

ROBOTIZACIJA PROIZVODNJE – ROBOTSKO SESTAVLJANJE

Saša Klampfer, Boris Curk

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Ključne besede: robotizacija, sezor Banner T18, prijemalo, model lesene hiške, tekoči trak, robotski krmilnik, vodenje po položaju in sili, robotsko pobiranje, robotsko sestavljanje.

Izveček: V članku predstavljamo princip prepoznavanja, pobiranja, odlaganja in sestavljanja elementov lesene otroške hiške. Na kratko želimo predstaviti vzroke problematike robotskega sestavljanja in uporabljene rešitve, ki so pripomogle k rešitev problematike sestavljanja. Za lažjo predstavbo smo izvedli primerjavo uporabljenih rešitev s tistimi, ki se v industriji uporabljajo kot profesionalne rešitve.

Robotization of manufacture yield – constructing with robot

Key words: robotization, sensor, grasper, wood house model, microcontroller, servofloat.

Abstract: Robotics is fast growing area, which achieves full bloom in last teen years. Now days, manipulators are indispensable part in industry. We use them for weld chassis, for steel and wood cultivation, for disperse coloring, steel cutting and so on. Since 1992, for each year, number of robots rapidly increases. Reason for that is their universality, but because of that property, people start initiates them into farms, agricultures, green houses, warehouses, into electronics production for composing electronic components... Today, robots using area expands wide around, specially to our homes.

Basically view, represent robot as movement machine or automatic machine with more free programmable axels, in some cases in combination with sensors or computer vision.

Our system consists with seven basic parts: the first one is operator and then follows programming device, microcontroller, robot hand, grasper, sensor and round movement ribbon. The main goal of this project is to incorporate all basic parts in to working process for composing elements of woody children house.

Second section in this article represents components, which are extremely important when we initiate robotization into industry. Here belong criteria, like choosing real and successful first application, choosing right robot, production speed, time requirements for implement equipment, and complexity of automation. In third section we made case study of hold comparison between human and robot, which is very important for understanding, how servofloat function work. Fig. 1 shows round movement ribbon, with basic parts on taking away place. Servofloat function is described in session six. Fig. 3 represent barrier on trajectory between step 1 and step 2. With servofloat function can robot avoid this barrier and jump directly over shortest path to step 3. Chapter four give us some information about IR sensor, and basic work principle for light and dark places recognition. Table 1 shows possible combination, when we recognized parts of house, and Fig.2 shows basic principle of component recognition. Section five describes constructing algorithm procedure, where table 2 and their indicators illustrates course of construction phase. Chapters seven and eight are purposed for discussion about picking up elements from moving round ribbon and taking off the same elements on composing place. In this two sections we try to find answers on our problems, and solve them completely with suggest simple solutions. Fig. 4 under seven section illustrates left side element on round ribbon palette. Fig. 5 is placed in eight section, where illustrates decreasing tolerance between both big side elements. Under same section, Fig.6 illustrates cultivated bottom side of the smallest side element. Section 9 concludes the paper.

1 Uvod

Robotika se je v zadnjih desetletjih pojavila in utrdila v številnih industrijskih procesih v obliki moderne, ekonomične in človeku prijazne tehnologije. Robotski manipulatorji so nepogrešljivi del pri varjenju avtomobilskih ohišij, vstavljanju obdelovancev v stiskalnice, razpršilnem barvanju, služijo pa lahko tudi kot paletirni pripomoček oziroma kot manipulatorji za razrez, sestavljanje itd. Prav nobeno izjemo ne predstavljajo kirurški roboti ali servisni mobilni roboti, kateri so dandanes v veliko pomoč pri raznoraznih opravilih.

Cilj je usmerjen v postavitvev in zagon proizvodne linije za sestavo lesenih hišk, kjer sestavni deli prihajajo na paletah, po tekočem traku, do mesta odjema, kjer se vrši prepoznavna sestavnih delov s pomočjo infra-rdečega tipala. V navezi z logiko prepoznavanja se ustrezní element prenese na površino sestavljanja, v kolikor slednji ne ustreza zaporedju, se odpelje po traku naprej.

