

Sodelovanje dveh ali več robotov

Edo ADROVIČ, Miha PIPAN, Niko HERAKOVIČ

Dvig produktivnosti in kakovosti izdelave zahtevnejših izdelkov lahko v procesu montaže dosežemo s sodelovanjem dveh ali več robotov. Sodelovanje robotov lahko izvedemo na več načinov. Prvi način uporabe je pri izvajanju usklajenih, medsebojno odvisnih gibov, ko so usklajeni vsi elementarni gibi robotov (dinamična sinhronizacija – povezava med »master« in »slave« krmilnikom). Drugi način uporabe je, ko se ne izvajajo medsebojno odvisni gibi, ampak so izvedene povezave gibov med roboti v zahtevanih prostorskih ali časovnih točkah. Povezava je narejena preko vhodno-izhodnih signalov (statična sinhronizacija).

■ 1 Uvod

Tempo življenja v sodobnem svetu narekuje povečanje uporabe izdelkov višje kakovosti, večje varnosti, z večjim številom funkcij, sodobnega dizajna in visoko kakovostjo izdelave. Posledično to pomeni, da so izdelki tehnološko bolj zahtevni za izdelavo. Z uporabo različnih strojev, naprav in manipulatorjev se zagotavljajo visoka produktivnost, kakovost in natančnost izdelave. Obstaja več različnih tipov robotov, s katerimi zagotavljamo visoko kakovost izdelka in izvedbo zahtevnejših tehnoloških postopkov izdelave. Največ sta v uporabi dva tipa robotov, in sicer SCARA ter večosni členkasti roboti. Vsak tip robota je primeren za različne potrebe, pri katerih ne prihaja do konkurenčnosti med njimi. Za potrebe, pri katerih se zahteva vodenje robota v prostoru

po natančno določeni trajektoriji, so najbolj primerni 6-osni roboti, s katerimi lahko izvajamo kompleksne gibe v 3D prostoru.

V laboratoriju LASIM se uporabljata dva 6-osna robota: MOTOMAN HP20 in HP06. Robote uporabljamo v raziskovalni in pedagoški dejavnosti. Odlikujejo jih visoka natančnost, dovolj velika nosilnost in veliko delovno območje.

Osnovne značilnosti robotov so [1]

HP20:

- število osi: 6,
- nosilnost robota: 20 kg,
- ponovljivost $\pm 0,06$ mm,
- delovno območje: R = 1717 mm.

HP06:

- število osi: 6,
- nosilnost robota: 6 kg,
- ponovljivost: $\pm 0,08$ mm,
- delovno območje: R = 1378 mm.

Pri izdelavi posameznega izdelka (strojna obdelava, varjenje, barvanje, montaža, strega, transport, pakiranje itd.) lahko pride do tehnološke zahteve, pri kateri uporaba enega robota ne zadošča. Za zagotavljanje nemotenega poteka procesa izdelave v industriji si pomagajo z večrobotsko tehnologijo oziroma s sodelovanjem dveh ali več robotov.

V praksi se srečamo z dvema različnima pristopoma povezovanja robotov v sistem večrobotskega sodelovanja. Razlika med njimi je v zahtevnosti proizvodnega procesa, ki jo nalaga tehnološki postopek.

Za manj zahtevne tehnološke postopke se uporabi pristop povezovanja robotov, pri katerem je vsak robot neodvisen in se programira posamezno glede na potrebe proizvodnega procesa (statična sinhronizacija). Pri tem je treba biti pozoren na gibe ostalih robotov v sistemu, da ne bi prihajalo do neželenih trkov in



Slika 1. Na sliki 1 je prikazano sodelovanje robotov

Edo Adrovič, univ. dipl. inž.,
Miha Pipan, univ. dipl. inž., izr.
prof. dr. Niko Herakovič, univ.
dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani,
Fakulteta za strojništvo

posledično do poškodb ter ustavljanja procesa proizvodnje.

