

## robotika u riječi i slici

Uređuje: Mirko Klaić, dipl. ing.

### OD INDUSTRIJSKIH DO USLUŽNIH ROBOTA

#### UVOD

Automatizacija igra važnu ulogu u gospodarskom napretku čovječanstva još od početka prošloga stoljeća, kada je Henry Ford uveo montažne linije u proizvodnju automobila. U posljednja je četiri desetljeća visokoserijska proizvodnja uglavnom automatizirana, čime je smanjena cijena i povećana kvaliteta proizvoda. Visoki stupanj automatizacije proizvodnih linija u najvećoj je mjeri postignut primjenom robota. Prvi su se roboti pojavili šezdesetih godina prošloga stoljeća, kao rezultat nadgradnje numerički upravljanih strojeva, a kasnije su se roboti razvili u napredne programirljive sustave za složene aktivnosti.

Prvi su roboti proizvedeni i primijenjeni u SAD-u, ali se današnja industrija za proizvodnju robota dominantno nalazi u Japanu i Europskoj uniji, koji zauzimaju gotovo 40 % proizvodnje i tržišta, dok SAD zauzima svega oko 15 %. Veliki je broj tvrtki koje proizvode robote ili opremu za robote, a tri najveće tvrtke su *ABB Robotics*, *KUKA Roboter* i *FANUC*. Inače, procjenjuje se da je trenutačno u radu gotovo milijun industrijskih robota, a najviše ih je u automobilskoj industriji. Razvoj robotske industrije omogućio je proširenje primjene robota i izvan automobilske industrije u primjene kao što su montaža, lijevanje, izrada plastičnih dijelova, prijenos materijala, paletizacija, inspekcija cjevovoda, itd.

Razvoj robotske industrije rezultat je usklađenih istraživačkih i razvojnih napora u područjima mehaničkih sustava, računalnih sustava, teorije upravljanja, inteligentnih sustava, senzorskih sustava, izvršnih uređaja, itd. Integracija novih postignuća u navedenim područjima dovela je do mogućnosti proizvodnje po cijeni prihvatljivih robota sposobnih za obavljanje složenih radnji u industrijskoj proizvodnji (industrijski roboti) ili u raznim uslužnim djelatnostima (uslužni roboti). S obzirom da je robotika višedisciplinarna i međudisciplinarna tehnička disciplina, za njezin je daljnji napredak iznimno važno ostvariti učinkovitu suradnju istraživačkih grupa sa sveučilišta i industrije s različitim specijalističkim znanjima.

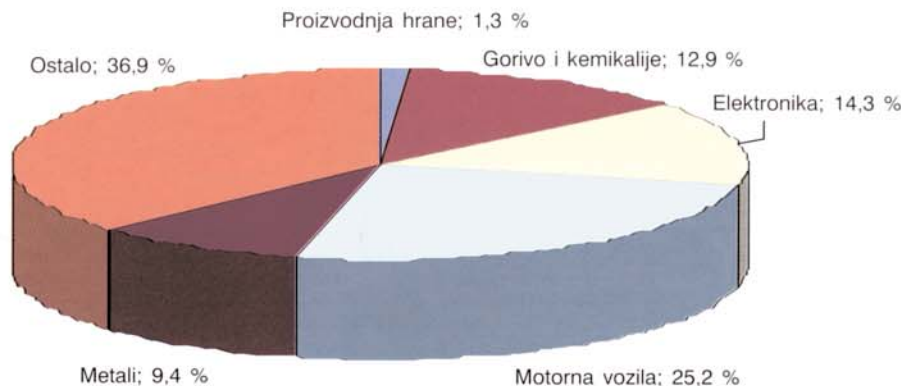
Velika većina današnjih robota su stacionarni roboti (manipulatori). Glavna prednost ovih robota je u tome što se njihov radni prostor može strukturirati te time pojednostaviti problem upravljanja. Međutim, sve je veće zanimanje za dodavanjem mobilnosti ovim sustavima, tako da se u industriji danas koriste i mobilni roboti poznati pod nazivom: autonomna vodena vozila (engl. *Autonomous Guided Vehicles*, AGV). Ova vozila koriste umjetne orijentire za navigaciju u prostoru, što ograničava njihovu primjenu izvan tih prostora.