Osnovna tematika projekta temelji na prepoznavanju in prijemanju objektov, kjer igrajo pomembno vlogo tolerance. Sestavni gradniki hiše so oblikovani z obdelovalnimi stroji, ki imajo natančnost do enega milimetra, včasih celo več. Na drugi strani pa pri sestavljanju uporabljamo manipulator, ki je natančen do desetinke milimetra. To pomeni, da moramo najti most med dvema svetovoma z različnimi natančnostmi. Takšen most ponazarjajo predstavljene možne rešitve v tretjem poglavju, s katerimi lahko delno ali v celoti rešimo omenjeno problematiko. S tem smo želeli pokazati, na kakšen način lahko združimo povsem različna svetova, ob enem pa prejmemo rezultate, ki smo si jih na začetku le želeli. Razlog združevanja dveh povsem različnih svetov gre pripisati obstoječi opremi, ki je v laboratoriju na razpolago, s čimer lahko damo poudarek področjem, ki marsikateremu v začetku izvajanja podobnega projekta niso opazna.

Drugo poglavje je namenjeno predstavitvi najpomembnejših komponent, katere upoštevamo pri uvajanju robotizac-

ije. V četrtem poglavju predstavljamo študijo prijema pri človeku in stroju, v petem princip snovanja algoritma in v šestem način vodenja po položaju in sili. Sedmo in osmo poglavje ponazarjata metodologijo pobiranja in odlaganja elementov modela lesene hiške. Sklepi, spoznanja in zaključne misli, podane v devetem poglavju, zaključujejo raziskovalno delo.

2 Komponente, ki vplivajo na uvajanje robotizacije

V primeru odločitve o robotizaciji posamezne delovne naloge, ali že obstoječega ročnega delovnega mesta, moramo biti pozorni na naslednje pomembne komponente:

- Izbira prave in uspešne prve aplikacije. Ne smemo izbrati prezahtevno nalogo, saj morda tehnično in kadrovske ne bomo kos reševanju naloge. Izogibajmo se aplikacij, ki so zahtevne že same po sebi.
- Izbira in določitev robota (manipulatorja), ki bo najbolje zadostil našim zahtevam. Ko imamo enkrat določeno nalogo, moramo izbrati optimalni tip manipulatorja. Ne smemo pozabiti na zahtevano število prostostnih stopenj, obliko delovnega prostora, obliko in lastnosti nameščenega orodja ali prijemala, nosilnost ("bruto" teža).
- Kompleksnost avtomatizacije (enostavnejša kot je realizacija večji je zaslužek). Ne pozabimo na dejstvo, da preproste rešitve vodijo k lažjemu obvladovanju situacije in s tem posredno k manjšim stroškom zagona in vzdrževanja.
- Hitrost proizvodnje (roboti delajo načeloma počasneje kot človek, vendar bolj enakomerno). V praksi obstajajo različne metode za ocenjevanje potrebnega časa posameznih operacij. Pozorni moramo biti na ozka grla, ki nam kasneje omejujejo proizvodne sposobnosti.
- Eden izmed pomembnejših ciljev (ni potrebno, da je ravno glavni) je ekonomska upravičenost. Z robotizacijo seveda pričakujemo pozitivne učinke v smislu večje produktivnosti, manjšega izmeta, kvalitetnejših izdelkov itd.
- Časovno trajanje uvedbe (menjava proizvodnega programa). V fazi študije je potrebno predvideti, kolikšna bo delovna doba delovanja. To obdobje igra ključno vlogo pri amortizaciji vloženih sredstev.
- Prva namestitvev (izkaže se, da je najboljši strokovnjak najcenejši). Brez ustreznega kadra se je težko lotiti takšnega projekta. Tudi če kupimo robotsko celico od dobavitelja na ključ, bomo potrebovali domači tehnični kader za vzdrževanje in odpravo napak. Robot, ki ne opravlja svoje funkcije, je nekoristen.
- (Ne)naklonjenost okolja (ljudje se pritožujejo in sabotirajo robote). Posebej v okoljih, kjer niso vajeni delati skupaj z roboti, lahko pride do pritožb in strahu pred njimi. Pomembno je, da pri uvajanju robotov ne zanemarimo ta psihološki vidik.

3 Prijem pri človeku in stroju

Ker se pri robotizaciji v veliki meri ukvarjamo z prijemi, Vam želimo v okviru tega poglavja predstaviti študijo prijema. Študija prijemanja z roko pri človeku, in neposredna primerjava z robotskimi prijemali je pomembna na številnih področjih. Tipičen primer je rehabilitacija roke, kjer nas zanima ocenjevanje funkcionalnosti le-te, ter povrnitev gibov ohromele roke. Ključno področje predstavlja interakcija človeka z računalnikom, kjer se uporabljajo namenski uporabniški vmesniki (haptične naprave) za delo v navideznem okolju. V industrijskem okolju se srečujemo z robotskimi mehanizmi, ki za prijemanje predmetov uporabljajo različna robotska prijemala. Slednja so lahko enostavna dvo-prstna, katero tudi sami uporabljamo, pa vse tja do spretnějšíh in kompleksnejših več-prstnih prijemal.



