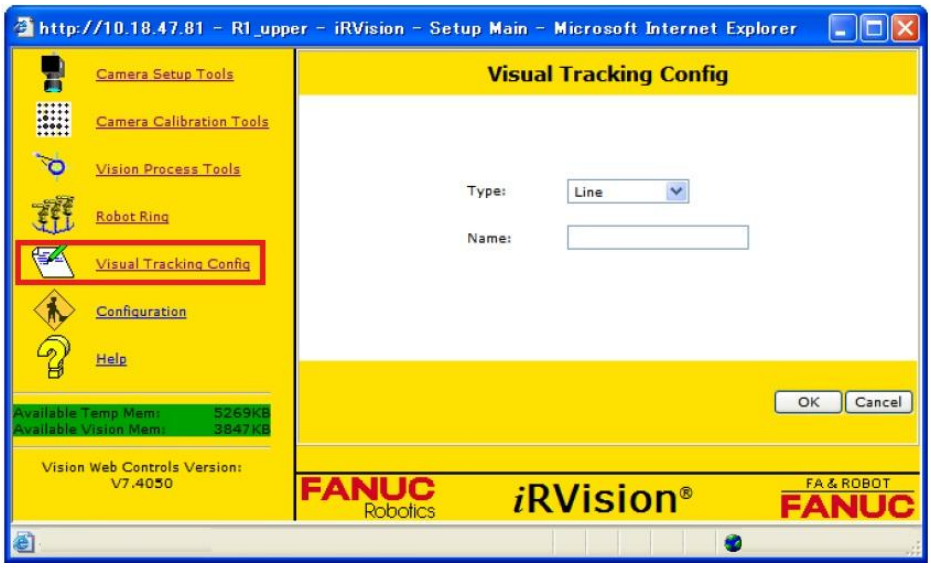
kamera postavljena točno odnosno dali će se dio nalaziti točno u tlocrtu, te da neće biti pod određenim nagibom. Ako slika ne ispadne uredu potrebno je ponovno postaviti kameru.

Ukoliko želimo sliku uživo iz kamere odabire se simbol .

3.4. Postavljanje linije i radnog područja

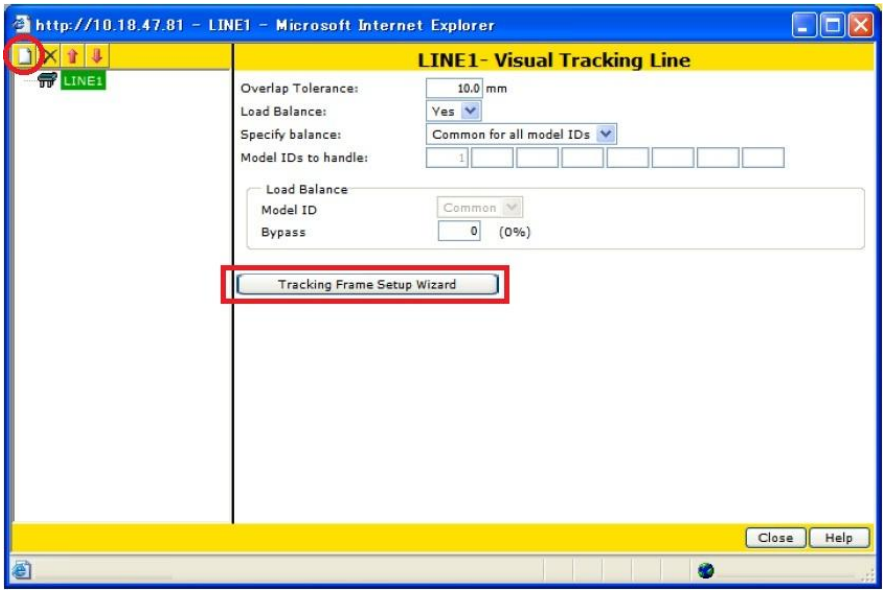
Nakon što smo postavili enkoder i povezali ga sa upravljačkom jedinicom, nakon što smo postavili kameru, kalibrirali ju, te i nju povezali sa upravljačkom jedinicom preko računala možemo se okrenuti postavljanju linije i radnog područja unutar kojega će robot manipulirati sa predmetima rada. Sljedeći koraci će se izvoditi preko privjeska za učenje (*eng. Teach Pendant*) i preko sučelja na računalu. Postavljanje linije praćenja (*eng. Line*) i radnog područja (*eng. Work area*) su osnove za bilo koji virtualni sustav praćenja. Ukoliko se sustav sastoji od više transportnih traka, postupak se treba ponavljati koliko ima i transportnih linija. Kada se linija postavi ona se odnosi na sve robote koji se nalaze na njoj, tako da nije potrebno iznova kalibrirati cijeli sustav. U našem sustavu nalazi se samo jedna linija i samo jedan robot, tako da nije potrebno izvoditi dodatne kalibracije već će biti dostatna sam jedna. Nužno je voditi računa da dok se vrši kalibracija na računalu robot nije isključen jer se podaci koji se upisuju pri kalibraciji spremanju automatski na upravljačku jedinicu, što neće biti moguće ukoliko je isključena. Tako bi moglo doći do toga da se neki podaci ne prebace u upravljačku jedinicu, a time sustav ne bi bio dobro kalibriran.

Za postavljanje linije i radnog područja treba se unutar upravljačkog sučelja na računalu izabrati opciju *Vision setup*, kao što se bilo izabralo i za postavljanje kamere.



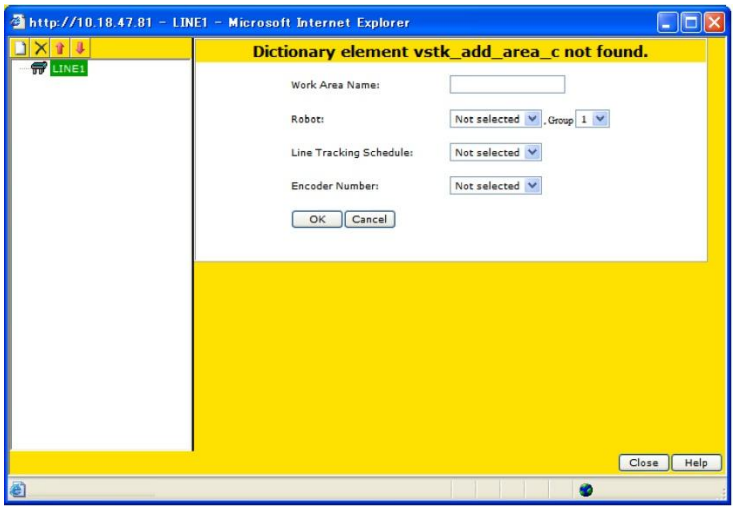
Slika 28. Postavljanje linije

Kao što je vidljivo sa slike, nakon ulaska u *Vision setup*, potrebno je odabrati opciju koja je u crvenom pravokutniku, opciju *Visual Tracking Config*. Unutar tog izbornika se postavljaju opcije linije i radnog područja, kao što će biti opisano u sljedećim koracima. Nakon odabira potrebno je specificirati da se radi o liniji, te joj je potrebno odrediti ime. Za sustav na kojem radimo odabrali smo naziv L2. Bitno je zapamtiti ime linije jer će kasnije u programiranju biti potrebno napraviti poveznice koje će biti vezane sa tom linijom. Nakon što smo odabrali naziv linije i prihvatili postavke, pojavljuje se sljedeći izbornik.



Slika 29. Odabir radnog područja

Za stvaranje novog radnog područja (*eng. Work Area*) potrebno je u lijevom kutu kliknuti na ikonicu kojom stvaramo novo radno područje. Ikona je označena crvenim krugom na slici 29. Radno područje smo nazvali W2, ovaj naziv je također bitno zapamtiti. Ukoliko želimo na istoj liniji imati više radnih područja potrebno je samo ponoviti postupak, ovisno o tome koliko radnih područja želimo. Naš sustav ima jedno radno područje. Ikonicom brišemo odabrano radno područje. Nakon pritiska na tipku za kreiranje novog radnog područja pojavljuje se sljedeći izbornik.



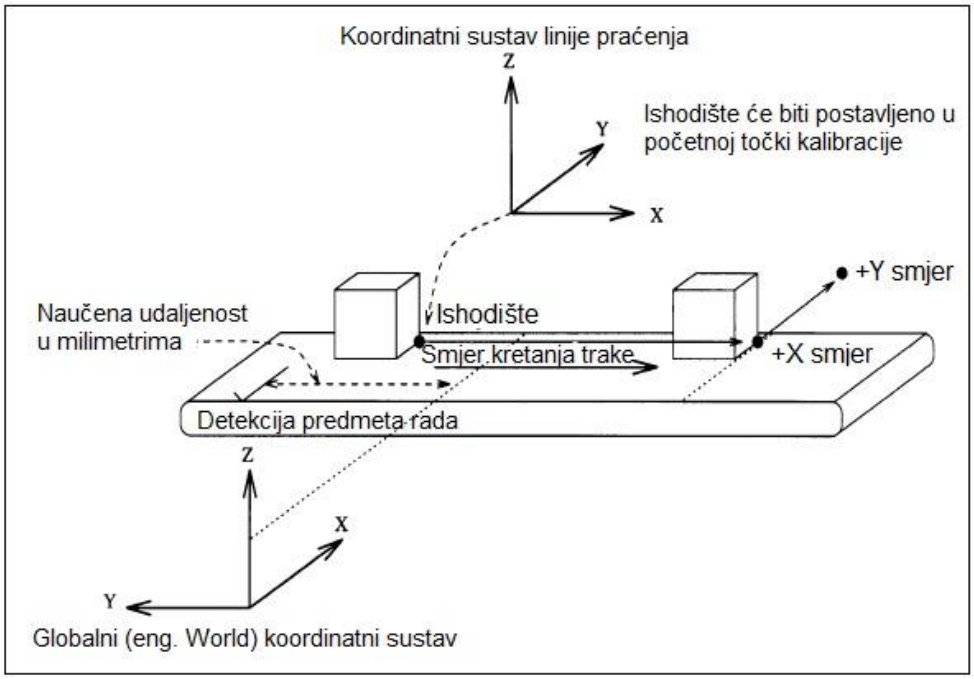
Slika 30. Radno područje

U prvom redu, pri odabiru robota postavlja se upravljačka jedinica robota. U ovom slučaju to se odnosi samo na robot tj. njegovu upravljačku jedinicu koji je trenutno povezan sa računalom, u našem sustavu je to M-3iA robot. Prije kalibracije potrebno je odabrati radni raspored linije praćenja (*eng. Line Tracking Schedule*). Moguće je odabrati broj od 1-8 radnih rasporeda. Za naš slučaj izabran je raspored pod brojem 7. Potrebno je i odabrati enkoder, kao što je prije bilo opisano raditi će se sa enkoderom pod brojem 1, te je zato odabran broj 1.