Za bolj zahtevne postopke se uporabi sistem medsebojno povezanih robotov (dinamična sinhronizacija). Ti so povezani prek krmilnikov, kjer je en krmilnik vodilni (master), ostali krmilniki pa podrejeni (slave).

Večrobotska tehnologija je idealna za proizvodnjo oz. montažo brez fiksnih montažnih gnezd (JIG LESS), kjer en robot drži obdelovanec, sočasno pa drugi izvaja varjenje ali druge montažne operacije na tem obdelovancu.

Večrobotska tehnologija ponuja številne prednosti [2]:

- manjša naložba,
- manjša potreba po delovni sili,
- zaradi kompaktnega sistema je potreben manjši delovni prostor,
- krajši čas izobraževanja,
- krajši časi zastojev,
- krajši čas cikla,
- manj pomanjkljivosti pri varjenju,
- ni potrebe po proizvodnji fiksnih montažnih gnezd in spremljajoči opremi,
- višja kakovost varjenja, montaže itd.,
- fleksibilna proizvodnja,
- višji izkoristek itd.

Na *sliki 1* je prikazano sodelovanje več robotov pri procesu varjenja.

Pri premikanju robota je zelo pomembna trajektorija obravnavane točke. Enako pomembne so sile in navor, ki delujejo v tej točki. Skladno s tem je pomembna tudi hitrost premikanja obravnavane točke (pospešek, pojemek). Del mehanike, ki proučuje gibanje, vendar pri tem ne obravnava sil in navorov, katerih posledica je gibanje, se imenuje kinematika [3]. Del mehanike, ki se ukvarja z analizo sil in navorov, ki povzročajo gibanje, se imenuje dinamika [3]. Ti dve vedi skupaj z matematiko, fiziko in elektroniko omogočajo izvedbo nadzorovanega premikanja osi robota in s tem premikanje po željeni trajektoriji. Vsa ta znanja omogočajo, da s 6-osnim robotom izvajamo zelo zahtevne gibe.

■ 2 Dinamična sinhronizacija

Eno vodilnih podjetij, ki se ukvarja z izdelavo 6- ali večosnih robotov in ustreznih krmilnikov, je YASKAWA MOTOMAN, ki je leta 1994 razvilo večrobotsko tehnologijo [2]. V ta namen so razvili ustrezen krmilnik. NX100 je le eden od krmilnikov, s katerim je možno sinhrono krmiliti več robotov – do štiri robote in tri zunanje osi. Skupno je možno povezati in krmiliti 36 osi [4].

Glede na to, da so pri omenjenem sistemu medsebojni gibi posameznih osi odvisni od gibov ostalih osi in je znana pozicija vseh robotov, ne prihaja do izpadov sistema zaradi medsebojnih naletov robotov, kar bistveno vpliva na povečanje produktivnosti.

Prednosti uvedbe večrobotske tehnologije so vsekakor ogromne. Omenjena tehnologija uporabe robotov je zelo primerna za kompleksne procese varjenja avtomobilskih karoserij in pri montaži drugih zahtevnejših izdelkov. Pri programiranju robotov je še zmeraj možno programirati in uporabljati vsak robot posamično.

■ 3 Statična sinhronizacija

Če je v podjetju več 6-osnih členkastih robotov istega ali različnih proizvajalcev in je potrebna sočasna uporaba oz. sodelovanje več robotov, se lahko za krmiljenje robotov uporabi metoda statične sinhronizacije. Pri tej metodi ni potrebno narediti povezave med krmilniki robotov na nivoju kot pri dinamični sinhronizaciji. Statična sinhronizacija nam omogoča, da z ustreznimi programi posameznega robota programiramo celoten postopek, potreben za izvajanje zahtevanega proizvodnega procesa. Za uspešno programiranje in izvajanje programa se je potrebno ustrezno pripraviti.

Osnova za uspešno programiranje je poznavanje funkcij robota in sintakse programa za krmilnik [5]. Drugi pomemben podatek je,

da poznamo potek proizvodnega procesa oz. da smo seznanjeni z delom tehnološkega postopka za konkreten proces. Ko so osnove zagotovljene, lahko začnemo izdelovati program.