Slika 1. Krožni tekoči trak s pozicionirnim čepom, čepom za ustavljanje palet in senzorjem prisotnosti palete na odjemalnem mestu

Fig. 1. Round movement ribbon with position bung, presence sensor and blockade for stopping paletts

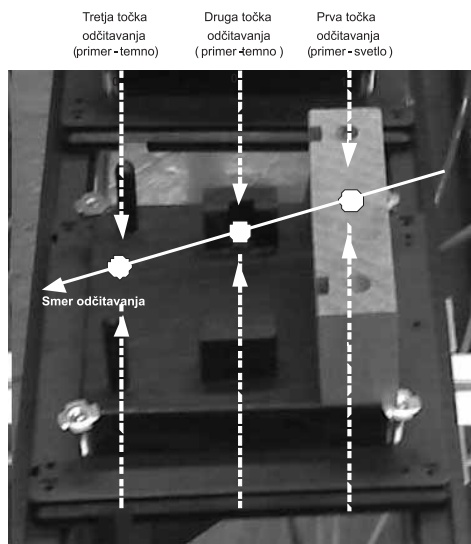
4 Opis uporabljenega tipala in princip prepoznavanja objektov

Način prepoznavanja objektov temelji na infrardečem tipalu Banner T18. Tipalo je nameščeno na nosilec, ki se nahaja na koncu robotske roke (manipulatorja). Tipalo je sposobno zaznavati svetla in temna področja. To pomeni, da svetlo območje ovrednoti z logično vrednostjo 1, temno območje pa z logično vrednostjo 0. Razločevanje med svetlim in temnim področjem temelji na principu količine odbite svetlobe. Kot primer vzamimo beli in črni list in ga primaknimo pod tipalo. Beli list veliko močneje odbija (sipa) svetlobo v primerjavi s črnim, ki velikšen del IR-žarka vpije, preostali del pa odbije nazaj v smeri proti tipalu. Del žarka, ki se odbije od površine moramo ponovno s površino tipala ujeti, kar pomeni, da mora površina tipala pri odčitavanju ležati vzporedno z odbojno ploskvijo. S tem zagotovimo, da žarek vpada na površino pod pravim kotom (popolni odboj). Ker moramo s slednjim prepoznati vsaj pet osnovnih elementov, v resnici jih je šest, le da sta srednji stranici identični, bo potrebno uporabiti za prepoznavo enega elementa vsaj tri bite oziroma logične vrednosti.

Uporabljeni deli so ovrednoteni z barvnimi kombinacijami, ki hkrati predstavljajo ekvivalentne kombinacije logičnih nivojev. Vrednotenje je ponazorjeno v tabeli 1:

Tabela 1: *Prepoznane barve ovrednotene z logičnimi vrednostmi*

| Prepoznane barve ovrednotene z logičnimi vrednostmi | | | |
|---|---|---|-----------------------|
| 0 | 0 | 0 | Prazna paleta |
| 0 | 0 | 1 | Desna velika stranica |
| 0 | 1 | 0 | Majhna stranica |
| 0 | 1 | 1 | Napaka |
| 1 | 0 | 0 | Leva velika stranica |
| 1 | 0 | 1 | Dno hiške |
| 1 | 1 | 0 | Napaka |
| 1 | 1 | 1 | Streha |



Slika 2. *Postopek prepoznavne sestavnih elementov*
Fig. 2. *Basic principle of component recognition*

Na sliki 2 je prikazan osnovni princip prepoznave elementov s pomočjo infrardečega tipala. Glede na to, da je tipalo nameščeno na manipulator, je potrebno definirati tri točke, ki so znotraj območja nosilne palete, v katerih tipalo odčita vrednost. Na osnovi dobljene bitne kombinacije, ki jo sestavljajo trije biti, dobimo informacijo za kateri element v resnici gre. Točke se definirajo na trajektoriji giba manipulatorja, ki poteka nad paletto (pravokotno na postavljen element), tipalo pa odčita vrednost v definiranih točkah brez ustavljanja.

Vrednosti, ki jih navaja Tabela 1 ponazarjajo kombinacijo za vsak posamezen sestavni element, razen dveh kombinacij, ki vsebujeta po dve enici. Takšni kombinaciji sta nedovoljeni, saj nimamo nikdar na eni paleti tekočega traku po dva elementa. Če se povrnemo na sliko 2, bi kombinacija (1, 1, 0) pomenila, da se na paleti nahajata leva velika stranica in majhna stranica na sredini palete.