Sljedeći korak je usklađivanje. Za to je potreban povratak na radnu liniju L2, kao što je prikazano na slici 29, potrebno je izabrati prozor koji je označen crveni pravokutnikom *(eng. Tracking Frame Setup Wizard*) koji predstavlja postavljanje koordinatnog sustava linije praćenja (*eng. Tracking Frame*). Ovaj koordinatni sustav je izuzetno bitan, te je stoga bitno da

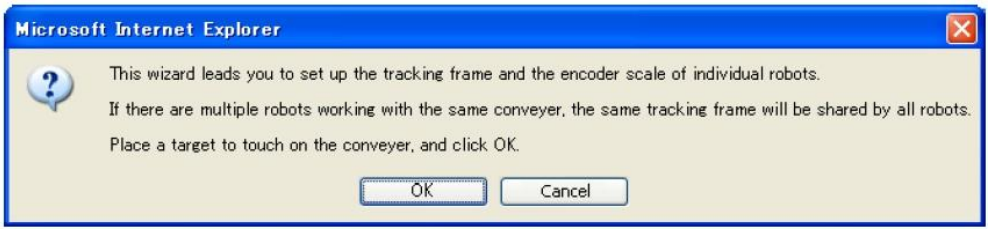
se kalibracija napravi precizno i odgovorno. Svaki krivi unos, makar bio izražen u jednom milimetru može prouzročiti koordinatni sustav koji neće biti adekvatan, koji može biti skošen pod određenim kutom ili nešto tome slično. Izraz sa slike 29, *Overlap Tolerance* se prevodi kao tolerancija preklapanje, te predstavlja vrijednost koja određuje da li se prepoznao identični dio dva puta, ukoliko se prepozna isti dio, zadrži se samo početni predmet. Ova vrijednost se postavlja obično na 10mm. *Load Balance* se prevodi kao usklađenost baratanja predmetima rada, to se odnosi samo kada imamo više od jednog radnog područja te ako želimo uskladiti njihov rad, odnosno ukoliko želimo da jedno radno područje preuzima veći broj predmeta rada od drugoga. Ta vrijednost se izražava u postocima, tako da ako npr. želimo da dva radna područja rade jednoliko usklađeno vrijednost se postavlja na 50% za svako radno područje.

Pritiskom na tipku *Tracking Frame Setup Wizard* pokrećemo kalibraciju transportne trake, enkodera i robota. Koordinatni sustav linije praćenja i kalibracija enkodera se može izvršiti i preko privjeska za učenje. Za kalibraciju sustava nužno je imati dobar alat na hvataljci robota s kojim se može lagano i precizno odrediti pozicija predmeta rada na traci. Kalibracija se vrši tako da se na transportnu traku postavi dio koji će se po traci kretati, te je potrebno taj dio dotaknuti sa robotskom rukom u točno određenoj poziciji. Nakon toga treba pustiti traku u pogon da se dio transportira barem stotinjak milimetara i onda je potrebno dio ponovno dotaknuti sa robotom. Za kalibraciju trake nismo koristili predmet rada, nego precizni kalibracijski element koji smo postavili na transportnu traku. Potrebno je dio postaviti više uz rub trake, jer će se osim po X osi (os kretanja transportne trake) dio morati pomaknuti i po Y-osi koja je okomita ne smjer osi kretanja transportne trake i pozitivni smjer će biti u lijevoj strani od osi X kao što je vidljivo na slici 31.



Slika 31. Koordinatni sustav linije praćenja

Nakon pritiska spomenute tipke *Tracking Frame Setup Wizard*, pojavljuje se sljedeći prozor.



Slika 32. Kalibracija enkodera, korak prvi

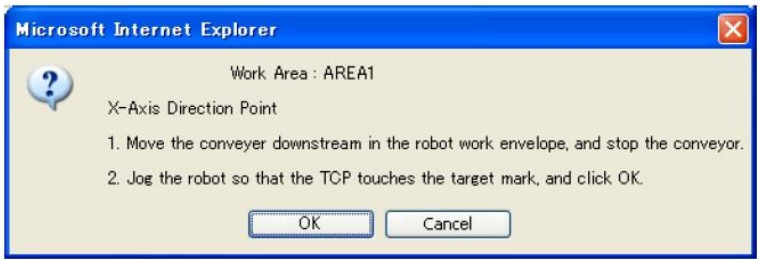
Potrebno je postaviti dio za kalibraciju na transportnu traku, na njen početak. Kada se to napravi potrebno je potvrditi i kliknuti tipku OK.

Nakon toga pojavljuje se sljedeći prozor.

Slika 33. Kalibracija enkodera, korak drugi

Sada treba pustiti transportnu traku u pogon. Kada predmet rada dođe u radnu poziciju robota potrebno je zaustaviti traku. Nužno je voditi računa o odabiru te prve pozicije jer će od te pozicije robot početi manipulirati predmet rada, odnosno to je njegova gornja granica rada. Dakle idealno je da ta pozicije bude odmah izvan pogleda kamere, odnosno da robot ne ulazi u vidno područje kamere pri manipuliranju predmeta rada jer bi se time dobivala kriva očitanja kamere.

Kada smo doveli kalibracijski dio u početno radno područje robota, treba se sa robotom i njegovim kalibracijskim alatom (TCP) dotaknuti karakteristični određeni dio na kalibracijskom djelu. Kod nas je ta dio vidljiv i lagano i precizno ga se može dotaknuti. Kada dovedemo robota u tu poziciju, treba se to potvrditi pritiskom na tipku OK. Tako smo odredili ishodište koordinatnog sustava trake za praćenje. Sada je potrebno odrediti njegovu X-os i Y-os. Z-os odnosno visina se određuje kada se robot dovede u poziciju kalibracije, te ta visina ovisi o visini samog kalibracijskog dijela. Nakon pritiske tipke OK, pojavljuje se sljedeći prozor.



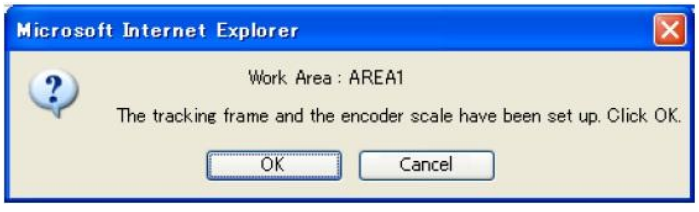
Slika 34. Kalibracija enkodera, korak treći

Sada je potrebno pomaknuti kalibracijski dio po transportnoj traci po osi X. Prije svega, mora se pomaknuti robotska hvataljka tako da dio može slobodno putovati po traci. Posebno se mora voditi računa da se dio ne dotakne ili slučajno pomakne jer tako kalibraciju gubi svoj smisao, odnosno nemoguće je dobiti kvalitetnu i preciznu kalibraciju. Nakon što smo pomaknuli robota, možemo pustiti u pogon transportnu traku. Potrebno je pomaknuti dio do donje granice područja linijskog praćenja. Tamo gdje se zaustavi dio će biti granica našeg sustava vizijskog praćenja. Kao i za odabir središta koordinatnog sustava potrebno je sa robotom dotaknuti karakterističnu točku na dijelu, te potvrditi poziciju pritiskom na tipku OK.

Sada smo odredili početnu točku i krajnju točku našeg područja rada. Robot će se kretati i manipulirati sa predmetima rada samo unutar tog prozora. Još je potrebno odrediti i smjer osi Y. Nakon potvrđene pozicije i pritiska na tipku OK pojavljuje se sljedeći prozor.

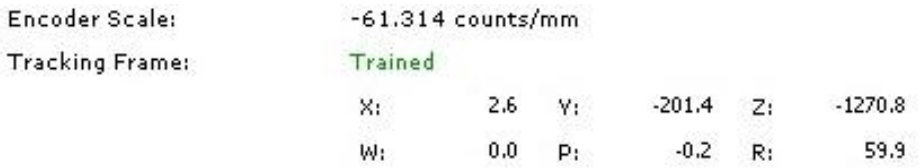
Slika 35. Kalibracija enkodera, korak četvrti

Sada treba pomaknuti dio po Y osi barem stotinjak milimetara radi veće preciznosti. U ovoj točki se treba voditi računa da se ne pali transportna traka. Da bi si olakšali pomicanje kalibracijskog djela po osi Y, a da ostane unutar gabarita možemo si pomoći sa metrom. Dio ne treba biti u identičnoj lokaciji po osi X. Upravljačkoj jedinici je sada bitna samo pozicija po osi Y pošto je već upamtio smjer kretanja osi X. Ali radi veće preciznosti dobro ja da pazimo na to da pomak predmeta po osi Y bude što precizniji. Treba se voditi računa da se na kalibracijskom dijelu dotakne opet ista karakteristična točka, jer ukoliko dotaknemo točku po nižoj ili višoj poziciji u smjeru osi Z koordinatni sustav će se pozicionirati pod određenim nagibom. Pritiskom na tipku OK potvrđujemo kalibraciju, te bi se trebao pojaviti prozor koji potvrđuje uspješnu kalibraciju.



Slika 36. Potvrda uspješne kalibracije

Ovim postupkom je određena skala enkodera (*eng. Encoder Scale*) i koordinatni sustav sustava za linijsko praćenje (*eng. Tracking Frame*). Dobiveni su sljedeći rezultati.

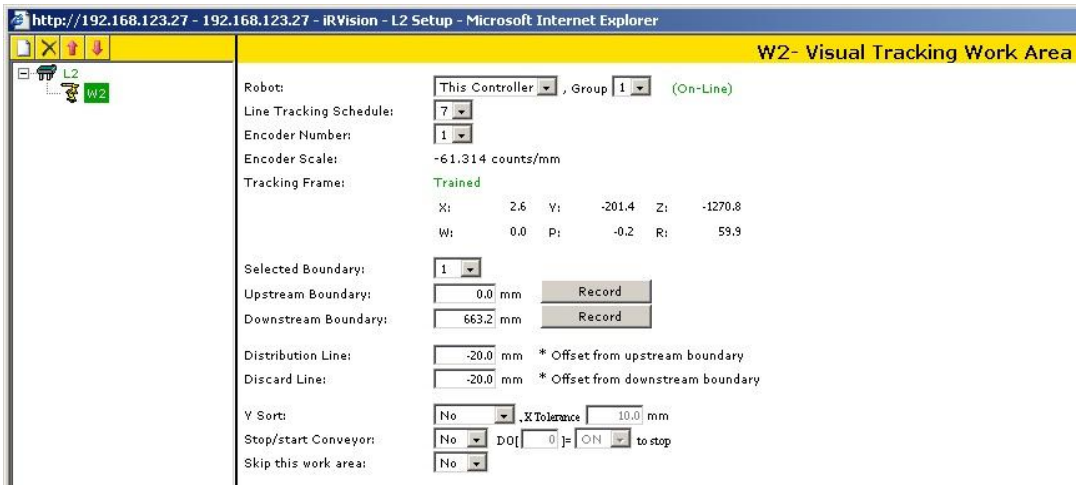


Slika 37. Skala enkodera i koordinatni sustav

Vrijednost *Encoder Scale*, predstavlja koliko jedan milimetar pomaka transportne trake predstavlja okretaja enkodera. Kao što je vidljivo dobili smo vrijednost -61.314 okretaja po milimetru. Vidljivo je da je to izuzetno precizan mjerač, jer puni krug okreta enkodera iznosi 10,000.