Za razliku od industrijskih robota, uslužni roboti moraju raditi u nestrukturiranim prostorima bez ikakvih zahvata u njima, pa moraju imati znatno veći stupanj autonomnosti od industrijskih robota. Svoju autonomnost uslužni roboti moraju temeljiti isključivo na informacijama iz senzora ugrađenih na njima samima. Mogućnosti primjene uslužnih robota gotovo su neiscrpne, što utječe na to da se istražuju i razvijaju razne arhitekture uslužnih robota. Uslužni bi se roboti mogli razvrstati na razne načine, ali se kao prva podjela obično uzima podjela po osnovnim značajkama prostora u kojemu djeluju, koja ih dijeli na kopnene, vodene, zračne i svemirske.

U ovome se radu daje pregled sadašnjega stanja razvoja robotike te očekivani daljnji razvoj, i sa stajališta tržišnih zahtjeva i sa stajališta istraživačko-razvojnih problema koje tek treba razriješiti. Pri tome je naglasak na industrijskim robotima i na onim kopnenim uslužnim robotima koji će se uskoro pojaviti na tržištu te ćemo ih gotovo svakodnevno susretati. To su uslužni roboti koji nastaju nadogradnjom industrijskih robota ili strojeva specijaliziranih za određenu primjenu. Ostale klase uslužnih robota te personalizirani roboti nisu predmetom ovoga rada.

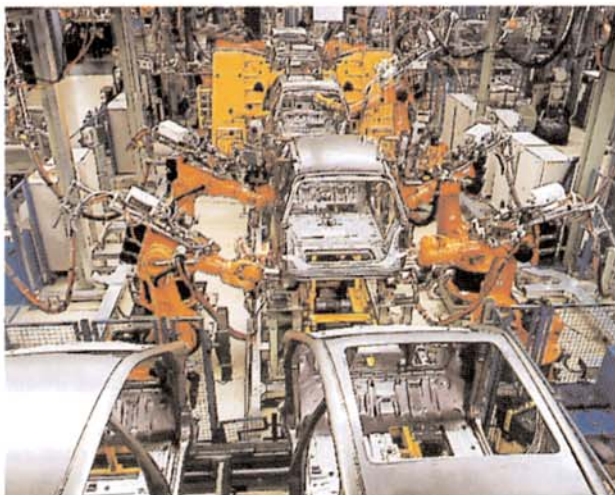
#### STANJE RAZVOJA I TRENDOVI U ROBOTICI

Svjetsko se tržište industrijskih robota (samo sklopovlja) procjenjuje na oko šest milijardi eura. Ako se uključe programska podrška, periferijski uređaji te sustavski inženjering, tržište robotskih sustava se utrostručuje. Glavna područja primjene robota su: zavarivanje, montaža, manipulacija predmetima, bojanje te paletizacija i pakiranje. Raspodjela tržišta industrijskih robota po područjima primjene prikazana je na slici 1. Automobilski je industrija tradicionalno glavni korisnik robota, jer je veliki broj poslova na proizvodnim linijama automobila prikladan za robotiziranu automatizaciju (slika 2). Izražene tehničke potrebe za robotima te velika financijska moć automobilske industrije dovele su do toga da ova industrija dominantno određuje specifikacije robotskoj industriji.



Izvor: UN Word Robotics 2000 (UNECE)

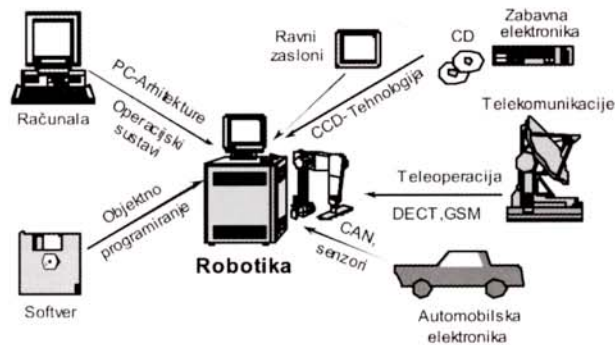
Slika 1. Podjela tržišta industrijskih robota po tržišnim sektorima



Sl. 2. Roboti u radu na proizvodnoj liniji automobila

Napredak robotike kao višedisciplinarnе tehničke discipline ovisi o napretcima u većem broju drugih tehničkih disciplina (slika 3.). Robotiziranu automatizaciju sve više potiče tehnološki razvoj u tzv. masovnim industrijskim granama, kao što su zabavna i automobilska industrija, koje su dovele do razvoja jeftinih, visokokvalitetnih sklopovskih rješenja i programske podrške, kao ključnih komponenata tzv. inteligentnih proizvoda. Za razvoj robotike osobito su značajni sljedeći aspekti tehnološkoga napretka:

