

robotika u riječi i slici

Uređuje: Mirko Klaić, dipl. ing.

ČOVJEKOLIKI ROBOTI I ROBOTIZIRANO DRUŠTVO

UVOD

Još od prapovijesnoga doba čovjek je bio zaokupljen mišlju o postojanju stroja koji može hodati, govoriti, misliti, slušati i gledati, kao i on sam. Prva se takva kreatura spominje u grčkoj mitologiji kao čuvar i zakonodavac otoka Krete – bio je to div Talos, izrađen od bronce ali s udahnutim životom. Fasciniranost inteligentnim umjetnim kreaturama ljudi modernoga doba iskazuju u znanstveno-fantastičnim knjigama i filmovima u kojima se pojavljuju fiksijski roboti. Ti se fiksijski roboti bez poteškoća gibaju kroz velike i nepoznate prostore i pri tome obavljaju i najsloženije poslove, što naravno nije slučaj sa stvarnim robotima. Riječ *robot* prvi je upotrijebio češki dramatičar Karel Čapek 1920. godine u svojoj utopističkoj drami R.U.R. (*Rossum's Universal Robots*). Sama riječ *robot* potječe od staroslavenske riječi *robot*, što znači rad, odnosno teški rad.

Sposobnosti stvarnih robota još su uvijek daleko ispod sposobnosti fiksijskih robota. Robote zasad uglavnom susrećemo u industrijskim proizvodnim pogonima, gdje zamjenjuju čovjeka u obavljanju dosadnih i/ili opasnih poslova. U primjeni je gotovo milijun industrijskih robota. Od toga je oko 40 % robota u Japanu, približno toliko u Europskoj uniji, a svega oko 15 % u SAD-u. Ti su industrijski roboti uglavnom stacionarni roboti (manipulatori) koji brže i preciznije od čovjeka neumorno izvode unaprijed definirani niz operacija. Manji dio industrijskih robota ima sposobnost gibanja kroz prostor, ali je ono ograničeno na predodređene putanje unutar proizvodnoga pogona, tako da se ne može govoriti o autonomnim mobilnim robotima, već o tzv. autonomno vođenim vozilima (engl. *Autonomous Guided Vehicles*).

Istraživanja u području robotike zadnjih su tridesetak godina dominantno usmjerena razvoju autonomnih mobilnih robota koji se mogu koristiti i izvan stacionarnih, precizno strukturiranih industrijskih prostora. Autonomnost gibanja u nestrukturiranim prostorima jest ono što mobilnu robotiku čini zasebnim istraživačkim područjem. Mobilni se robot treba gibati u velikom nepoznatom i nestrukturiranom prostoru i pri tome potpuno autonomno obavljati postavljene mu zadatke, bez sudara s preprekama u prostoru, bile one statičke (zidovi, stolovi, ormari) ili dinamičke (ljudi, drugi roboti, životinje i sl.).

Mogućnosti su primjene mobilnih robota gotovo neiscrpane, što svakako utječe i na istraživanje i razvijanje raznih arhitektura mobilnih robota. Mobilni bi se roboti mogli razvrstati na različite načine i prema različitim kriterijima, ali se kao osnovna podjela obično uzima podjela po prijenosnom mediju, koja ih razvrstava na zračne, vodene, kopnene i svemirske. Autonomne bespilotске letjelice već sada nalaze primjenu u vatrogastvu i vojnim izvidanjima, ali bi jednoga dana i putnički zrakoplovi mogli biti bez pilota. Slično je i s robotima za primjenu na vodi i u vodi. Autonomni plovni objekti mogu služiti za polaganje kabela, podvodno rudarstvo i slično.