Koordinatni sustav koji smo dobili je zapisan u odnosu na koordinatni sustav koji se nalazi zapisan u robotu kao njegov početni sustav, odnosno njegov UFRAME=0 kako će biti zapisan u privjesku za učenje.

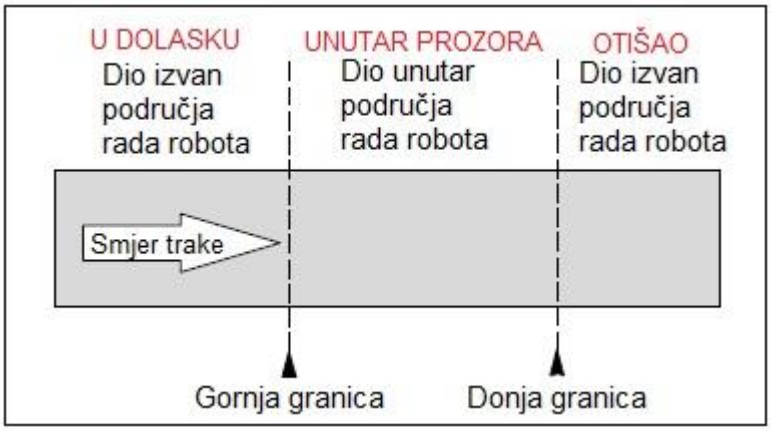
Izuzetno je bitno da se ovaj novi koordinatni sustav zapamti i pohrani preko izvršne jedinice jer će se sada naknadno on koristiti. Preko privjeska za učenje treba se napraviti novi koordinatni sustav sa ovim koordinatnim vrijednostima, jer sve što će se naknadno raditi mora biti izvršeno unutar tog koordinatnog sustava. Vidljivo je da smo dobro kalibrirali sustav jer nema rotacije po iznosu W (rotacija po osi X) i P (rotacija po osi Y), odnosno nema skošenja koordinatnog sustava, izuzev rotacije od približno 60° po osi Z naspram koordinatnog sustava robota.



Slika 38. Kalibrirano radno područje

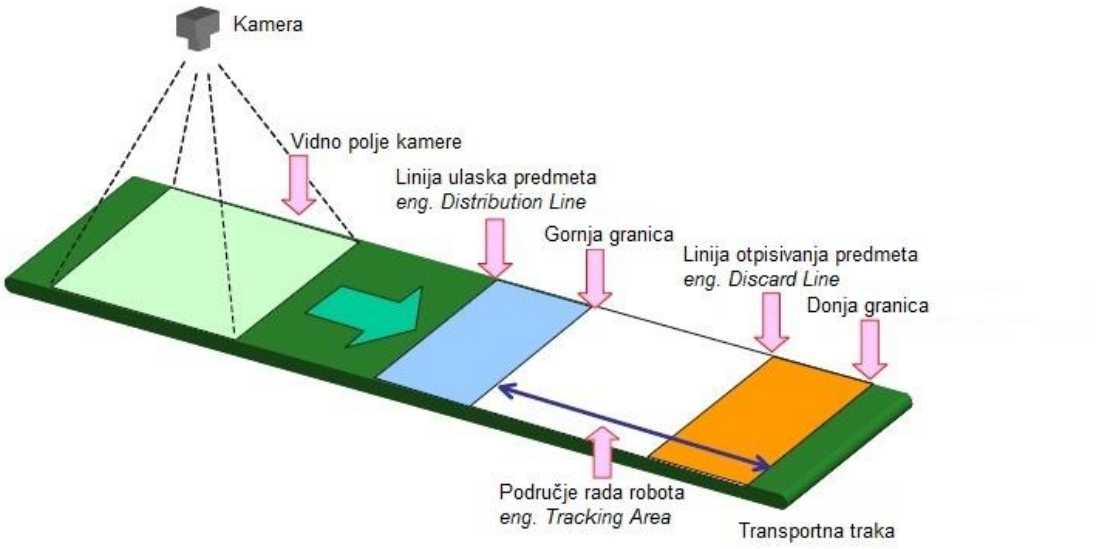
Iz prethodne slike se može vidjeti da se mogu naknadno mijenjati neke postavke, poput enkodera i linije praćenja.

Mogu se odrediti i granice unutar kojih će robot raditi. Te granice će biti pokazane na slici broj 39.



Slika 39. Područje rada robota

- *Upstream Boundary* predstavlja gornju granicu radnog područja, taj iznos je udaljenost od ishodišta koordinatnog sustava i određene je vrijednosti u milimetrima. Za naš slučaj ta vrijednost iznosi 0 jer nam je ishodište ujedno i početak radnog područja robota.
- *Downstream Boundary* predstavlja donju granicu radnog područja, nakon koje dio izlazi iz područja rada robota. Ta granica se može upisati ručno ili se može dovesti hvataljku robota do granice koju određujemo, te pritiskom na tipku RECORD spremiti vrijednost duljine od ishodišta izraženu u milimetrima. Vrijednost za naš slučaj iznosi 663.2 milimetara, te dio koji se nalazi izvan te granice se smatra nedostižnim.
- *Distribution Line* predstavlja mjeru u milimetrima prije gornje granice kada se počinje slati signal robotu da predmet dolazi
- *Discard Line* predstavlja mjeru u milimetrima prije donje granice kada se određuje da je dio nedostižan, to se postavlja da se robot ne bi 'zaletio' prema predmetu rada koji je blizu donje granice, taman kada izlazi iz nje, ovako ga odmah odbaci i uzima sljedeći

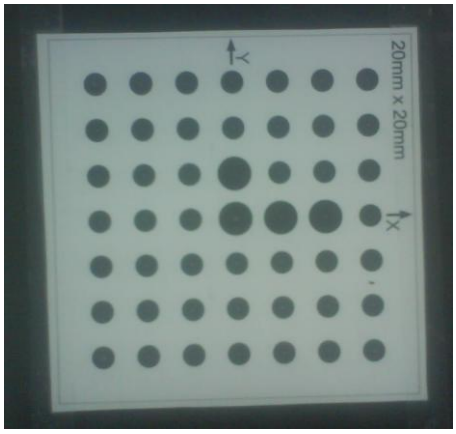


Slika 40. Transportna traka sa ograničenjima

3.5. Kalibracija vizijskog sustava

Nakon što smo naučili liniju na kojoj će se izvršavati manipuliranje predmetima rada u pokretu, potrebno je uskladiti kameru se radnim područjem, te naučiti vizijski sustav da prepoznaje predmet rada i njegov položaj i orijentaciju unutar naučenog koordinatnog sustava linije praćenja. Kao i kod učenja linije praćenja i ovdje se učenje vrši preko računala, preko *i*RVision opcije, stoga je potrebno ući u *Vision Setup* izbornik. Nakon što smo već obavili potrebnu postavu za kameru, sada ju je potrebno kalibrirati do kraja. Za kalibraciju kamere potrebna nam je kalibracijska mreža. Kada se kalibracija odradi adekvatno sustav će biti naučen da prepoznaje predmet rada na liniji praćenja, te da poveže koordinatni sustav kamere sa koordinatnim sustavom linije praćenja.

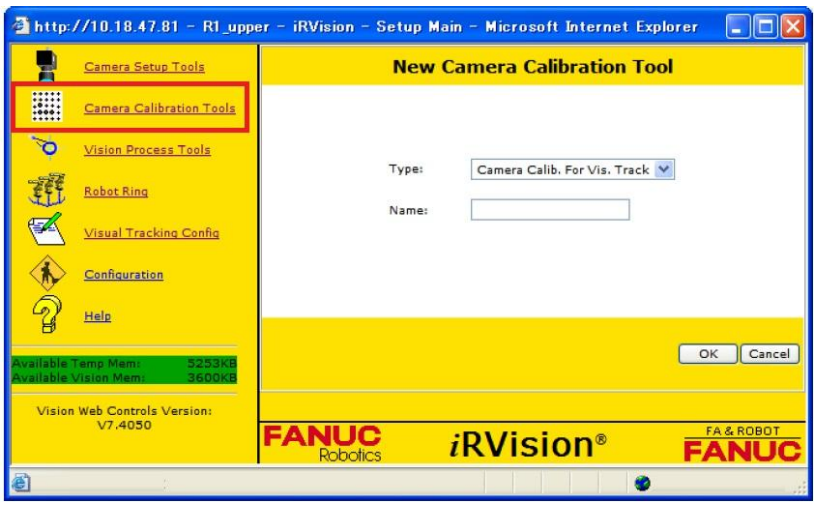
Prvi korak za dobru kalibraciju je da se postavi precizna kalibracijska mreža. Pri kalibraciji se koristila sljedeća kalibracijska mreža.



Slika 41. Kalibracijska mreža

Izabrano je da su krugovi u mreži udaljeni 20mm jedan od drugoga. Također je bitno postaviti u središte centralnog kruga i u dvije krajnje rubne kružnice izbočeni dio koji ćemo lako i precizno moći dotaknuti sa robotom radi precizne kalibracije. Kako bi se proces kalibracije dovršio potrebno je definirati poznati set točaka kako bi se definirala poveznica između točaka na slici i stvarne lokacije točaka koje odgovaraju realnom svijetu. Kalibracijski alati koriste poznate vrijednosti, kako bi izračunali odnos stvarnih vrijednosti i piksela. Da bi se vrijednosti mjerenja izrazile u stvarnim mjernim jedinicama potrebno je definirati koordinatni sustav. Kalibracijski algoritam određuje smjer horizontalne osi stvarnog svijeta i podešava smjer iste na slici koju tumači.

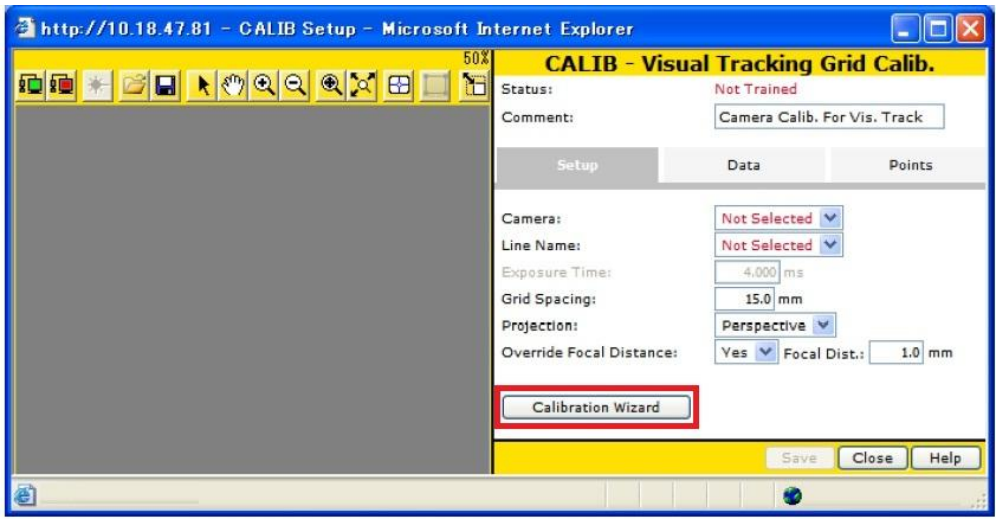
Da bi smo započeli kalibraciju potrebno je opet ući u *i*RVison sučelje te izabrati opciju *Vision Setup*. Unutar nje potrebno je izabrati *Vision Calibration Tool* (nalazi se unutar crvenog pravokutnika) kako je prikazano na sljedećoj slici.