5 Snovanje algoritma

Pri izdelavi algoritma robotskega krmilnika NX100 si pomagamo z diagramom poteka, ki nam pomaga grafično ponazoriti posamezen korak. Diagram poteka nam predstavlja temelj, iz katerega začnemo snovati algoritem po metodi »top-down« (od zgoraj navzdol). Algoritem mora biti čimbolj enostaven, hiter in razumljiv, saj lahko le na ta način zagotovimo brezhibno delovanje, in se hkrati izognemo nepotrebnim pogojnim stavkom. Program smo gradili modularno, kar pomeni, da smo najprej zapisali strojno kodo za prepoznavanje in prijemanje elementov, ter šele nato, ko je ta delovala brezhibno, prešli na snovanje drugega dela algoritma, ki je namenjen sestavljanju elementov.

Za izvajanje naloge sestavljanja moramo imeti na voljo povratne informacije o prisotnih elementih na mestu sestavljanja. To pomeni, da moramo v pomnilniške lokacije krmilnika NX-100 shraniti informacijo o stanju na gradbišču (mestu sestavljanja), saj lahko le na takšen način robotu povemo, katere manjkajoče elemente še lahko vzame na odjemalnem mestu iz tekočega traku. Da bi bila zadeva čimbolj preprosta smo postavili pet spremenljivk z oznakami D001, D002, D003, D004, D005 katerim se bodo prirejali indikatorji. Stanja spremenljivk prikazuje tabela 2.

Tabela 2: *Pomen indikatorjev, ki jih lahko posamezne spremenljivke zavzamejo*

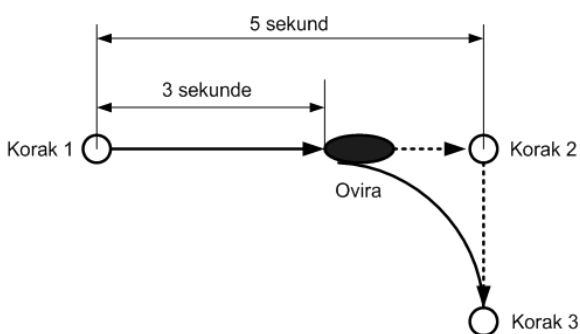
| | | |
|-------|----------------------|---|
| D0001 | 0 | Prazno gradbišče |
| | 1 | postavljeno dno |
| | 2 | postavljeno dno + obe veliki stranici |
| | 3 | postavljeno dno + obe veliki stranici + obe mali stranici |
| 4 | postavljeni vsi deli | |
| D0002 | 0 | ni nobene velike stranice |
| | 1 | postavljena LEVA velika stranica |
| D0003 | 0 | ni nobene velike stranice |
| | 1 | postavljena DESNA velika stranica |
| D0004 | 0 | ni nobene male stranice |
| | 1 | postavljena ZADNJA mala stranica |

Pomen spremenljivk je naslednji; v kolikor je D0001 na vrednosti 0, je gradbišče prazno. To izda povelje, da mora manipulator poiskati dno hiše, kajti brez njega gradnje ne more pričeti. V trenutku, ko slednjega najde, poveča indikator na vrednost 1, s čimer sporoči da ima dno, hkrati pa takšna vrednost predstavlja pogoj za izvedbo drugega koraka v algoritmu. Ta korak je iskanje leve in desne velike stranice, za kateri ima rezervirani spremenljivki D0002 in D0003. V kolikor sta obe spremenljivki na vrednosti 0, bo manipulator začel iskati eno izmed njih (prvo, ki pride). Predpostavimo da je najprej našel levo in postavil indikator D0002 na vrednost 1, kar izda pogoj za iskanje desne velike stranice. Ko najde še to, postavi spremenljivko D0003 na vrednost 1, in ker sta sedaj obe spremenljivki na 1, se lahko vrednost D0001 poveča na 2. Podobno kot prej predstavlja to pogoj za izvedbo koraka iskanja malih stranic. Ko manipulator najde obe, in jih seveda uspešno postavi na svojo lokacijo, lahko ponovno inkrementira spremenljivko

D0001. Ko je slednji enak 3, se izvrši funkcija za iskanje zadnjega elementa (streha). V trenutku, ko je zadnji element uspešno postavljen na gradbišče, se D0001 postavi na vrednost 4, kar pomeni da je hiša sestavljena. Po izteku časa časovnika dveh sekund, se vsi indikatorji postavijo na vrednost 0, postopek sestavljanja nove hiše pa se lahko prične. Časovno obdobje dveh sekund je potrebno zagotoviti iz dveh razlogov, kjer prvi predstavlja varnostni razlog, drugi pa čas, ki je potreben, da se gradbišče sprazni.