Današnji su uslužni roboti uglavnom rezultat dodavanja većeg stupnja inteligencije industrijskim robotima ili specijaliziranim strojevima s pogonom na kotače. Međutim, sve su značajnija istraživanja u području hodajućih mobilnih robota, jer oni općenito imaju znatno bolja navigacijska svojstva na neravnim

podlogama. Pri tome posebno mjesto zauzimaju dvonožni hodajući roboti čiji je mehanizam hoda sličan čovjekovu. Opravdanje za razvoj čovjekolikih robota jasno proizlazi iz činjenice da od pamtvijeka ljudi prilagođavaju svojim lokomotivskim sposobnostima prostore u kojima borave. U budućnosti se može očekivati da će čovjekoliki roboti biti dominantna kategorija robota u našem okruženju. Sadašnji stvarni čovjekoliki roboti nemaju dovoljnu razinu inteligencije da bi ih se moglo uspoređivati s fiksijskim robotima, ali se može očekivati da će se u budućnosti ta razlika stalno smanjivati. Moglo bi se reći da fiksijski roboti predviđaju (daleku?) budućnost stvarnih robota. U tom smislu može se govoriti o personaliziranim robotima koji će živjeti u zajednici s ljudima, kao njihovi prijatelji i suradnici. Drugim riječima, može se govoriti o budućem društvu kao o robotiziranom društvu.

ČOVJEKOLIKI ROBOTI

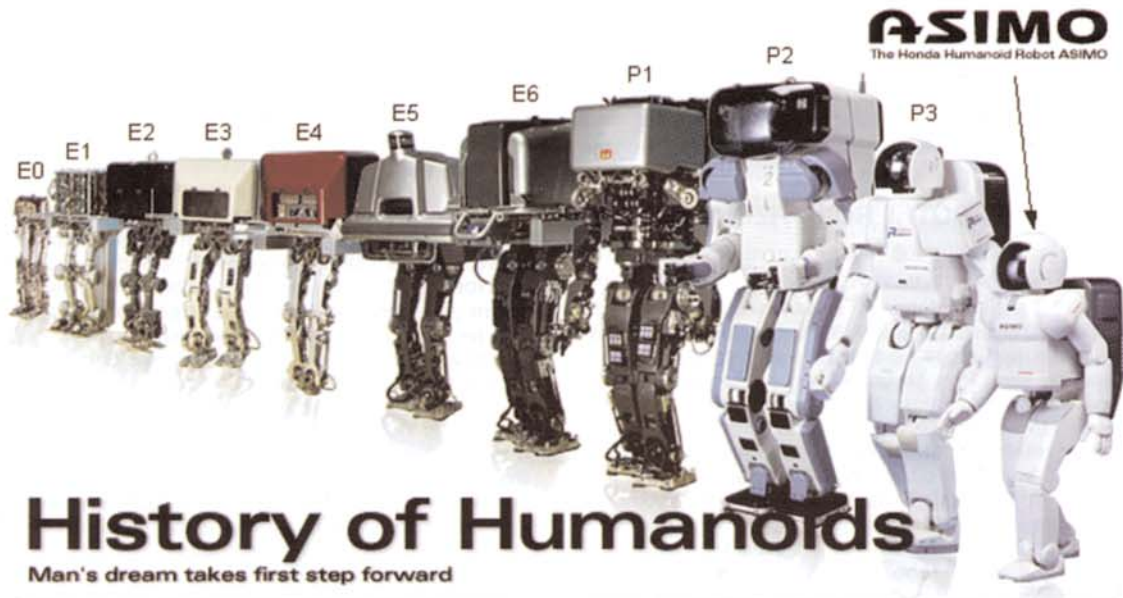
Japanaska je tvrtka *Honda* prva tvrtka koja je pokrenula razvoj čovjekolikih robota. Od 1996. godine počela je javno predstavljati sposobnosti svojih robota i od tada to redovito čini. Uz *Hondu*, koja je u svijetu ne samo prva nego i vodeća tvrtka u razvijanju čovjekolikih robota, i mnoge su se druge tvrtke, kao i istraživačke grupe na sveučilištima širom svijeta, upustile u razvoj čovjekolikih mobilnih robota, s različitim ciljevima i motivima istraživanja. Budući da su japanske tvrtke vodeće u razvoju čovjekolikih robota, u nastavku se prvo daje pregled njihovih robota, a zatim robota razvijenih u drugim dijelovima svijeta.