Slika 42. Kalibracija kamere, izbor tipa kalibracije

Na desnoj strani prozora se odabire tip kalibracije kamere, te naziv kalibracije. Za sustav vizijskog praćenja potrebno je odabrati opciju *Camera Calib. For Vis. Track* koja je posebno izrađena samo za vizijsko praćenje, a za naziv smo odabrali C2. Nakon odabranog tipa i naziva kalibracije potrebno je to potvrditi pritiskom na tipku OK.

Nakon potvrđivanja pojavljuje se sljedeći prozor.



Slika 43. Kalibracija kamere, postavke kalibracije

Kao i kod postavki kamere u lijevom dijelu prozora se nalazi pogled kamere, a u desnom potrebne postavke za adekvatnu kalibraciju kamere. Kalibracijsku mrežu je potrebno po mogućnosti postaviti što je preciznije u središte pogleda kamere tako da bi se dobila što preciznija mjerenja i time kalibracija kamere. Kao što je vidljivo sa slike sustav još nije naučen.

Kao prvi korak potrebno je u desnom dijelu pod opcijom *Camera* odabrati kameru koju ćemo koristiti pri kalibraciji i koja će se koristiti u cijelom sustavu praćenja. Za naš sustav se koristi kamera koja je postavljena ranije, te smo je nazvali KAMERA_FIKSNA.

Druga stavka koja se odabire u ovom prozoru je *Line Name*, odnosno linija koju smo također već unaprijed definirali te smo ju nazvali L2.

- *Grid Spacing* se odnosi na razmak elemenata na kalibracijskoj mreži. Kao što je spomenuto ranije, kalibracijska mreža koja će se koristiti ima razmak svojih elemenata (kružnica) od 20mm te je stoga ovdje potrebno upisati vrijednost od 20mm.
- *Projection* se odnosi na vrstu pogleda odnosno projekcija. Postoje dvije opcije, *Perspective* i *Orthogonal*. Za naš sustav se odabire Perspective. Ortogonalni pogled se odabire kada želimo da se predmet rada koji se prepoznaje, odnosno njegova gornja ploha nalazi u istoj ravnini kao i koordinatni sustav kalibracije. Pošto mi želimo odrediti visinu predmeta rada koji se prepoznaje odabiremo *Perspective*.

Nakon što su izvršene sve spomenute postavke možemo početi kalibrirati sustav. Kao što je spomenuto potrebno je postaviti kalibracijsku mrežu približno u centar pogleda kamere. Da bi smo to što preciznije izvršili treba pritisnuti na simbol kojim se u desni prozor, odnosno pogled kamere, postavi centar. Nakon toga može se upaliti pogled kamere uživo pritiskom na simbol , te se sada gledajući u ekran može postaviti kalibracijska mreža u centar pogleda kamere. Nakon što smo precizno postavili kalibracijsku mrežu potrebno je uslikati sliku, što se izvršava pritiskom na simbol . Kada se pojavi slika i kada se vidi da je kalibracijska mreža dobro postavljena možemo krenuti na kalibraciju sustava. Za to je potrebno pritisnuti na *Calibration Wizard* , odnosno pomagača za kalibraciju koji se nalazi u donjem desnom kutu prozora kao što je vidljivo u slici, gdje se taj dio nalazi unutar crvenog pravokutnika. Nakon odabira pojavljuje se sljedeći prozor.

Slika 44. Kalibracija kamere, početak kalibracije

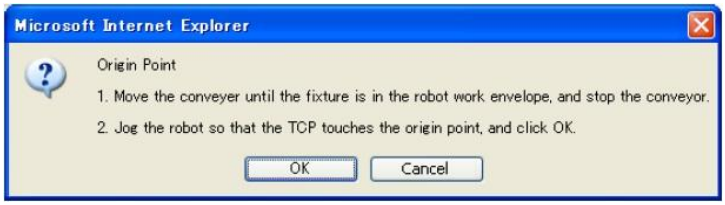
Ukoliko nam se pojavila kalibracijska mreža prilikom 'okidanja' slike možemo odabrati opciju OK te nastaviti sa daljnjom kalibracijom.

Sljedeći korak je ograničiti pogled kamere samo na područje unutar kojeg se nalazi kalibracijska mreža kao što je prikazano na sljedećoj slici. Time smo odbacili sve ostale

predmete i oblike koje bi kamera mogla uzeti u obzir prilikom kalibracije i na taj način izvršiti neispravnu kalibraciju. Nakon potvrde izabranog prozora sustav prepoznaje obilježja kalibracijske mreže, odnosno u našem slučaju krugova, te pošto smo odredili da se nalaze u razmaku jedan od drugoga na točno 20mm, vizijski sustav može prepoznati kolika je udaljenost kamere i transportne trake.

Kao što je bio slučaj i za kalibriranje transportne trake tako se i za kalibraciju kamere koristi isti alat na hvataljci robota s kojim je potrebno dotaknuti karakteristične točke na kalibracijskoj mreži. Potrebno je dotaknutu središte, smjer X osi, te smjer Y osi nakon čega će kamera biti usklađena sa transportnom trakom i na taj način dovršavamo kalibraciju i usklađivanje cijelog sustava praćenja predmeta rada. Izuzetno je bitno da se kalibracijska mreža ne pomiče, mora ostati u toj poziciji te jedino se kasnije mora pustiti po transportnoj traci ali je bitno da nema nikakvih zaokreta ili pomaka rukom ili robotskom hvataljkom jer će kalibracija u protivnom biti nevaljana.

Nako što smo pokrenuli kalibraciju, te nakon što je kamera uslikala i prepoznala kalibracijsku mrežu i na njoj prepoznala karakteristike pojavljuje se sljedeća slika.



Slika 45. Kalibracija kamere, postavljanje ishodišta

Sada se mora pustiti u pogon transportna traka, tako da kalibracijska mreža dođe u radno područje robota. Što veći put prevali kalibracijska mreža po transportnoj traci to će kasnija očitanja biti preciznija. Jer se na malom pomaku greške teže kompenziraju, npr. jedan milimetar pogrešnog očitanja na svega desetak milimetra pomaka može uzročiti problem jer to predstavlja veliku grešku dok recimo jedan milimetar pogrešnog očitanja na stotinjak milimetra pomaka ne predstavlja toliku pogrešku. Stoga je dobro da se kalibracijska mreža pomakne do recimo središta robota, tako da prođe više od stotinjak milimetara duž transportne trake. Nakon što smo doveli kalibracijsku mrežu do odgovarajuće pozicije u radnom području robota, potrebno je dotaknuti sa kalibracijskim alatom na robotu središte kalibracijske mreže, kao što je pokazano na sljedećoj slici. Sve točke na kalibracijskoj mreži koje je potrebno dotaknuti sa robotskom rukom je dobro dodatno istaknuti radi preciznije

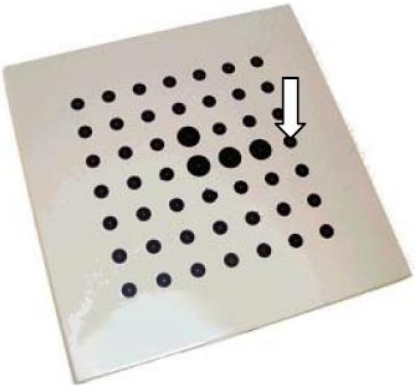
kalibracije, odnosno u našem slučaju sa malim metalnim šiljkom koji je dužine od približno 10 milimetara i nalazi se u središtu triju karakterističnih kalibracijskih točaka (za središte, za smjer osi X i za smjer osi Y).

Slika 46. Ishodište kalibracijske mreže

Nakon što smo sa kalibracijskim alatom dotaknuli ishodište ta pozicija se potvrđuje i sprema ta se pojavljuje sljedeći prozor.

Slika 47. Kalibracija kamere, postavljanje osi X

Sada je potrebno odrediti smjer osi X. Smjer osi X mora biti kao i kod kalibracije transportne trake, odnosno pozitivni smjer osi X je smjer gibanja transportne trake. Potrebno je dotaknuti sa robotom krajnju rubnu točku kao što je prikazano na sljedećoj slici.

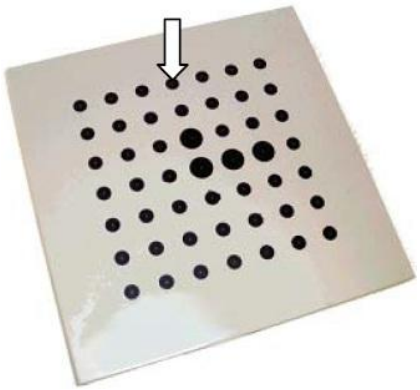


Slika 48. Smjer osi X kalibracijske mreže

Nakon što smo dotaknuli i spremili smjer osi X, potrebno je još samo odrediti smjer osi Y. To se izvršava istim postupkom kao i do sada.

Slika 49. Kalibracija kamere, postavljanje osi Y

Potrebno je dotaknuti krajnju kalibracijsku točku u pozitivnom smjeru osi Y, koja je kao i kod kalibracije transportne trake orijentirana tako da je pozitivni smjer u lijevu stranu od pozitivnog smjera osi X odnosno od smjera gibanja transportne trake.