6 Vodenje manipulatorja po položaju in sili (ang. servofloat)

Robotski mikrokrmilnik NX-100 nam omogoča vključitev funkcije vodenja robota po položaju in sili na dva načina. Sem spadata »link servofloat function« in »linear servofloat function«, kjer prva možnost nudi nadzorovanje navora nad vsako posamezno osjo posebej, medtem ko druga možnost nudi nadzorovanje navora nad trenutnimi koordinatami. Glede na potrebe pri izvajanju posamezne aplikacije izberemo ustrezno možnost. »Link servofloat function« omogoča vodenje po položaju, in vodenje po navoru (sili). V kolikor posamezna zunanja sila prepreči operiranje manipulatorja po vnaprej predvideni poti, slednji ne bo dosegel zadanega položaja. To velja za primere kjer je vključeno vodenje po položaju in sili. Kadar manipulator ne more doseči predvidene pozicije zaradi delovanja zunanje sile (ovire ipd.), slednji izvrši naslednjo instrukcijo. Takšen primer nam prikazuje slika 3, kjer je manipulator med obratovanjem naletel na nepredvideno oviro.



Slika 3. Ovira na poti trajektorije od koraka 1 do koraka 2, ki spremeni smer gibanja do končnega cilja

Fig. 3. Barrier on trajectory between step 1 and step 2. With servofloat function can robot avoid this barrier and jump directly over shortest path to step 3

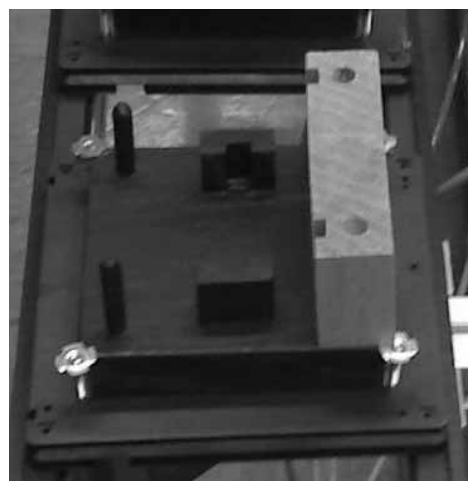
Na preprostem primeru, ki je prikazan na sliki 3 uporabljamo zgolj linearne gibe med določenimi točkami, kjer imamo vključeno funkcijo vodenja manipulatorja po položaju in sili.

Manipulator se začne premikati v smeri iz točke 1 v točko dva, kjer po treh sekundah naleti na oviro. V istem trenutku se ob nasprotno delujoči sili ustavi, ter ostane v zaustavljenem položaju preostali dve sekundi. Po izteku skupnega

časa petih sekund se manipulator sam prestavi v korak 3, vendar zaobide korak 2, ki ga zaradi nameščene ovire ne mora doseči (izvede naslednjo instrukcijo). Naslednjo instrukcijo lahko izvede samo v primeru vključene funkcije vodenja po položaju in sili.

7 Pobiranje sestavnih elementov hiše

Sestavni elementi hiše prihajajo na tekočem traku po naključnem zaporedju. Kot smo že omenili uvodoma, uporabljamo za prepoznavo elementov, infrardeče tipalo, ki deluje na količino odbite svetlobe od podlage. Preden začnemo vršiti postopek prepoznave elementov moramo izvesti postopek kalibracije tipala. Slednje postavimo v horizontalni položaj, kjer po empiričnem postopku določimo primerno višino za najboljšo možno prepoznavo elementov. Kalibracijo smo izvedli zaradi razlike v višini med paleto in elementi (streha je bližje tipalu, kot stranice oziroma dno, katero je najbolj oddaljeno). Iz tega razloga poiščemo optimalno točko, ki je rezultat empiričnih poizkusov, kjer dobimo najboljši vzorec pravilno prepoznanih elementov. Razliko v višini med stranico in paleto prikazuje slika 4.