Čovjekoliki roboti razvijeni u Japanu

Honda, *Sony*, *Toyota* i *Kawada Industries* četiri su najuspješnije japanske tvrtke u razvoju čovjekolikih robota i sa svojim s raznim rješenjima čovjekolikih robota nametnuli standarde koje drugi tek manje ili više uspješno slijede. Stoga prikaz njihovih čovjekolikih robota zaslužuje osobitu pozornost.

Čovjekoliki roboti tvrtke Honda

Razvoj hodajućeg dvonožnog mehanizma započeo je u *Hondi* 1986. godine i neprekidno se odvija s velikim intenzitetom (slika 1). Prvi njihov dvonožni mehanizam E0 omogućavao je održavanje ravnoteže i sporo pravocrtno hodanje na ravnim površinama. Stoga se ne može govoriti o robotu u današnjem smislu te riječi, već o dvonožnom hodajućem mehanizmu, jer mu je za izvođenje novoga koraka trebalo oko pet sekundi. Od tada do danas u *Hondi* je razvijeno deset inačica dvonožnog hodajućeg mehanizma. Mehanizam E0 i njegov sljednik E1 omogućavali su samo spori statički hod (do 0,25 km/h) kod kojega je središte mase robota uvijek unutar područja stabilnosti. Kad je robot oslonjen na jednu nogu, središte mase mu je iznad stopala te noge, a kad je oslonjen na obje noge središte mase mu je iznad pravokutnika koji zatvaraju njegova stopala. Kod generacija E2, E3 i E4 pojavljuje se dinamički hod s brzinom gibanja 1,2 km/h, 3 km/h (odgovara normalnom gibanju čovjeka), odnosno 4,7 km/h (odgovara brzohodnom gibanju čovjeka). Kod dinamičkog hoda središte mase nije ograničeno područjem stabilnosti, već često izlazi i izvan njega, kao i kod čovjeka. Međutim, ti su se mehanizmi, kao i njihovi prethodnici, mogli gibati samo na ravnim površinama. Mehanizmi E5 i E6 imali su sposobnost gibanja po str-



History of Humanoids

Man's dream takes first step forward

Sl. 1. Razvoj čovjekolikih mobilnih robota u tvrtki Honda

mim površinama i stubama, zahvaljujući razvijenom sustavu upravljanja hodom zasnovanom na tzv. ZPM metodi upravljanja (engl. *Zero Moment Point control*). ZPM točka jest točka u kojoj se rezultirajuća sila (kombinacija gravitacijske sile i inercijalnih sila) koja djeluje na robota presijeca s podlogom. Sustav upravljanja robotom usmjerava njegovo gibanje tako da mu ZPM točka uvijek bude unutar područja stabilnosti.

U *Hondi* su 1993. godine na dvonožni mehanizam dodali gornji dio tijela pa se od tada govori o čovjekolikim robotima. Prvi prototip čovjekolikog robota, *Hondin* robot P1, imao je gornji dio tijela i ruke nalik čovjekovima, ali mu glava nije imala oblik čovjekove glave. Robot P1 bio je visok 191,5 cm i težak 175 kg. Imao je sposobnost paljenja i gašenja svjetla,

hvatanja kvake na vratima i nošenja predmeta. Glavnina istraživanja koja su na njemu provedena odnosila se na koordinaciju pokreta ruku i nogu. Njegov sljednik, robot P2, prvi je čovjekoliki robot koji je imao javni nastup, bilo je to u prosincu 1996. godine. Taj je robot bio visok 182 cm i težak 210 kg. U trupu je nosio računalno pretvarače za pogonske motore, baterije za napajanje, sklop za bežičnu komunikaciju s glavnim računalom smještenim u sobi iza scene, koje je izvodilo glavne upravljačke algoritme za hodanje, uzimanje predmeta, penjanje uz stube i ostale autonomne operacije. Dakle, robot za sobom nije »vukao« nikakve kabele, što je gledateljstvu izgledalo vrlo impresivno, pogotovo jer je prilično realistično ostvarivao čovjekoliki hod. Naravno, veliko je ograničenje bila njegova prevelika težina. Sljednik robota P2 bio je robot P3,