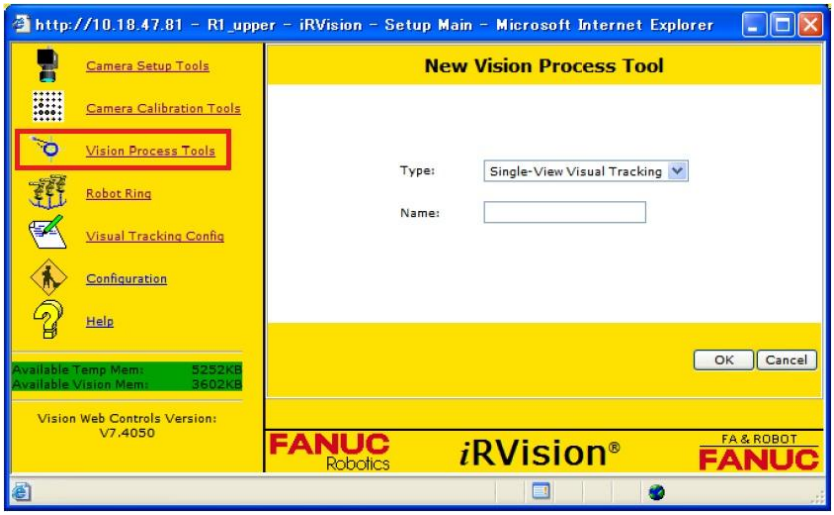


Slika 50. Smjer osi Y kalibracijske mreže

Nakon što smo doveli kalibracijski alat u odgovarajuću poziciju, potrebno ju je spremiti i time smo završili kalibraciju transportne trake i vizijskog sustava. Sustav je sada usklađen, te se možemo okrenuti učenju prepoznavanja predmeta rada

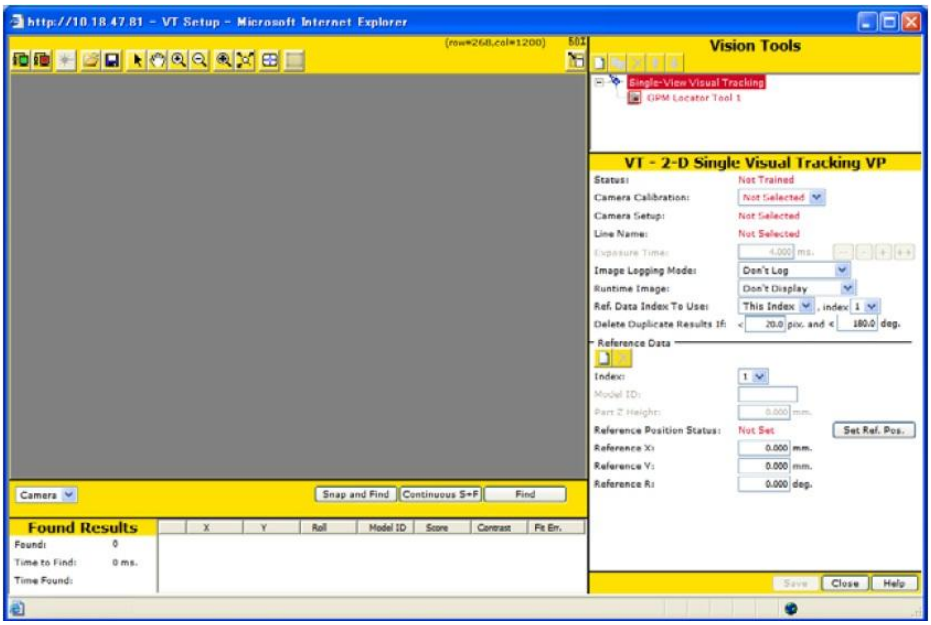
3.6. Učenje vizijskog procesa

Nakon što smo uskladili cijeli sustav, odnosno povezali vizijski sustav sa transportnom trakom i time dobili vizijski sustav praćenja treba naučiti kameru da prepoznaje premet rada. Predmet rada za sustav je termoregulator. Taj postupak se također izvršava preko *i*RVision opcije, odnosno iz *Vision Setup* izobrnika kao što je prikazano na sljedećoj slici.



Slika 51. Stvaranje vizijskog procesa

Potrebno je odabrati izbornik *Vision Process Tools*, odnosno alat za vizijski proces unutar kojeg se uči program da prepoznaje predmet rada sa kojim se manipulira. Da bi smo kreirali novi vizijski proces potrebno je kao i u prijašnjim slučajevima pritisnuti simbol . Nakon čega se pojavljuje izbornik unutar kojega je potrebno odabrati *Single-View Visual Tracking* koji je specificiran za vizijsko praćenje predmeta rada, te je potrebno odabrati naziv procesa. Proces smo nazvali V2. Nakon potvrde naziva i tipa proces pojavljuje se sljedeći izbornik.



Slika 52. Parametri vizijskog procesa

Kao što je vidljivo iz slike, ovaj prozor ima sličnosti sa prozorom koji smo koristili prilikom postavljanja kamere. U lijevom dijelu prozora se nalazi pogled kamere, a u desnom postavke vizijskog procesa. Kao što se vidi proces još nije postavljen, postoje postavke koje je potrebno ispuniti.

- *Camera Calibration*, odnosno kalibracija kamere, tu je potrebno izabrati kalibraciju koju smo izvršili ranije i nazvali C3
- *Camera Setup*, odnosno postavke kamere, tu je potrebno izabrati kameru koju smo postavili ranije te ju nazvali KAMERA_FIKSNA
- *Line Name*, odnosno linija praćenja, tu je potrebno izabrati liniju praćenja koju smo kalibrirali ranije, te ju nazvali L2
- *Exposure Time*, odnosno vrijeme ekspozicije, tu smo postavili vrijednost od 10ms
- *Image logging mode*, odnosno opcija arhiviranja slika, to je opcija koja arhivira slike koje imaju određenu grešku, te postoji opcija da ih se kasnije pregleda za analizu. Ta opcija usporava proces za određeno vrijeme, stoga smo za ovaj sustav isključili tu opciju
- *Runtime Image*, pod ovom opcijom su u postocima bira kako će se prikazivati slika, mogući odabir je 50%, 100% ili da se ne prikazuje uopće. To također može malo

ubrzati proces. Za ovaj slučaj je izbrana opcija *Don't Display*, odnosno da nema prikazivanja

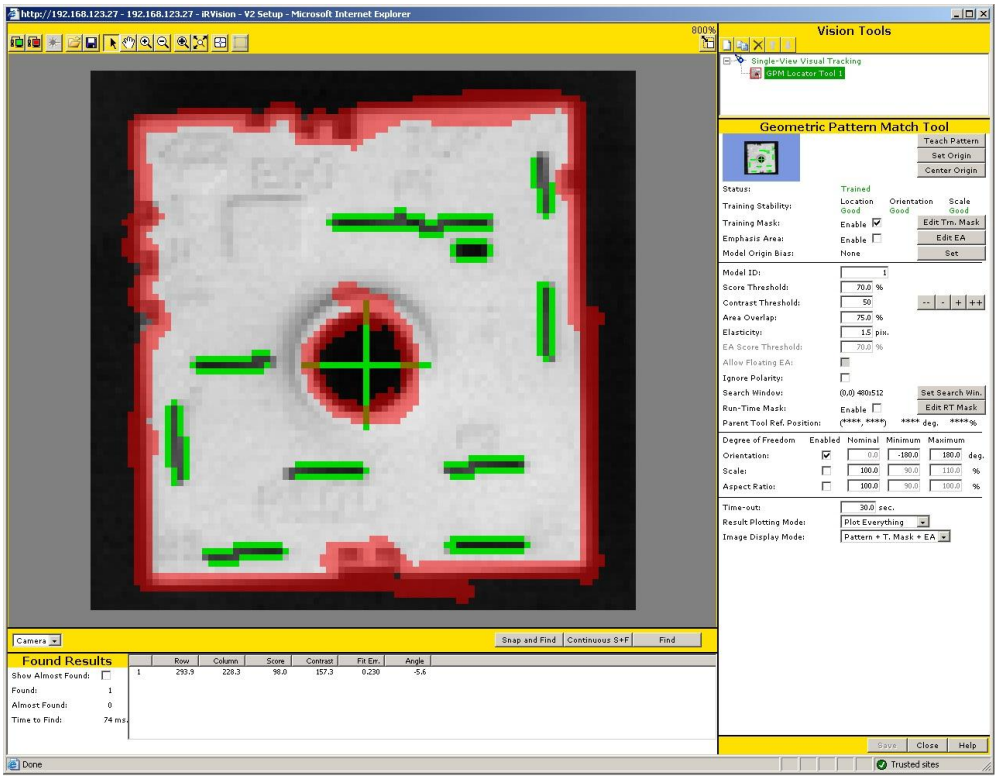
- *Ref. Data Index To Use,* to se odnosi ukoliko je dio koji prepoznajemo spremljen zasebno prije pod svojim odgovarajućim indeksom. Za ovaj sustav izabrana je opcija [This Index] i pod [ID] je izabrano 1. Tako da se prepoznaje dio koji je naveden samo za ovaj slučaj i koji će biti spremljen pod identifikacijskim brojem 1

Nakon što smo izabrali odgovarajuće postavke potrebno je kreirati prepoznavanje predmeta rada. Svaki vizijski proces može biti naučen da prepoznaje više predmeta rada, što znači da se na jednoj transportnoj traci može kretati više različitih predmeta rada i vizijski proces je sposoban prepoznati svaki zasebno i manipulirati sa svakim zasebno kako je naučen. Ova opcija nam daje do znanja koliko je fleksibilan ovaj sustav i kako lagano ga se može naučiti na promjene. Za svaki predmet rada je potrebno samo ponoviti učenje, dakle koliko predmeta rada toliko i učenja.

Prva stavka u definiranju vizijskog procesa je kreiranje novih procesa tražnja geometrijskih značajki, odnosno *Geometric pattern match (skraćeno GPM) tool*. Za učenje prepoznavanja premeta rada i time njegove orijentacije koristi se opcija *GPM Locator Tool*. Da bi smo kreirali novo prepoznavanje potrebno je pritisnuti simbol koji se nalazi u gornjem desnom kutu. Nakon kreiranja novoga prepoznavanja potrebno je naučiti karakteristične točke za prepoznavanje. Potrebno je postaviti predmet rada u vidno polje kamere, po mogućnosti što bliže središtu i 'okinuti' sliku pritiskom na simbol .

Obrazac vizijski sustav uči tako da se u vidnom polju naznači koje se područje pretražuje te se uz pomoć algoritama za prepoznavanje dobiju neke značajke predmeta. Nakon čega vizijski proces prepoznaje svaki oblik i predmet unutar svog kadra, po svojim postavkama i preko prepoznavanja rubova će ih sortirati. Tada se uz pomoć dodatnog alata pod nazivom *Training Mask* određuje koje se od pronađenih značajki neće koristiti pri pronalaženju predmeta.

Nakon što se predmet rada postavi u kadar, te kada se uslika uokvireni dio, pojavljuje se sljedeća slika.