Slika 4. Element »leva stranica« na paleti tekočega traku

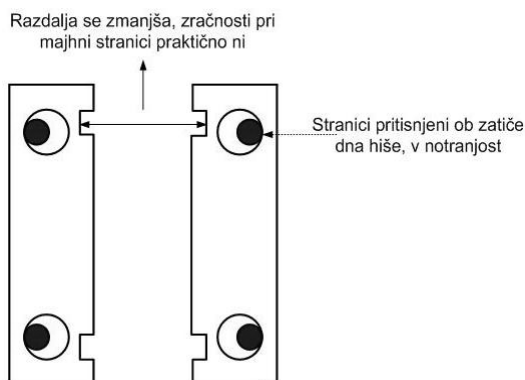
Fig. 4. Left side element on round ribbon pallet

Po uspešni prepoznavi elementa sledi pobiranje le tega. Za prijem elementov uporabljamo dvo-prstno prijemalo, katerega prožimo in vzdržujemo pritisk s pnevmatskim signalom. Prijemalo je izvedeno tako, da ima na notranji strani »prstov«, kjer element primemo, nalepljeni 5 milimetrov debeli elastični gobici. Takšna izvedba nam pri prijemu zelo koristi (preprečuje zdrs elementa iz prijemala), vendar ima slabo lastnost, da nase »prilepi« pobrani element, kar predstavlja težave pri odlaganju. Za stisk prijemala je potrebno modificirati čeljusti v smislu, da ne stiskajo elementa premočno. Pomagali smo si s plastičnimi podlogami, s čimer povečamo ali zmanjšamo razmak med čeljustima prijemala. V kolikor je stisk še vedno premočan, lahko jakost uravnava še s pomočjo regulacije dovedenega pnevmatskega signala, ki je v optimalni rešitvi znašal dve atmosferi.

Sestavni deli, ki jih pobiramo iz strežnega mesta, so naloženi na lesene palete. Le te imajo različne tolerance, kar pomeni, da se lahko dve paleti medsebojno razlikujeta po višini, kakor tudi razmiku zatičev. Do razlik prihaja zaradi natančne izdelave, in uporabljenih lesenih neimpregniranih materialov, ki s časom spreminjajo strukturo, obliko in dimenzijo. To je razlog, da moramo dodeliti točno določeno paleto k točno določenemu elementu (gradniku hiše). Paleto in njen pripadni element moramo pri sestavljanju striktno uporabljati v navezi, saj se le tako definirani točki prijema in odlaganja ujemata.

8 Odlaganje sestavnih elementov hiše

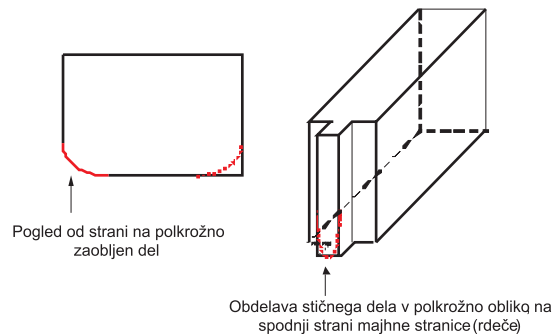
Pri odlaganju elementov imata najpomembnejši vlogi toleranca in natančnost določitve točk odlaganja. Pomembna je orientiranost elementov na prijemalnem mestu v vseh treh dimenzijah (roll, pitch, yaw), saj mora imeti element enako orientiranost, kot je bila v primeru določanja točke prijema in točke odlaganja. Takšen način je v nasprotju z načeli robotizacije proizvodnje. Pri robotskem sestavljanju, se v praksi uporabljajo identične odjemalne palete, in identični gradniki. Ker tega nimamo na voljo moramo poiskati kompromis in ustrezno rešitev za preizkus delovanja. Osnovna gradnika (leva velika in desna velika stranica) sta bila zasnovana z zračnostjo lukenj enega milimetra, kar je omogočalo lažje sestavljanje. Gledano iz vidika sestavljanja je to dobrodošla lastnost, s katero se izognemo zatikanju, vendar se takšnim tolerancam v praksi poizkušamo izogniti. Slabo lastnost vpliva velikih toleranc lahko opišemo na praktičnem primeru: ob postavitvi obeh velikih stranic s toleranco lukenj enega milimetra na vogalnike dna hiše, se lahko zgodi, da se obe stranici prislonita k notranjosti (slika 4), kar posledično zmanjša razdaljo med obema stranicama.



Slika 5. Tolerance zračnosti v reži za majhne stranice praktično ni
Fig. 5. Decreasing tolerance between both big side elements. Distance between both side elements is under allowed level

Ob vstavljanju majhnih stranic (slika 5) nastopi težava, saj je razdalja manjša oziroma enaka dolžini majhne stranice.

Da se izognemo omenjenemu problemu, je potrebno majhne stranice ustrezno oblikovat. Spodnji del, ki pri sestavljanju najprej preide v utor, preoblikujemo v polkrožno obliko (slika 6). To nam omogoča, da se bosta obe veliki stranici postavljene po scenariju prikazanem na sliki 5, pri vstavljanju majhnih stranic razmaknili na ustrezno razdaljo. Problem je moč rešiti še z uporabo funkcije vodenja po položaju in sili, ki naredi manipulator podajen. To pomeni, da se slednji podaja po prednastavljeni sili v definiranih smereh. S tem dosežemo kopijo obnašanja zapestja človeške roke.