- Informacijske tehnologije razvijene unutar navedenih tržišno masovnih industrija čine okosnicu digitalnih komunikacija između poduzeća, njihovih klijenata ili unutar poduzeća između menadžmentske i proizvodne razine. Roboti, kao najfleksibilniji elementi proizvodnoga pogona, imaju središnju ulogu u ovako digitaliziranom, umreženom proizvodnom okruženju.
- Kvaliteta glavnih komponenata robotskih sustava sve se više povećava uz istodobno snižavanje cijena, što dovodi do ubrzanog povećavanja kvalitete rada robota u smislu povećane fleksibilnosti, robusnosti i komunikacije s osobljem.
- Napredno programsko inženjerstvo sve više ulazi i u proizvodna okruženja. Tako se sve više primjenjuju o platformi neovisni programski jezici i tehnologije (JAVA, CORBA, itd.), programske komponente s funkcionalnošću »uključiti i raditi« te objektno-orijentirane tehnologije za distribuirane sustave automatizacije s konfiguracijskim i programskim alatima.



Sl. 3. Migracija tehnologije iz drugih industrijskih grana u robotiku

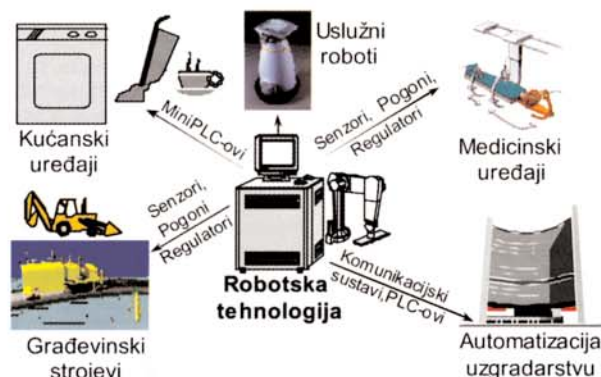
- Komponente i sustavi postaju sve manjih dimenzija i sve većeg stupnja integracije, što vodi prema mikro elektro-mehaničkim sustavima (MEMS), kao inteligentnim elementima robota i prateće opreme.

Sve ovo će omogućiti da će se proizvodni procesi prilagođeni prototipnoj proizvodnji moći koristiti i za masovnu proizvodnju. Prema tome, tehnološki napredak potiče učinkovitu integraciju u robotici i to na dvije razine:

- robotski sustav kao ugrađeni sustav (engl. *embedded system*),
- roboti kao elementi automatizacije u tzv. inteligentnom okruženju.

Da bi se ovo postiglo, nužna je standardizacija komunikacijskih sustava, korisničkih sučelja te postupaka integracije komponenata.

Kao što tehnološki napredak u drugim industrijskim granama doprinosi napretku robotike, tako i napredak robotike doprinosi napretku u mnogim industrijskim granama te proširenju primjene robota iz industrijskih pogona u nova, neindustrijska okruženja (slika 4). Razvoj robotike u budućnosti odvijat će se ne samo u smjeru daljnjeg unapređenja kvalitete robota u postojećim područjima primjene, već i u smjeru razvoja novih izvedaba robota koji će sve više preuzimati temeljnu ulogu u do sada neovladanim industrijskim primjenama te u raznim neindustrijskim primjenama, prije svega kao uslužni roboti u javnim i privatnim prostorima.



Sl. 4. Migracija robotske tehnologije iz industrijske automatizacije u druga područja primjene

Nova tržišta za primjenu robota zahtijevaju i nova rješenja u kojima nove tehnologije, alati i sustavske paradigme daju robotskim sustavima više fleksibilnosti i čine ih jednostavnijima za primjenu. Primjerice, budući bi roboti trebali imati sposobnosti autonomnog otkrivanja i oporavka od kvarova te intuitivne interakcije s ljudima, i to uz niža ulaganja. U nastavku se daje pregled novih primjena i zahtjeva za industrijske i uslužne robote.

### Industrijski roboti

Osim u proizvodnji automobila i elektroničkih komponenata, u posljednje se vrijeme industrijski roboti sve više primjenjuju i u drugim industrijskim proizvodnjama, osobito u proizvodnji hrane, potrošne robe i farmaceutskih proizvoda, gdje primjena robota dovodi do fleksibilnosti i sniženja cijene proizvodnje. Ovdje se roboti primjenjuju za manipulaciju, paletizaciju, uzimanje narudžaba, sortiranje i transport proizvoda (slika 5). Nadalje, razne skladišne usluge zahtijevaju primjenu robota za fleksibilnu i pouzdanu logističku automatizaciju.



a)



b)

Sl. 5. Primjeri robota za paletizaciju a) i sječenje mesa b)