Slika 53. Naučeni vizijski obrazac

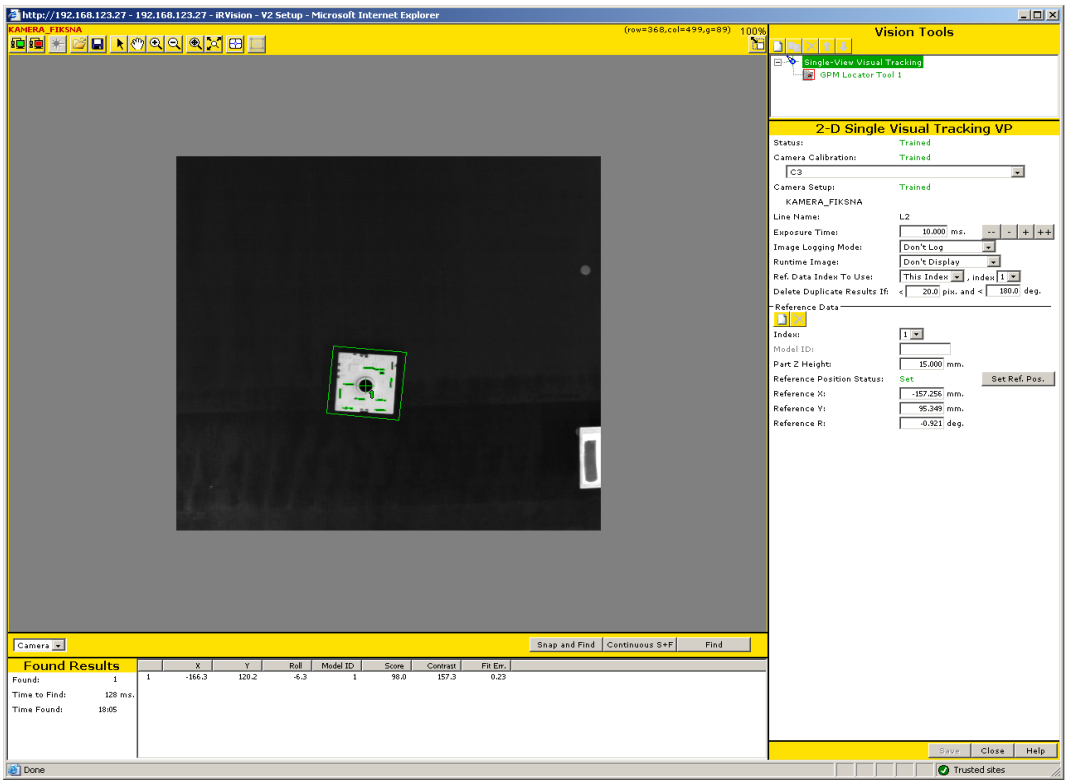
Zelenom bojom su označeni svi rubovi koje je lokator prepoznao. Za ovaj sustav je odlučeno smanjiti broj rubova koji se prepoznaju radi veće brzine obrade slike. Zbog toga se koristi opcija *Edit Trn. Mask*, kao što smo prije spomenuli. Pomoću te opcije smo zacrvenili rubove koje ne želimo prepoznavati, odnosno koje ćemo ignorirati ili jednostavno zamaskirati kada se ovaj predmet rada pojavi u kadru. Također smo odredili središte ručno, preko opcije *Set Origin*, gdje smo odredili da se središte predmeta rada za naš vizijski slučaj nalazi unutar središta kružnice.

Za uspješno prepoznavanje također je potrebno i odrediti koliko smije biti odstupanje pronađenog obrasca od definiranog da bi se pronađeni predmet rada smatrao valjanim. To je bitna stavka je ukoliko su stavke prestrogo određene može se dogoditi da npr. uslijed lošije rasvjete predmet ne prepozna, također ukoliko su granice postavljene prenisko može doći do toga da se krivi dio prepozna pod traženim predmetom ili da se dio prepozna na pogrešnoj lokaciji ili u pogrešnoj orijentaciji.

Stavka *Offset Mode*, definira način na koji će se računati pomak predmeta u prostoru. Za tu stavku postavljena je opcija *Fixed Frame Offset*, to je metoda kod koje se u određenom koordinatnom sustavu određuje pozicija predmeta.

Da bi smo u potpunosti definirali stavke, nužno je još odrediti referentnu poziciju (*eng. Reference Position*). To će biti pozicija koja će kasnije biti referenca za svaki predmet rada koji prođe kroz vizijski sustav. Računati će se pomak predmeta u odnosu na tu poziciju po X, Y i R, odnosno po X-osi, Y-osi i rotaciji oko osi-Z. Također je potrebno odrediti visinu predmeta u Z-osi. Visina predmeta rada je postavljena kao 15mm.

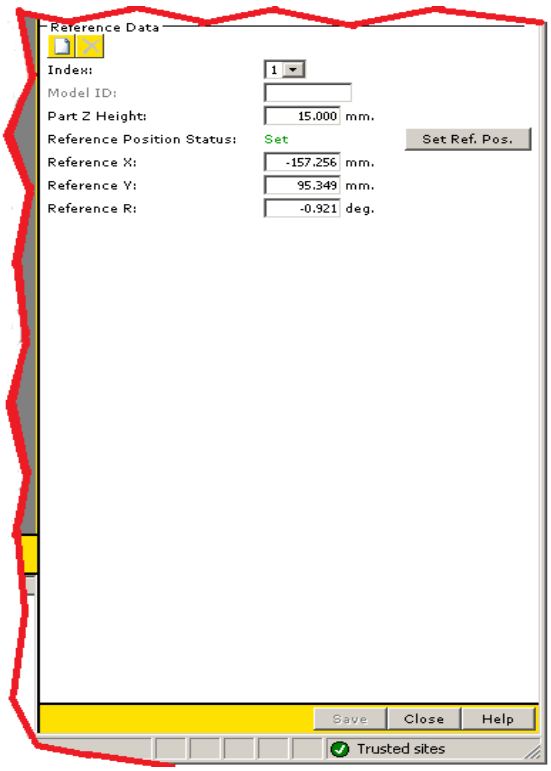
Pri učenju referente pozicije izuzetno je bitno da se robot s kojim će se kasnije manipulirati sa predmetom rada kreće unutar unaprijed naučenog koordinatnog sustava linije praćenja. Na taj način se odmah definira predmet unutar transportne linije te se time izbjegavaju problemi pri učenju u globalnom koordinatnom sustavu gdje se mogu pojaviti problemi sa usklađivanjem.



Slika 54. Vizijski proces

Za učenje referentne pozicije potrebno je biti u pogledu kamere, postaviti predmet rada što preciznije u centra kadra, pritisnuti tipku *Snap and find* koja se nalazi u donjem lijevom kutu prozora za vizijski proces. Nakon toga program bi morao prepoznati predmet rada koji smo

naučili. Nakon što smo definirali visinu predmeta, potrebno je pritisnuti tipku *Set reference position*, te tako definiramo referentnu poziciju.



Slika 55. Referentna pozicija

Jako je bitno da se sada predmet rada ne pomiče jer će nam to biti od velike važnosti za sljedeći korak, za korak postavljanja senzora.

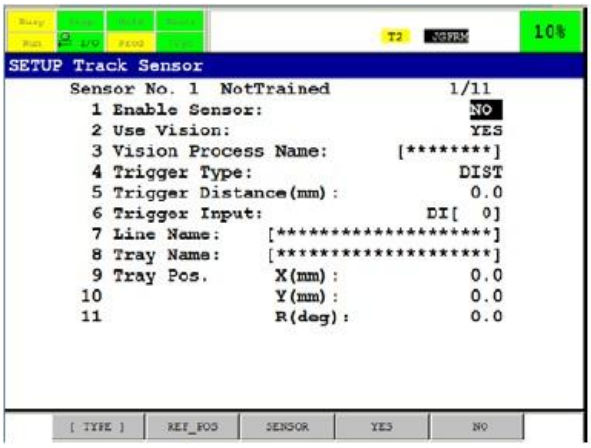
3.7. Postavljanje senzora

Svaki montažni sustav je opremljen sa nekakvim tipom senzora. Tako nema iznimke niti kod sustava vizijskog praćenja. Upravljačka jedinica robota može biti opremljen sa do četiri senzora koji će se koristiti. Senzor može biti standardni (optički, induktivni ili neki treći) ili kamera. U ovom sustavu kamera će predstavljati senzor. Ona će prepoznati kada predmet rada ulazi u područje rada, te kako je orijentiran i gdje je pozicioniran u prostoru.

Postavljanje senzora se vrši preko privjeska za učenje. Potrebno je izvršiti sljedeće korake:

1. Pritisnuti tipku MENUS
2. Odabrati SETUP
3. Odabrati [TYPE], preko tipke F1
4. Izabrati [Track Sensor]

Nakon čega se pojavljuje prozor



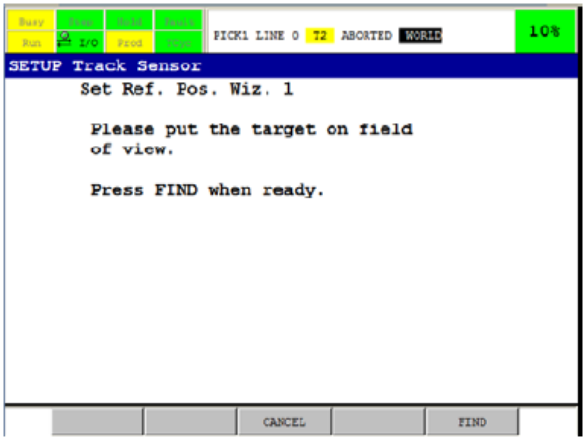
Slika 56. Postavljanje senzora

Broj senzora koji se koristi je ispisan u gornjem lijevom dijelu prozora. Koristit ćemo se sa senzorom broj 1. Ostale stavke znače:

- *Enable Sensor* – definira se da li je senzor uključen
- *Use Vision* – definira se da li se koristi vizija
- *Vision Process Name* – definira se koji se vizijski proces koristi, u našem sustavu se koristi V2

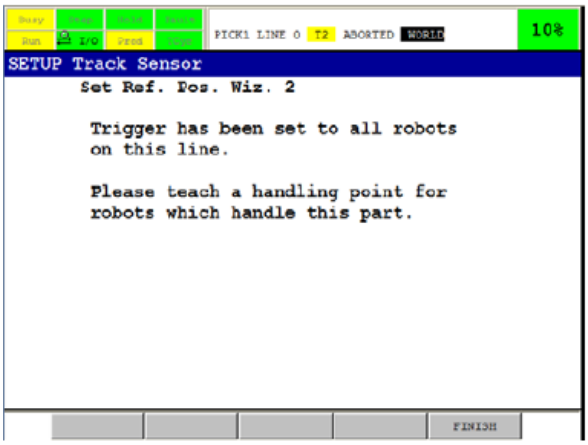
- *Trigger Type* – tu se odabire da li se radi o kameri ili o senzoru, npr. induktivnom. Pošto za naš sustav se radi o kameri izabire se opcija DIST/TRIGG
- *Trigger Distance (mm)* – određuje se koliko često će kamera uslikati sliku ovisno o pomaku transportne trake
- *Line Name* – određuje se koja linija praćenja se koristi, u našem slučaju L2
- *Tray Name* – određuje se paleta koja se koristi, u našem slučaju se ne koristi te se stoga ovo ostavlja prazno

Sljedeći korak je postavljanje referente pozicije. Ova pozicija će biti ista kao što smo postavili i kod vizijskog procesa. Referentna pozicija se može postaviti preko privjeska za učenje ili preko *i*RVisiona na računalu. Da bi smo pokrenuli postavljanje referente pozicije potrebno je pritisnuti tipku REF_POS, nakon čega se pojavljuje sljedeći ekran.



Slika 57. Postavljanje referente pozicije, korak prvi

Potrebno je da se predmet rada nalazi unutar vidnog područja kamere, nakon što smo uvjereni da se dio tamo nalazi potrebno je pritisnuti tipku FIND. Kada se predmet pronađe pojavi se sljedeći prozor.