Najprej je potrebno pripraviti prostor okoli robotov in zagotoviti pravilno postavitvev. Taka postavitvev zagotavlja naslednje:

- Medsebojna postavitvev robotov je takšna, da nam zagotavlja skupni delovni prostor med roboti, kar pomeni, da je v celotnem delovnem prostoru posameznega robota del prostora, ki se prekriva z določenim delom delovnega prostora drugih robotov.
- Prostor za surovec oziroma polizdelek je dostopen najmanj z enim robotom. V primeru več polizdelkov je potrebno zagotoviti, da so vsi polizdelki v delovnem območju enega ali več robotov. Prav tako mora biti tudi prostor za odlaganje izdelkov v delovnem območju enega ali več robotov.
- Pri postavitvah vseh pomožnih naprav je treba biti pozoren na to, da te ne ovirajo gibanja robota v delovnem območju, zaradi česar robot ne bi mogel izvesti zahtevanih gibov.
- Ustrezno povezavo vhodno-izhodnih signalov med krmilniki, preko katerih se izvaja sinhronizacija.

Prostor je treba fizično zavarovati, da ne bi prihajalo do neželenega posega vanj v teku izvajanja proizvodnega procesa.

Programiranje lahko poteka na dva načina:

- off-line s 3D simulatorjem (MotoSim programom) ali
- direktno preko konzole za programiranje.

Pri izdelavi programa je potrebno določiti sinhronizacijske točke. To so točke, kjer se roboti usklajujejo oz. kjer en robot čaka drugega, da konča gib. Preko vhodno-izhodnih signalov in funkcije za čakanje vklopa/izklopa določenega signala se izmenjujejo informacije o tem, kateri roboti so aktivni oziroma kateri gibi so v izvajanju.

■ 4 Povezava vhodno-izhodnih signalov in sinhronizacijska točka

V nadaljevanju je podan primer sodelovanja dveh robotov (HP06 in HP20) v laboratoriju LASIM. V ta namen je narejen program za sestavljanje in razstavljanje dveh sestavnih delov (puša in čep). Robot HP06 je uporabljen za pobiranje puše iz palete in postavitve v sinhronizacijsko točko. Robot HP20 je uporabljen za pobiranje čepa iz palete in izvajanje sestavljanja. Po končanem sestavljanju robot HP20 izpusti čep in prime sklop. Robot HP06 izpusti pušo in se umakne. Po končanem sestavljanju robot HP20 odloži sklop v paleto. Razstavljanje sklopa se naredi v obrnjenem vrstnem redu. Za potrebe konkretnega postopka smo izhodni signal OT#(1) in vhodni signal IN#(18) robota HP20 vezali z vhodnim signalom IN#(3) in izhodnim signalom OT#(1) robota HP06. Preverjanje stanja signalov IN#(3) in IN#(18) smo uporabili za sinhronizacijske točke v programu. Kjer koli je bilo potrebno določiti točko sinhronizacije, smo to izvedli s funkcijo WAIT. S tem smo določen robot postavili v fazo, ko čaka na informacijo o stanju signala.

■ 5 Primer programa

Na slikah 2 in 3 sta prikazana dela programov razstavljanja puše in čepa za posamezen robot, v katerem

```

.
.
.
MOVL C00007 V=100.0 PL=0
PULSE OT#(1)           (2)
WAIT IN#(18)=ON        (3)
PULSE OT#(3)
TIMER T=0.30
MOVL C00008 V=100.0 PL=C
PULSE OT#(4)
TIMER T=0.30
MOVL C00009 V=1000.0
.
.
.