Promjene potrošačkih navika postavljaju nove izazove proizvođačima, što dovodi do novih prilika za robotsku automatizaciju koja omogućuje primjenu novih poslovnih modela, kojima je temeljna odlika prilagodljivost promjenama zahtjeva. Primjerice, od proizvođača se traži sve veća prilagodljivost s obzirom na nesigurnost proizvodnih količina i tržišnog vijeka proizvoda, što je posebno izraženo kod robe široke potrošnje koja se mora proizvoditi u velikim količinama, a njezina prodaja ovisi o promjenama životnih stilova, mode i slično. Isto tako, primjena Interneta za naručivanje i konfiguriranje proizvoda zahtijeva mogućnost proizvodnje prema zahtjevima svakog pojedinog naručitelja i to po cijeni koja može samo neznatno odstupati od cijene serijske proizvodnje. Zahtijevanu visoku fleksibilnost proizvodnje teško je ostvariti bez robotizirane automatizacije.

Koncept virtualnih poduzeća, aktualan u informacijskom sektoru, postat će aktualan i u proizvodnom sektoru. Takva će poduzeća imati umrežene proizvodne kapacitete i fleksibilne dobavne lance sirovina, pri čemu će se proizvodni kapaciteti tretirati kao pružateljci usluga (na zahtjev) virtualnim poduzećima. S druge strane, virtualna će poduzeća biti umrežena prema potrošačima pružajući im usluge u skladu s njihovim narudžbama. Dakle, u budućnosti se može očekivati da će poduzeća proizvoditi gotovo isključivo po narudžbama potrošača, čak i proizvode koji se sada proizvode samo u visokoserijskoj proizvodnji.

Općenito, buduće primjene industrijskih robota zahtijevaju rješenja koja trebaju otvarati nove horizonte u smislu:

- *povećanja fleksibilnosti proizvodnje* – sposobnost prilagođavanja raznim inačicama proizvoda, proizvodnoj količini, životnom vijeku proizvoda i procesa;
- *povećanja prilagodljivosti promjenama tržišnih zahtjeva* – brzo i jeftino mijenjanje konfiguracije proizvodnog pogona;
- *povećanja inteligencije sustava automatizacije* – upravljanje kvalitetom proizvodnje, autonomno prilagođavanje tolerancijama uzrokovanim tokovima proizvodnih dijelova, procesa i materijala;
- *povećanja umreženosti* – neposredan dostup do procesnih podataka i integracija u sustav automatizacije tvornice;
- *poboljšanja sučelja čovjek–stroj* – promiču se novi oblici poluautomatskog rada robota, tj. omogućuju se hibridna radna

mjesta u kojima surađuju čovjek i robot te teleoperativni rad u kojemu čovjek s udaljenog mjesta daje naredbe robotu koji ih izvršava;

- *smanjenja troškova proizvodnje* – postizanje po cijeni prihvatljiva rada proizvodnog pogona u uvjetima povećane nesigurnosti proizvodnih količina i trajanja proizvodnje određenog proizvoda.

### Uslužni roboti

Opstanak tvrtki koje se bave uslužnim djelatnostima (čišćenje, održavanje, nadzor i protuprovalna zaštita, zdravstvena zaštita, itd.) u sve većoj mjeri ovisi o inteligenciji pomagala koja koriste, a koja neposredno utječu na radne uvjete te kvalitetu i cijenu usluge. U budućnosti se može očekivati da će sve veći broj usluga pružati uslužni roboti, i u javnim i u privatnim prostorima.

Stanovništvo zapadne civilizacije sve više stari. Predviđa se da će se u naredna dva do tri desetljeća broj umirovljenika u Europi povećati za 50 % te da će se udvostručiti broj osoba starijih od osamdeset godina (nažalost, i Republika Hrvatska se nalazi u vrlo sličnoj, ako ne i težoj, situaciji). Istodobno se broj novorođenčadi drastično smanjuje, što će dovesti do smanjenja radno sposobnoga stanovništva. Da bi se održavala postojeća razina gospodarskog razvitka, a pogotovo da bi se povećavala, nužno je neprekidno usavršavati postupke proizvodnje, u čemu je velika uloga robota. Osim toga, potrebno je razvijati nove vrste robota koji će pružati razne usluge ljudima, osobito starim i invalidnim osobama, poboljšavajući kvalitetu njihova rada i života. Primjeri takvih usluga su pomaganje u pokretljivosti invalida, razna čišćenja, nadzor te svakojake druge pripomoći. Treba očekivati da će se u naredna dva desetljeća razviti potpuno nova industrijska grana koja će proizvoditi robote za pružanje usluga građanima. U ovome kontekstu treba spomenuti i mogućnosti povećanja učinkovitosti starije radne snage primjenom inteligentnih radnih pomagala. Radnici stariji od pedeset godina su iskusni i pouzdani te mogu biti od iznimne važnosti za tvrtke u kojima rade. Međutim, njihovo je zdravstveno stanje često karakterizirano lošijom pokretljivošću i fizičkom iscrpljenošću. Odgovarajućom pomoći inteligentnim pomagalima moguće je kompenzirati zdravstvena ograničenja i održati visoku učinkovitost ovih radnika.