Slika 6. Obdelan spodnji del utora majhne stranice
Fig. 6. Cultivated bottom side of the smallest side element

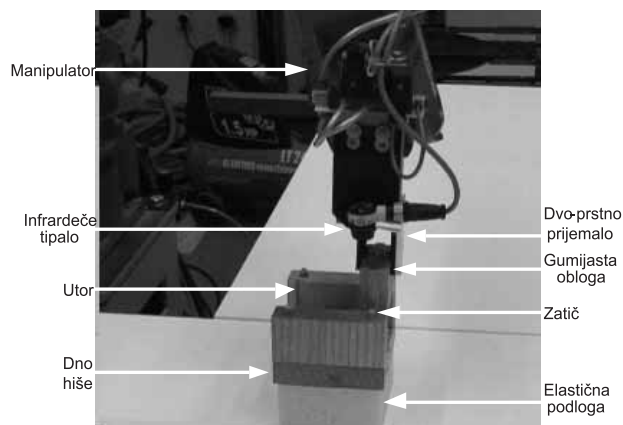
To lahko opišemo na primeru vstavljanja zatiča v luknjo, ki ima majhno zračnost. Človek bo pri vstavljanju zatiča izvajal akcije kroženja zapestja, s čimer bo zatič spraval v luknjo. Z uporabo vodenja po položaju in sili dosežemo ravno takšen učinek, s katerim si pomagamo pri sestavljanju elementov z majhnimi zračnostmi.

Beseda vodenje po položaju in sili pomeni, da naredimo manipulator podajen v zeleni smeri. Podajnost lahko nastavimo v vseh smereh gibanja vključno s podajnostjo vrha orodja. V empiričnem poizkusu smo iskali ustrezne nastavitve posameznih parametrov, ki predstavljajo maksimalno uporabnost za izvajanje naše aplikacije. Zadovoljive rezultate je dajalo linearno vodenje po položaju in sili, kjer lahko podajnost manipulatorja nastavljamo v vseh smereh (X, Y, Z, R, B, T), oziroma samo v tisti smeri, ki deluje nasproti smeri odlaganja (smer X). Tovarniško prednastavljeni parametri za vodenje po položaju in sili niso določeni, zato moramo le te ugotoviti s pomočjo metode poizkušanja. Parametre izberemo po metodi najboljšega poizkusa. Vrednosti, ki jih nastavimo ne smejo biti premajhne, saj manipulator v takšnem primeru preveč niha. Vzrok nihanja gre pripisati delovanju sile težnosti na konec manipulatorja, kjer svoj delež doprinese še gradnik v prijemalu. Manipulator se skuša temu upirati in popravlja smer gibanja, kar se odraža v obliki nihanja. To nas prisili, da procentualne vrednosti povečamo, s tem pa izgubimo na dobri podajnosti, kar pomeni, da se manipulator že močneje upira postavljeni oviri. Vodenje po položaju in sili torej deluje na principu tokovnih omejevalnikov, ki omejujejo tok v sklepnih servomotorjih v skladu z nastavljenimi procentualnimi vrednostmi. Zaradi relativno visokih procentualnih vrednosti parametrov vodenja po položaju in sili, s katerimi odpravimo

nihanje manipulatorja, posledično pa ga napravimo manj podajnega, uporabili dodaten varnostni ukrep. Na mesto sestavljanja položimo elastično podlogo, ki predstavlja dodatno podajnost v navezi z manipulatorjem. Elastična podloga predstavlja tudi varovalni element, v kolikor bi pri sestavljanju šlo kaj narobe. S tem obvaruje delovno površino, sestavne gradnike, kot tudi sam manipulator.