Slika 58. Postavljanje referentne pozicije, korak drugi

Sljedeći korak je ključan za dobru kalibraciju sustava. Potrebno je naučiti robot poziciji prilaska predmetu, odnosno na koji način će hvataljka primati predmet. Ključan korak je da se rad robota prebaci u koordinatni sustav trake praćenja kao što je spomenuto u poglavlju prije. Taj koordinatni sustav smo naučili kada smo kalibrirali traku praćenja, te ga pohranili pod UFRAME_4.

Sada je potrebno precizno dovesti hvataljku robota u poziciju iz koje će manipulirati sa predmetom. Sa otvorenom hvataljkom se robot dovede u poziciju koju želimo naučiti. Bitno je da se hvataljka dovede što preciznije i što više središtu predmeta rada tako da izbjegnemo potencijalne greške. Kada se sustav pusti u pogon robot će raditi pri velikim brzinama, te ukoliko se ne izvrši dobro ovaj dio učenja robot će očitati vrijednosti koje nisu dovoljno precizne, te se može sudariti sa predmetom i tu može doći do velikih oštećenja. Nakon što je robot doveden u zadovoljavajuću poziciju potrebno je pritisnuti tipku FINISH.

Od sada kada se predmet pojavi unutar kadra kamere, kamera taj predmet uslika, zapisati će ga u koordinatni sustav u odnosu na referentnu poziciju koju smo naučili. Na taj način će i robot pozvati naučenu poziciju prilaska.

Potrebno je također ovu poziciju robota spremiti u pozicijski registar [PR] preko privjeska za učenje. To će biti pozicija za izuzimanje predmeta, te ja izuzetno bitno da se odmah pohrani ova pozicija kada se vrši i postavljanje referentne pozicije.

4. IZRADA PROGRAMA

4.1. Uvod

Nakon što smo kalibrirali kameru, transportnu traku, kalibrirali enkoder, kreirali koordinatni sustav trake praćenja, naučili radno područje, naučili sustav da prepoznaje predmet rada i njegovu orijentaciju u koordinatom sustavu možemo se okrenuti izradi programa praćenja.

Cilj je izraditi program koji će prepoznati predmet rada, u vizijski registar spremiti podatke gdje se nalazi predmet u koordinatnom sustavu i zapisati trenutno stanje ekodera, te kada predmet rada dođe u radno područje robot ga izuzima i odvaja sa transportne trake. Te tako izvršavati taj zadatak dokle god se nalazi predmet rada na traci koja radi kontinuirano bez prestanka. Programiranje se izvršava preko privjeska za učenje (*eng. Teach Pendant*).

Prilikom programiranja potrebno je osmisliti unaprijed kako bi htjeli da program izgleda. Program će se podijeliti na dva dijela, osnovni program koji dovodi robot u početnu poziciju (*eng. Home Position*), i unutar kojeg se upali senzor. Osnovni program nije takozvani *Tracking Program* odnosno program praćenja, ali se unutar osnovnog programa poziva program za praćenje koji funkcionira na drugačiji način od standardnog programa. Pri pozivanju programa za praćenje izvršavaju se naredbe praćenja predmeta rada i njihovim manipuliranjem. Te sve naredbe se izvršavaju unutar programa za praćenje. Kada robot prepozna predmet, te kada predmet uđe u radno područje robot dolazi prvo u poziciju prilaska, te se potom dio izuzima, i robot se ponovno vraća u poziciju prilaska ali sa predmetom rada u hvataljci. Nakon toga se opet vraćamo u početni program unutar kojeg je upisana naredba za pomicanjem predmeta rada na drugu lokaciju gdje se ispušta iz hvataljke i onda se robot pomiče prema sljedećem predmetu rada koji se nalazi unutar njegovog radnog područja. Ukoliko se trenutno ne nalazi niti jedan predmet rada unutar radnog područja robota, robot se vraća u početnu poziciju odnosno svoj *Home Position*.

Dakle treba kreirati dva programa koje smo nazvali:

RAD_TRACK: osnovni program

RAD_PICK: *tracking program*, odnosno program praćenja

Potrebno je definirati za program RAD_PICK da je to program praćenja. Potrebno je na privjesku za učenje unutar izbornika *TEACH* odabrati opciju *SELECT*, te odabrati program RAD_PICK. Sljedeći korak je odabir izbornika *DETAIL*, unutar njega se odabire u kojem *Tracking Schedule*-u, odnosno unutar koje naučene linije praćenja će se ovaj program izvršavati. Odabire se linija broj 7.

4.2. Standardne naredbe

Prije početka samoga programiranja potrebno je naučiti neke osnovne pojmove kojima ćemo se koristiti prilikom programiranja. Također treba spomenuti neke standardne naredbe koje će nam biti potrebne. Prvo ćemo se upoznati sa nekim pojmovima:

REGISTRI[R] - Registar je memorijska lokacija (promjenjiva) u koju možemo spremiti brojčanu vrijednost.

- R[1]=1 je naredba za ubacivanje broja 1 u registar br.1
- Registar resetiramo tako da u njega upišemo vrijednost 0, R[1]=0
- Između registara možemo izvršavati aritmetičke operacije, zbrajanje(+), oduzimanje(-), množenje(*) i dijeljenje(/)
- Pregled registara se prikazuje pritiskom na tipku DANA na privjesku za učenje

POZICIJSKI REGISTRI [PR] - Pozicijski registri se koriste za pohranjivanje pozicija robota izvan robotskog programa

- Informacija o pozicijama sprema se u kartezijskom (pravokutnom) obliku zapisa: X, Y, Z, W, P, i R

Pri izradi program koristiti ćemo i neke standardne naredbe:

LBL i JMP LBL - LBL naredba predstavlja oznaku u robotskom programu na koju preskočimo naredbom JMP LBL

IF - IF naredba omogućava nastavak programa u skladu s uvjetom koji se nalazi u instrukciji

WAIT - WAIT zaustavlja rad robotskog programa dok nije ispunjen uvjet za nastavak. Uvjet može biti: vremensko zakašnjenje (u sekundama), digitalni ulaz, vrijednost registra

CALL - Naredba CALL pokreće drugi program za privjesak učenja, KAREL ili marko. Može se nalaziti samostalno kao i unutar drugih naredbi (IF, SELECT)

OFFSET - OFFSET je naredba odnosno pomagalo kojim možemo jednu točku, više točaka ili cjelokupan program pomaknuti (offsetirati) bez promjene programa

4.3. KAREL

Radi lakšeg i jednostavnije programiranja FANUC je osmislio proceduralni programski jezik KAREL. Struktura KAREL programa je vrlo slična programskom jeziku PASCAL. KAREL je zapravo skup unaprijed napisanog koda ponašanja za određene zadatke. Unutar njih je samo potrebno upisati određene vrijednosti ili poveznice na koje će se pozivati. Prije uporabe KAREL programa potrebno je u varijabli *$KAREL_ENB* koja se nalazi u popisu sistemskih varijabli dodijeliti vrijednost TRUE. Na taj način omogućiti će se pokretanje KAREL programa na upravljačkoj jedinici.

Prilikom izrade programa, naredbom CALL ćemo pozivati KAREL programe unutar kojih se u zagradi ispisuju potrebne vrijednosti. Kao i kod drugih računalnih programskih jezika koristi se više tipova varijabli. Mnogi od tipova varijabli su slični sa većinom drugih programskih jezika.

U izradi programa koristiti ćemo se sa sljedećim naredbama.

VSTKLCRQ.PC Ovaj program briše informacije o predmetu rada koji se nalazi u specificiranom području rada (*eng. Work Area*). Ova naredba se obično koristi samo jednom i to na samom početku programa, tako da se pri njegovom pokretanju obrišu eventualni zaostali podaci od prije

- **Argument1**: Potrebno je specificirati unutar kojeg radnog područja se radi, u našem slučaju W2

VSTKGETQ.PC Ovaj program poziva informacije jednog predmeta rada unutar radnog područja. Informacije tog predmeta, poput njegove pozicije i orijentacije se spremaju u vizijski registar. Vrijednost enkodera se također zapisuje. Ukoliko se trenutno ne nalazi niti jedan predmet rada unutar radnog područja, čeka se dok se po transportnoj traci ne pojavi.

- **Argument1**: Potrebno je specificirati unutar kojeg radnog područja se radi, u našem slučaju W2
- **Argument2**: Potrebno je odrediti unutar kojeg vizijskog registra će se upisivati informacije, u našem slučaju pod brojem 1
- **Argument3**: Potrebno je odrediti vrijeme u milisekundama unutar kojih robot čeka sljedeći predmet rada. Ukoliko se postavi negativna vrijednost robot čeka beskonačno, ako je postavljena 0 ukoliko se unutar radnog područja pojavi dio informacija se automatski sprema. Ukoliko se unutar područja ne nalazi niti jedan predmet, ova naredba se automatski ponavlja u petlji
- **Argument4**: Potrebno je odrediti registar unutar kojega će se spremati status procesa. Ako se predmet može manipulirati

normalno sprema se broj 0. Kada robot prestane čekati, 1 je spremljeno u registar

- **Argument5**: Obično se postavlja broj 1. Ukoliko bi smo htjeli predmete rada manipulirati neovisno o opciji Load Balance, (koju smo postavili u poglavlju 'Postavljanje linije i radnog područja') potrebno je postaviti 2 ili neki veći iznos
- **Argument6**: Ovdje je postavlja odgovarajući identifikacijski broj (ID) predmeta rada ukoliko želimo specificirati da se radi o određenom predmetu. U našem slučaju ovaj argument se ne ispisuje jer će se identifikacijski broj odnositi samo na jedan naučeni dio

VTSTACKQ.PC Ovaj program obavještava radno područje informacijom kako će se baratati sljedećim predmetom rada

- **Argument1**: Potrebno je specificirati unutar kojeg radnog područja se radi, u našem slučaju W2
- **Argument2**: Potrebno je odrediti unutar kojeg vizijskog registra će se upisivati informacije, u našem slučaju pod brojem 1
- **Argument3**: Odrediti jednu vrijednost kao rezultat procesa. Ovdje se postavlja broj 1 kada se sa predmetom rada manipulira zadovoljavajuće. Broj 2 kada se manipulacija nije izvršila zadovoljavajuće, npr. kada se unutar programa naredi da se ne manipulira sa predmetom. Broj 3, kada manipulacija nije izvršena uopće, to se odnosi npr. kada se predmet izuzme ali vakumska hvataljka zbog težine ispusti predmet. Pošto je njegova pozicija nepoznata, taj predmet rada se dalje ignorira

VSTKSTRT.PC Ovaj program pokreće sve senzore koji su označeni kao uključeni u privjesku za učenje. Ne postoji nikakav argument