Glavni nositelj razvoja u području uslužne robotike je Japan, i u smislu akademskih istraživanja sponzoriranih iz državnih fondova tako i kroz tvrtke kao što su *Sony*, *Honda* i *Hitachi*. Aktivno i osmišljeno djelovanje u ovome području moglo bi otvoriti nove mogućnosti gospodarskog razvitka i za Republiku Hrvatsku. U razvoju uslužnih robota još uvijek je velika potreba za temeljnim istraživanjima za koja je teško očekivati financiranje od industrije, već ih pretežito treba financirati država.

Potencijali uslužnih robota široko su prepoznati sredinom devedesetih godina prošloga stoljeća, kada su se na tržištu počeli pojavljivati prvi komercijalni uslužni roboti. Do 1999. godine u komercijalnome je radu bilo oko 6600 uslužnih robota, a do kraja ove godine bit će ih oko 50000, ne računajući autonomne usisavače, kojih je u radu gotovo pola milijuna.

Većina tvrtki koje proizvode uslužne robote ili njihove dijelove su male ili srednje tvrtke, koje svoj razvoj temelje na novim tehnologijama i inovacijama. Ove tvrtke uglavnom vrlo blisko surađuju sa sveučilištima i istraživačkim centrima. Treba očekivati da će u neposrednoj budućnosti broj novoosnovanih tvrtki u ovome području naglo rasti, što će svakako dovesti i do naglog razvoja tržišta ovih proizvoda. S pravom se može očekivati da će uslužna robotika biti vodeća industrijska grana dvadeset prvoga stoljeća.

Izvedbe uslužnih robota vrlo su raznolike, što je posljedica širokog spektra primjena za koje se razvijaju. Ipak, uslužni se roboti mogu razvrstati u sljedeće tri kategorije:

- *Uslužni roboti nastali nadogradnjom industrijskih robota.* Razvoj ovih robota dominantno potiču tvrtke koje integriraju robotske sustave, a s ciljem osvajanja novih tržišta. Primjeri ovih uslužnih robota su roboti za nalijevanje goriva na benzinskim crpkama, roboti za automatizaciju skladišta, medicinski roboti i slično (slika 6).
- *Uslužni roboti nastali nadogradnjom postojećih strojeva za određene primjene.* Razvoj ovih robota potiču proizvođači strojeva s ciljem povećanja njihove autonomnosti i inteligencije. Primjeri ovih robota su roboti za čišćenje podova, ispitivanje cjevovoda i slično (slika 7).
- *Uslužni roboti nastali kao potpuno novi proizvodi.* Razvoj ovih robota rezultat je želje za sve većim oslobađanjem čovjeka od poslova koji se mogu automatizirati, pri čemu je naglasak na razvoju robota za masovnu primjenu, kakvi su primjerice roboti za obavljanje kućanskih poslova, roboti za zabavu i slično (slika 8).



a)



b)

Sl. 6. Primjeri uslužnih robota nastalih nadogradnjom industrijskih robota: a) robot za nalijevanje goriva, b) ortopedski kirurški robot

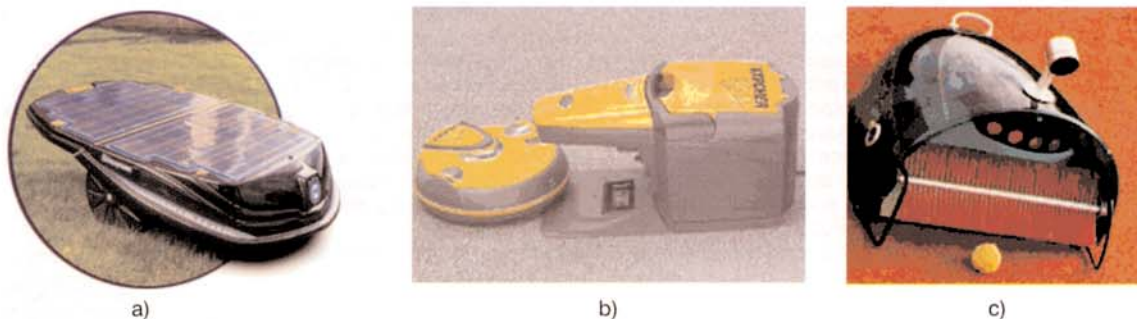


a)



b)