Sl. 2. Robot Honda ASIMO silazi niz stube



Sl. 3. Dva Honda ASIMO robota prikazuju izvođenje kaznenog udarca na natjecanju Robo Cup 2002

prvi potpuno neovisan čovjekoliki robot, koji je na sebi nosio i glavno upravljačko računalo. Njegova je promocija bila samo devet mjeseci nakon promocije robota P2. Bio je visok 160 cm i težak 130 kg, dakle i niži i lakši od robota P2, što je rezultat primjene novih materijala izradbe i decentralizacije sustava upravljanja. Taj je robot već imao obilježja koja su ga činila prikladnim za gibanje u prostorima u kojima se standardno gibaju ljudi.

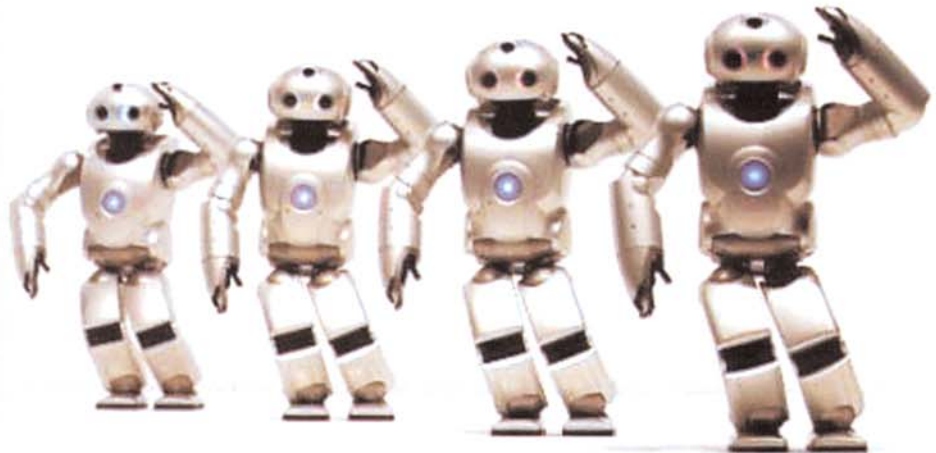
Honda je 2000. godine javno predstavila svog novog čovjekolikog robota pod nazivom ASIMO (slike 2 i 3). U odnosu na prethodnika ASIMO je i niži i lakši. Visok je svega 120 cm, a težak samo 52 kg. Odlukuje se većim stupnjem čovjekolikoga izgleda, sofisticiranijim hodom te prirodnijim gibanjem gornjega dijela tijela, što je postignuto s 26 stupnjeva slobode gibanja. Honda je za ASIMO razvila novu inteligentnu, fleksibilnu tehnologiju hoda pod nazivom *i-Walk*. Njezina je osnovna značajka prediktivno upravljanje hodom, što omogućuje ASIMO-u predviđanje sljedećeg koraka u stvarnome vremenu te na osnovi toga pomicanje središta mase prije stvarnoga izvođenja koraka. Ova tehnologija hoda omogućuje ASIMO-u mijenjanje smjera i brzine hoda te svladavanje stuba u stvarnome vremenu. ASIMO je prvi robot kojemu nije potrebno unaprijed isprogramirati putanju i slijed koraka. Slobodno gibanje ASIMO-a potaklo je vodstvo tvrtke da pripremi 20 ASIMO robota za iznajmljivanje. Neki su od njih već u funkciji u ulozi vodiča u muzejima i tvrtkama, a neki u ulozi recepcionara.

Čovjekoliki roboti tvrtke Sony

Japanska je tvrtka Sony uz Hondu najistaknutiji proizvođač hodajućih personaliziranih robota, ali ona ima drugačiju strategiju razvoja robota. Dok Honda nastoji razviti čovjekolikog ro-



Sl. 4. Robot Sony SDR-3X igra nogomet



Sl. 5. Roboti Sony SDR-4X plešu

bota opće namjene koji bi djelovao kao prijatelj i suradnik ljudima, Sony se usmjerio na razvoj zabavnih robota. Sony je svoj prvi robot AIBO, inteligentni psetoliki »kućni ljubimac«, predstavio 1999. godine, a godinu dana kasnije predstavio je i svoj prvi čovjekoliki robot SDR-3X (slika 4) iz kojega je kasnije razvijen robot SDR-4X (slika 5) te sadašnji QRIO čovjekoliki robot (slika 6). QRIO je čovjekoliki robot manjih dimenzija od ASIMO-a, prije svega namijenjen zabavi. Po lokomocijskim je sposobnostima sličan ASIMO-u. Za upravljanje gibanjem također se koristi ZPM metoda koja mu daje sposobnost laganog trčanja.