VSTKSTOP.PC Ovaj program zaustavlja sve senzore. Ne postoji nikakav argument

Izgled programa je sljedeći:

```
/PROG  RAD_TRACK
/ATTR
CREATE       = DATE 12-06-18  TIME 21:43:28;
MODIFIED     = DATE 12-06-26  TIME 17:25:40;

LINE_TRACK;
  LINE_TRACK_SCHEDULE_NUMBER      : 0;
  LINE_TRACK_BOUNDARY_NUMBER      : 0;
  CONTINUE_TRACK_AT_PROG_END      : TRUE;

/MN
   1:  UFRAME_NUM=0 ;
   2:  UTOOL_NUM=1 ;
   3:   ;
   4:  CALL VSTKCLRQ('W2') ;
   5:L P[1] 700mm/sec FINE    ;
   6:  CALL VSTKSTRT    ;
   7:   ;
   8:  LBL[100] ;
   9:  CALL GR_OP    ;
  10:  CALL RAD_PICK    ;
  11:L P[2] 1000mm/sec FINE    ;
  12:  CALL GR_OP    ;
  13:  JMP LBL[100] ;
  14:   ;
  15:  LBL[900] ;
/POS
P[1]{
   GP1:
      UF : 0, UT : 1,          CONFIG : 'N, , 0, 0',
      X =   -45.230  mm, Y =   -87.419  mm, Z = -1203.871  mm,
      W =    -1.115 deg, P =      .076 deg, R =   -27.366 deg
};
P[2]{
   GP1:
      UF : 0, UT : 1,          CONFIG : 'N, , 0, 0',
      X =  -219.041  mm, Y =   273.195  mm, Z = -1213.919  mm,
      W =    -1.062 deg, P =      .144 deg, R =   -27.250 deg
};
/END
```

```
/PROG  RAD_PICK
/ATTR
CREATE       = DATE 12-06-18  TIME 21:48:18;
MODIFIED     = DATE 12-06-26  TIME 19:24:02;

LINE_TRACK;
  LINE_TRACK_SCHEDULE_NUMBER      : 7;
  LINE_TRACK_BOUNDARY_NUMBER      : 1;
  CONTINUE_TRACK_AT_PROG_END      : TRUE;

/MN
   1:  UFRAME_NUM=0 ;
   2:  UTOOL_NUM=1 ;
   3:  R[3]=1    ;
   4:   ;
   5:  LBL[100] ;
   6:  CALL VSTKGETQ('W2',4,0,2,R[3]) ;
   7:  IF R[2]=0,JMP LBL[200] ;
   8:  STOP_TRACKING ;
   9:  JMP LBL[100] ;
  10:   ;
  11:  LBL[200] ;
  12:   ;
  13:L PR[2] 700mm/sec CNT80 VOFFSET,VR[4] Tool_Offset,PR[10]
;
  14:L PR[2] 700mm/sec FINE VOFFSET,VR[4];
  15:  CALL GR_CL    ;
  16:L PR[2] 700mm/sec CNT80 VOFFSET,VR[4] Tool_Offset,PR[10]
;
  17:   ;
  18:  CALL VSTKACKQ('W2',4,1) ;
  19:   ;

;
/POS
/END
```

5. ZAKLJUČAK

Pred današnjim montažnim sustavima su postavljeni veliki zahtjevi. Traži se što veća brzina, minimalni utrošak vremena za pripremu dijelova, fleksibilnost, te naravno što veća proizvodnja. Jedan od sustava koji omogućava većinu tih zahtjeva je sustav unutar kojeg je implementirano vizualno praćenje i robotsko rukovanje predmetima rada u pokretu na transportnoj traci. Takav sustav je opisan unutar ovog diplomskog rada.

Potrebno je naglasiti da je ovo vrlo fleksibilan sustav, što ga čini izuzetno poželjnim rješenjem za svaki montažni proces. Kada se adekvatno, precizno i savjesno naprave sve potrebne kalibracije sustav se može lagano nadograditi ili modificirati ovisno o potrebama korisnika. Unutar naučenog sustava iz ovog diplomskog rada se mogu bez većih problema dodati radnje montaže.

Kao primjer može poslužiti postupak umetanja rotora termoregulatora u kućište koje je već naučeno u sustavu vizijskog praćenja. Unutar naučenog programa se uz par jednostavnih preinaka može dobiti novi, sofisticiraniji sustav koji bi sadržavao elemente vizijskog praćenja, montaže i rukovanja. Fleksibilnost vizijskih sustava je vidljiva i u mogućnosti učenja novih predmeta rada, čija je implementacija sa postojećim sustavom jednostavna. Značaj toga je da sustav može unutar iste transportne trake i sa istim robotom manipulirati sa većim brojem različitih predmeta rada. Robot može tijekom procesa praćenja mijenjati hvataljke ovisno o predmetu rada s kojim se manipulira bez zaustavljanja transportne trake.

Veliku brzinu ovom sustavu omogućava robot marke Fanuc, model M-3*i*A koji zbog svoje paralelne kinematike ima sposobnost postizanja većih brzina od konvencionalnih robota. Dobro kalibrirani sustav se prilagođava i promjeni brzine transportne trake, što omogućava korisniku usklađivanje robota i transportne trake ovisno o količini dijelova koji se transportiraju unutar određenog vremenskog perioda.

Sustavi vizijskog praćenja sa implementiranim robotskim rukovanjem predstavljaju budućnost svih montažnih sustava.

PRILOZI

I. CD-R disc

II. Tehnička dokumentacija

LITERATURA

[1] Kraut, B. : Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1988.

[2] Vranješ, B. : Montaža, predavanja na diplomskom studiju, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2003.

[3] Jerbić, B. : Automatizacija montaža, predavanja na diplomskom studiju, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2004.

[4] FANUC Robot series R-30iA Controller : *i*RVision Visual Tracking, Start-up guidance

[5] FANUC Robot series R-30iA Controller : Line Tracking, Operator's manual

[6] FANUC Robot series R-30iA Controller : *i*RVision, Operator's manual

[7] FANUC Robotics : R-J3iB/R-30iA Priručnik za programiranje

[8] http://www.div.com.hr/

Incremental Encoder DGS60, face mount and servo flange

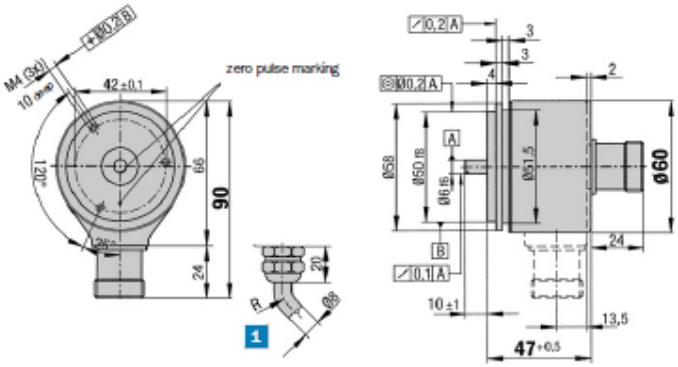
Number of lines
100 to 10,000
Incremental Encoder

- Servo or face mount flange
- Connector or cable outlet
- Protection class up to IP 67
- Electrical Interfaces
  TTL and HTL

CE cULus

Accessories
Connection systems
Mounting systems

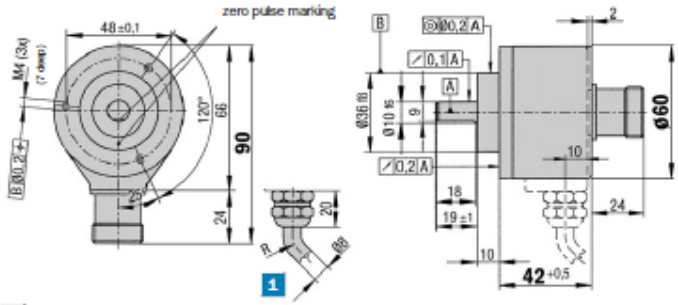
Dimensional drawing servo flange



1 R = bending radius min. 40 mm

General tolerances according to DIN ISO 2768-mk

Dimensional drawing face mount flange



1 R = bending radius min. 40 mm

General tolerances according to DIN ISO 2768-mk

PIN and wire allocation/cable 11 core

PIN	Signal HTL	Signal TTL	Core colour (cable outlet)	Explanation
1	N. C.	$\overline{B}$	black	Signal line
2	N. C.	Sense +	grey	Connected internally to U_s
3	Z	Z	lilac	Signal line
4	N. C.	$\overline{Z}$	yellow	Signal line
5	A	A	white	Signal line
6	N. C.	$\overline{A}$	brown	Signal line
7	N. C.	N. C.	orange	N. C.
8	B	B	pink	Signal line
9	Screen	Screen		Housing potential
10	GND	GND	blue	Ground connection
11	N. C.	Sense –	green	Connected internally to ground
12	U_s	U_s	red	Power supply[1]

View of the connector M23 fitted to the encoder body

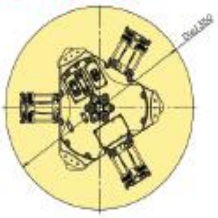
[1] Potential free to housing

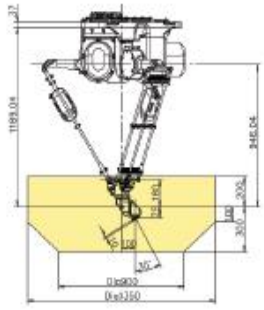
N. C. = Not Connected

M-3*i*A ceiling Large Genkotsu (fist) Robot

M-3*i*A DIMENSIONS:

FANUC ROBOT M-3*i*A/6A



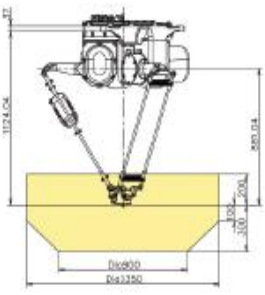


M-3*i*A SERIES SPECIFICATIONS:

ITEMS		M-3iA/6A	M-3iA/6S
Axes		6	4
Payload - wrist (kg)		6	6
Reach (mm)		Dia. 1350, Ht. 500	Dia. 1350, Ht. 500
Repeatability (mm)		±0.1	±0.1
Wrist motion range (degrees)	J4	720	720
	J5	300	-
	J6	720	-
Wrist speed (1) (degrees / seconds)	J4	2000	4000
	J5	2000	-
	J6	2000	-
Mechanical weight (kg)		175	160
Mounting method		Ceiling	
Installation environment			
Ambient temperature °C		0 to 45	
Humidity		Normally: 75% or less Short term (within a month): 95% or less No condensation	
Vibration (G)		0.5 or less	
IP rating		IP67	
Controller		R-30iA Mate compact rack mount 370 (W) x 355 (H) x 450 (D) 200-230VAC three phase, 50-60 Hz	

Notes:
(1) Maximum speed may not be reached for short distance motion

FANUC ROBOT M-3*i*A/6S



FANUC Robotics

FANUC ROBOTICS AMERICA
3900 WEST HAMLIN ROAD
ROCHESTER HILLS MI 48309-3253

MARKETING@FANUCROBOTICS.COM FANUCROBOTICS.COM 1-800-*i*Q-ROBOT

©2010 FANUC Robotics America Corporation. All rights reserved.

FANUC ROBOTICS LITHO IN U.S.A. FRA - 10/10