Sl. 7. Primjeri uslužnih robota nastalih nadogradnjom strojeva za određenu primjenu: a) robot za čišćenje podova, b) robot za pregledavanje kanalizacije



Sl. 8. Primjeri uslužnih robota za masovno tržište i za zabavu: a) autonomna kosilica, b) autonomni usisavač, c) sakupljač teniskih loptica

U velikom broju slučajeva tvrtke moraju razviti i primijeniti napredne tehnologije i napredna rješenja, da bi njihovi roboti mogli udovoljiti postavljenim zahtjevima sa stajališta funkcionalnosti, cijene i kvalitete rada. Ostvarenje tržišno prihvatljivog i konkurentnog uslužnog robota ovisi o sljedećim čimbenicima:

- **Troškovi razvoja i cijena sustava.** Za razliku od industrijskih robota, uslužni roboti se izvode za obavljanje specifičnih poslova, i to u pravilu u nestrukturiranom okruženju s mogućnošću neposredne interakcije s ljudima. Nižu je cijenu moguće postići razvojem što većeg broja komponenata i podsustava koji ne ovise o primjeni te njihovom uporabom pri konfiguriranju robota za određenu primjenu.
- **Tehnički zahtjevi.** Veliki se broj komponenata uslužnih robota može dobiti modifikacijom komponenata industrijskih robota. Međutim, velika je potreba za povećanjem funkcionalnosti i performansi komponenata i podsustava prije svega zbog potrebe da robot autonomno: a) izgrađuje kartu prostora, b) određuje svoj položaj u njemu, c) planira svoje gibanje radi ostvarenja postavljenoga zadatka i izbjegavanja sudara s drugim objektima u prostoru te d) obavlja komunikaciju i interakciju s ljudima i drugim robotima u prostoru.
- **Sigurnost.** Uslužni roboti izvršavaju postavljene zadatke najčešće u prostorima u kojima borave ljudi pa je potrebno vrlo kvalitetno definirati njihovu međusobnu interakciju, posebno sa stajališta sigurnosti, kako bi se spriječilo da robot nekoga ozljedi ili da dođe do njegova oštećenja. Budući da uslužne robote nije moguće smjestiti u zasebne strukturirane prostore, na njih nije moguće primijeniti sigurnosna pravila koja vrijede za industrijske robote.

U vrlo skoroj budućnosti može se očekivati veliki broj različitih primjena uslužnih robota. Da bi se to ostvarilo potrebno je provoditi koordinirana i integrirana istraživanja i razvoj u okviru mreže korisnika robota, istraživačkih organizacija, proizvođača komponenata i sustava.

## ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNI IZAZOVI U ROBOTICI

Općenito govoreći, očekuje se neprestano poboljšavanje kvalitete robota tako da će oni sve više postajati sustavima koje je lagano stavljati u funkciju, programirati, optimirati te koristiti. Ovo će naravno dovesti i do velikog povećanja njihove primjene, a time i do smanjenja cijene. Osim toga, neophodne su nove tehnologije za osvajanje novih, važnih primjena robota koje se sve više nameću. U nastavku se ukratko obrađuju glavni istraživačko-razvojni izazovi u robotici, koji bi trebali dovesti do ekspanzije primjene robota.

### Mehanika, dinamika i točnost robota

Većina današnjih robotskih manipulatora ima omjer težine i mogućeg opterećenja u redu veličine od 10 do 100. Ovakvo velika masa robota rezultira njihovom velikom tromosti, što

otežava povećanje brzine rada takvih robota (potrebni su snažni motori), a istodobno ih čini neprikladnima za rad u prostorima u kojima su nazočni i ljudi. Potrebno je, dakle, projektirati i izvesti nove robote koji će imati znatno manji omjer težine i opterećenja (idealno oko 1). Ovo zahtijeva potpuno novi pristup projektiranju robota, primjenu novih materijala, novih izvršnih organa (s izravnim prijenosom, bez reduktora), itd.

Robotski manipulatori s optimiranim omjerom težine i opterećenja bit će mehanički elastičniji od današnjih manipulatora. U nekim je slučajevima takva elastičnost poželjna, primjerice u primjenama u kojima je potrebna suradnja robota s ljudima. Mehanički elastični roboti mogu postići sličnu ponovljivost i točnost kao i postojeći roboti samo uz dodavanje novih senzora u kombinaciji s novim metodama upravljanja.