```

- robot v zeleni poziciji
- pošiljanje signala
- čakanje na signal

- konča opravilo

Slika 2. Del programa robota HP20

```

.
.
.
MOVL C00002 V=1000.0 PL=0
WAIT IN#(3)=ON         (1)
MOVL C00003 V=1000.0 PL=C
MOVL C00004 V=100.0 PL=0
PULSE OT#(1)           (4)
TIMER T=0.30
PULSE OT#(3)
WAIT IN#(3)=ON        (5)
.
.
.

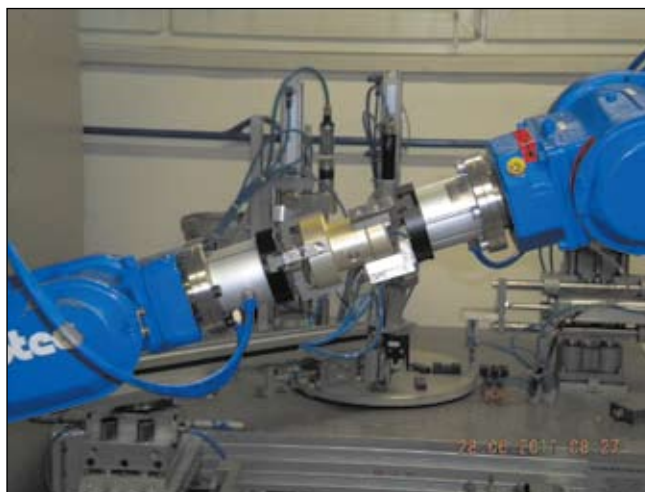
```

- robot v zeleni poziciji
- čakanje na signal

- konča opravilo

- čakanje na signal

Slika 3. Del programa robota HP06



Slika 4. Prijemanje puše (robot HP06)

je zagotovljena sinhronizacija med robotoma.

Po končanem gibu robot HP06 (slika 3, vrstica (1)) v programu sporoči, da čaka na signal drugega robota. Nadalje (slika 2, vrstica (2)) robot HP20 pošlje signal robotu HP06, da nadaljuje z opravili. Po poslanem signalu (slika 3, vrstica (4)) robot HP20 čaka na signal (slika 2, vrstica (3)). Po sprejetem signalu dokonča svoja opravila. Robot HP06 čaka signal za nadaljevanje svoje naloge (slika 3, vrstica (5)).

Na slikah 4 in 5 sta prikazana robota pri izvajanju procesa razstavljanja/sestavljanja puše in čepa, pri katerem se robot HP06 uporabi za držanje puše in robot HP20 za vlečenje čepa iz puše.

6 Zaključek

V primeru zahtevnejših proizvodnih operacij, kjer je potrebno zagotoviti sinhrono gibanje dveh ali več robotov, je najbolj primerna dinamična sinhronizacija. Pri tem je potrebno upoštevati dodatne stroške za povezavo krmilnikov. Za vse nezahtevne proizvodne operacije se lahko uporabi statična sinhronizacija, ki jo nad-



Slika 5. Prijemanje čepa (robot HP20)

ziramo prek vhodno-izhodnih signalov in sinhronizacijske točke. Pri tem sistemu se izognemo dodatnemu strošku povezave krmilnikov. Katero metodo bomo uporabili, je odvisno predvsem od zahtevnosti proizvodnega procesa in naših želja.

Literatura

- [1] Prospekt za robota HP06 (Mrs6203GB.1.L.pdf) in HP20 (Mrs6221GB.1.L.pdf).
- [2] <http://www.motoman.si/sl/resitve/vecrobotna-tehnologija/>.
- [3] <http://www.ig33k.com/Predogled/3159>.
- [4] Prospekt za krmilnik NX100 (NX100 Controller [EDocFind.com].pdf).
- [5] Navodilo za programiranje (NX100 Inform II.pdf).

 <p>ITT ENGINEERED FOR LIFE</p>	<p>www.kts.si www.enidine.com info@kts.si stebej@kts.si</p>	<p>KTS s.p. Dunajska cesta 285 SI-1131 Ljubljana tel. +386-41-655-241</p> 	
<p>KTS ENIDINE AMORTIZERJI</p>  <p>ENIDINE An IMC Company</p>		<p>Shock and Vibration Products</p>  <p>Air Spring Technologies</p> 	  