Elastična podloga je fiksno pritrjena na delovno površino, kar pomeni, da se njena lokacija glede na referenčni koordinatni sistem manipulatorja ne spreminja. Eno izmed težav smo že omenili v predhodnjih poglavjih, ki se nanaša na lepljenje elementov k elastični oblogi prijemala. Ker goba (elastična podajna podloga) nima na vrhu utora, z minimalnimi tolerancami, kamor bi dno hiše pričvrstili. Tako je ob vsakem odlaganju dno hiše obležalo na drugačni lokaciji. Vzrok za to, je lepljenje elementa na gumijasto podlogo prijemala, kar posledično pri neenakomernem odpiranju čeljusti postavi element venomer na drugačno pozicijo na odlagalnem mestu, glede na izhodiščni (referenčni koordinatni sistem). Neenakomernost odpiranja čeljusti prispeva k potiskanju dna hiše levo ali desno od želenega središčnega položaja. Tega si nikakor ne smemo privoščiti. Problematika je rešljiva na več načinov: prvi je ta, da izdelamo togi podstavek, ki se popolnoma ujema z dnom hiše (gradnikom), hkrati pa ima minimalne tolerance zračnosti. Takšni podstavek bi pritrjili na elastično podlogo, ter od tam naprej gradili skupek sestavnih elementov v celoto. Druga možnost, ki smo jo izbrali mi, je ta, da na vrh elastične podloge pritrđimo obojestranski lepilni trak, kjer pri odlaganju dna hiše, le tega najprej potisnemo centimeter v gobo, da se oba sprimeta, ter šele nato odpremo čeljusti prijemala.

Omenimo še nekaj dejavnikov, ki vplivajo na robotsko sestavljanje. Miza in tekoči trak nista fiksno pritrjena v tla, prav tako tudi nista medsebojno fiksno povezana. Pomanjkljivost kaže svoje rezultate prvič v primeru odčitavanja, drugič v primeru odjemanja elementov iz tekočega traku, tretjič pa pri odlaganju. Predpostavimo, da smo za določen primer fiksno določili tri točke odčitavanja za zdajšnje pozicije te-



Slika 7. Sestavljanje lesene hiše z manipulatorjem Motoman HP6

Fig. 7. Constructing wood house with robot Motoman HP6.

kočega traku. Zgodi se lahko, da nam nekdo mizo tekočega traku premakne v drugo pozicijo. To pomeni, da se točke odčitavanja ne bodo skladale z želeno pozicijo elementov na paleti tekočega traku, kar povzroči nepravilno prepoznavo, oziroma napake pri prepoznavi posameznega elementa. V najslabšem primeru je lahko prepoznavna izvedena pravilno, vendar se točka prijema elementa na odjemalnem mestu ne sklada s pred-definirano. Ker bomo s prijemalom v takšnem primeru prijeli element drugače, bo ta vzrok imel posledice pri odlaganju elementa. Posledice so lahko v obliki poškodbe sestavnega elementa, poškodbe delovne površine oziroma nenazadnje v obliki poškodbe manipulatorja.

9 Zaključek

V članku smo želeli predstaviti dejavnike, ki vplivajo na robotizacijo proizvodnje. Tekom izvajanja projekta smo nleteli na številne pomankljivosti na katere v uvodu nismo računali, zato smo iz tega razloga predlagali možne rešitve, ki temeljijo na preprostih principih, le tem, pa smo za primerjavo ob bok postavili principe, ki se uporabljajo v profesionalne namene. Naš pristop je temeljil na preprostih rešitvah, s katerimi smo dosegli zelene rezultate. Manipulator je v navezi s tekočim trakom brez vključene optimizacije hišo sestavil v časovnem intervalu od dveh do treh minut (odvisno od zaporedja elementov na tekočem traku). Z vključitvijo pohitritve gibov manipulatorja in optimizacijo sortiranja elementov na tekoči trak, lahko čas sestavljanja opazno zmanjšamo, kar predstavlja izzive za nadaljnje delo na omenjenem projektu. Prav tako je tematika nadaljnega dela usmerjena na področje vključitve umetnega vida za prepoznavo objektov.

Literatura

- /1/ AVR – Avtomatizacija in robotika, Andrej Gorenc, Novo Mesto, 2003
- /2/ NX-100 Users Manual, Motoman Robotec d.o.o., Yasakawa, 2005
- /3/ Grundprogrammireung, Motoman, 2005
- /4/ NX-100 Inform Manual, Motoman Robotec d.o.o., Yasakawa, 2005
- /5/ Modeling and High – Performance Control of Electric Machines, John Chiasson, New York, 2007
- /6/ Prijemanje pri človeku in stroju, Tadej Bajd

Saša Klampfer je diplomiral leta 2007, na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru.

Njegova raziskovalna dejavnost temelji na področju robotike in telekomunikacijskih sistemov.

E-pošta: sasa.klampfer@uni-mb.si

Boris Curk je diplomiral leta 1986, magistriral 1989 in doktoriral leta 1995. Njegova interesna področja so robotika, modeliranje, simulacije in vodenje dinamičnih sistemov, avtomatizacija, računalniško podprte tehnologije ter nelinearni postopki vodenja.