Današnji roboti imaju izvrsna svojstva u smislu ponovljivosti operacija, što je i glavni razlog njihove primjene. Međutim, problem je postizanje visoke točnosti rada pri promjenljivim opterećenjima i/ili temperaturama, trošenju i sl. Da bi se omogućilo povećanje točnosti budućih robota morat će biti opremljeni novim sensorima i naprednim strategijama upravljanja.

### Robusna percepcija

Glavno je ograničenje većine današnjih robotskih sustava u nedovoljnim percepcijskim svojstvima, što otežava njihovu primjenu u manipulaciji nestandardnim objektima. Notorni je problem nedostatka robusnosti u naprednim percepcijskim sustavima, kao što je sustav računalnog vida. Novi sigurnosni koncept za proizvodno okruženje, koji će omogućavati veću interakciju između robota i ljudi, morat će se nužno temeljiti na signalima od inteligentnih senzora. Kod uslužnih je robota ova potreba još izraženija, jer je osim zbog interakcije i koezistencije s ljudima robusna percepcija potrebna i za gibanje robota kroz nepoznati prostor bez sudaranja s drugim objektima i uređajima u njemu. Velika je potreba za novim senzorskim sustavima koji pružaju robusnu 3D informaciju koja se može koristiti za upravljanje i manipulaciju. Pri tome je važno da takvi sustavi budu i prihvatljive cijene. Novi senzorski sustavi uključuju i primjenu novih inteligentnih algoritama za obradbu njihovih informacija. Takvi senzori i algoritmi mogli bi omogućiti optimalno gibanje robota uz izbjegavanje prepreka, pružati operateru informacije o scenariju gibanja robota uz mogućnost interaktivnog programiranja itd.

### Senzorske povratne veze, adaptacija i učenje

Većina današnjih robota je unaprijed programirana za provođenje specifičnih zadataka s precizno definiranim ciljevima, kao što su točnost pozicioniranja, brzina gibanja, praćenje trajektorije i sl. Međutim, sve veća potreba za manipulacijom fleksibilnijim materijalima zahtijeva dodatni stupanj prilagodljivosti robota, i u smislu upravljanja i u smislu novih senzorskih sustava s povratnim vezama. Primjeri takvih primjena su manipu-

lacija prehrambenim proizvodima i montažne operacije, gdje je neophodna visoka prilagodljivost s obzirom na velike promjene proizvoda s kojima robot treba manipulirati. Nove senzorske povratne veze bit će također potrebne u poluautomatskom djelovanju robota, gdje oni potpomažu radnicima u proizvodnom okruženju. Ovo zahtijeva nove metode naprednog upravljanja i (samo)učenja sekvence radnih operacija. Ovakva kombinacija novih senzorskih sustava, naprednih metoda upravljanja i metoda samoučenja postaje sve važnija u novim primjenama robota, osobito kod uslužnih robota koje će koristiti obični građani, koji nisu educirani za rad s robotima.

### Interakcija robota s ljudima

Glavna zapreka bržem i većem proširenju primjene robota jest nepostojanje fleksibilnog sučelja za interakciju s ljudima. Današnji su roboti uglavnom programirani namjenskim programskim jezicima koji zahtijevaju dobru uvježbanost operatera, a i stupanj fleksibilnosti njihova programiranja vrlo je ograničen. Dakle, neophodno je razvijati fleksibilnija sučelja koja će omogućavati primjenu naprednih postupaka interakcije ljudi s računalima i u smislu njihova programiranja i korištenja. Drugim riječima, neophodno je razviti takva sučelja koja će omogućiti da se robotima koriste obični građani uz minimalno (ili nikakvo) vježbanje. Ovo je jedan od najvećih istraživačkih izazova u robotici.

Programiranje robota moglo bi se značajno olakšati, ako bi operater imao na raspolaganju simulacijske modele robota podržane tehnikama virtualne i proširene stvarnosti te grafička korisnička sučelja s on-line dokumentacijom. Ovo bi omogućilo da se smanji potreba za programiranjem, a da se umjesto toga koristi konfiguriranje sustava upravljanja robotom za predviđenu primjenu.

Značajna je potreba za poboljšanjem interakcije robota s čovjekom i u području održavanja i dijagnostike. Idealno bi bilo kad bi robot mogao automatski predviđati svoje kvarove i unaprijed preporučiti operateru koju mjeru da poduzme. Dakle, neophodno je razvijati nove robusne metode preventivnog otkrivanja kvarova, bilo da se zasnivaju na dodavanju novih senzora ili ne, te razvijati intuitivne oblike njihova prikaza, u čemu je također veliki potencijal tehnika virtualne i proširene stvarnosti.

### Mobilnost

Velika većina današnjih robota su stacionarni manipulatori, ali sve je veće zanimanje za dodavanjem mobilnosti ovim sustavima, tako da se u industriji danas standardno primjenjuju mobilni roboti (tzv. autonomna vođena vozila) koji koriste umjetne orijentire za navigaciju u prostoru, što ograničava njihovu primjenu izvan tih prostora. Za rad robota u nestrukturiranim prostorima, bez dodavanja ikakvih orijentira u prostor, razvijaju se autonomni mobilni roboti koji svoju navigaciju u prostoru temelje isključivo na informacijama iz senzora ugrađenih na njima samima. U ovom su području vrlo velika istraživanja, ali još uvijek nema robusnog sustava upravljanja i navigacije autonomnim mobilnim robotima koji bi rezultirao robotom prihvatljive cijene. Naime, potrebno je koristiti više senzora koji su dosta skupi, a algoritmi obradbe informacija ovih senzora kao i algoritmi navigacije robota zahtijevaju veliku procesorsku moć sustava upravljanja, što je također skupo. Vrlo važan istraživački problem kod mobilnih robota jest i razvoj autonomnog izvora energije koji će osigurati što dulje razdoblje njihove autonomnosti. Moguće rješenje ovoga problema nazire se u primjeni gorivnih ćelija, koje se vrlo intenzivno istražuju u automobilskoj industriji.

### Otvoreni računalni sustavi upravljanja i komunikacije

Arhitekture sustava upravljanja i sučelja specifične su od proizvođača do proizvođača. Ovo je velika prepreka u integraciji robota u sustav automatizacije proizvodnog pogona te uzroku-

je povećane troškove i usporava stavljanje pogona u rad. Upravljanje na razini pogona često je strukturirano na centraliziran i hijerarhijski način, što otežava unošenje fleksibilnosti u smislu mijenjanja proizvoda koji se proizvodi. Nameće se potreba za decentraliziranim i otvorenim računalnim sustavima upravljanja koji će omogućiti fleksibilnu integraciju robotskih sustava u proizvodne sustave. Ovo uključuje i razvoj komunikacijskih modela neovisnih o platformama te primjenu novih tehnika programskog inženjerstva.

### Integracija s poslovnim sustavom poduzeća

Kako proizvodni sustavi postaju sve fleksibilniji, povećava se zanimanje za dodatnom integracijom i proizvodnjom po narudžbi. Za udovoljavanje takvim zahtjevima neophodno je integrirati robotske sustave s logističkom i ekonomskom infrastrukturom tvrtke. Ovi sustavi pružaju informacije robotiziranim proizvodnim linijama potrebne za planiranje proizvodnje i radnih operacija svakog robota. S druge strane, stanje proizvodnje, raspoloživost robota i proizvodnih kapaciteta može se slati poslovnom sustavu radi logističkih i ekonomskih planiranja. Ovakva integracija zahtijeva razvoj svih aspekata od komunikacijskih protokola, upravljačkih mehanizama do planiranja i izvještavanja. Očekivani ekonomski dobitci od ovakve su integracije veliki.

## ZAKLJUČAK

U ovome se radu ukoliko opisuje sadašnje stanje robotike te se naznačuju trendovi njezina razvoja u smjeru daljnjeg usavršavanja industrijskih robota te razvoja uslužnih robota koji će se uskoro pojaviti na tržištu i koje ćemo svakodnevno susretati. Analizirani su tržišni zahtjevi koji potiču razvoj novih generacija robota kao i tehnološki napretci u raznim granama industrije koji taj razvoj omogućuju. S obzirom na ogromne tržišne potencijale i na iznimno dinamičan tehnološki napredak, očekuje se da će robotika biti prva industrijska grana dvadeset prvoga stoljeća. Međutim, još je uvijek veliki broj istraživačko-razvojnih izazova za koje treba pronaći rješenja, kako bi se tržište robota proširilo i na nadolazeće predvidive primjene. Ovi izazovi uključuju sve aspekte robotike od mehaničke izvedbe preko sustava upravljanja do programske podrške i integracije cjelovitog sustava. Kvalitetno rješavanje većine istraživačko-razvojnih izazova u robotici zahtijeva više-disciplinarni pristup pa je stoga nužna učinkovita suradnja inženjera raznih struka da bi se razvili tržišno prihvatljivi i konkurentni roboti.

doc. dr. sc. Ivan PETROVIĆ

V. Matko, »Porosity Determination by Using Stochastics Method«, Fig. 6, p. 160



Fig. 6 Four characteristic porous volcanic rock samples of 1 mL in size and 1 g in mass