Sl. 6. Robot Sony QRIO s loptom



Sl. 7. Čovjekoliki robot tvrtke Toyota

Čovjekoliki robot tvrtke Toyota

Toyota razvija četiri vrste robota: 1. za brigu o bolesnicima, 2. za rad u tvornicama, 3. za nošenje hendikepiranih osoba (hodajuća invalidska kolica) i 4. za zabavu. *To-yotin* čovjekoliki robot (slika 7) namijenjen je poglavito pomaganju bolesnicima. Sve-ukupno gledajući, *Toyotin* hodajući robot ima značajnih prednosti u odnosu na *Hondi-ne* robote. Njegove su noge manje iskrivljene u koljenu u odnosu na ASIMO-ove pa mu i hod izgleda prirodnije. Sposoban je micati svojim umjetnim usnama sa sličnom finoćom kao čovjek, a ima i iznimno spretne ruke i prste tako da može svirati trubu ili bubanj. Toyota je najavila uvođenje cijeloga orkestra tijekom ove godine.

Čovjekoliki robot HRP tvrtke Kawada Industries

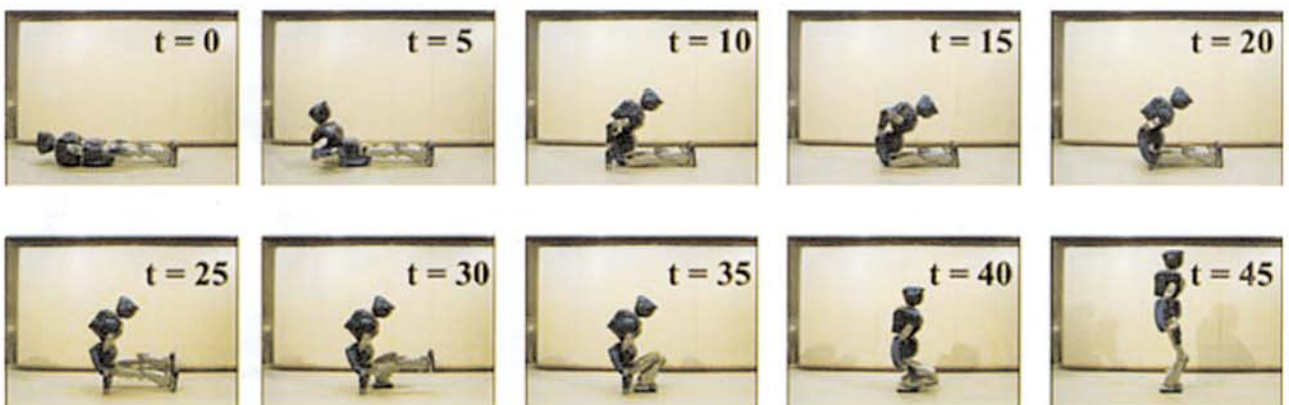
HRP robot (slika 8) debitirao je na Robodexu 2002. godine. Visok je 154 cm, a težak 58 kg te ima 30 stupnjeva slobode gibanja. Temeljni je cilj ovoga projekta razvoj čovjekolikog robota koji bi trebao raditi u okruženjima u kojima radi čovjek te se koristi istim alatima i strojevima (slika 9). U usporedbi s ASIMO-om HRP ima više prednosti. Kao prvo, HRP može leći i sam ustati (slika 10), što ne može učiniti niti jedan drugi čovjekoliki robot njegovih dimenzija. To postiže zahvaljujući fleksibilnom tijelu koje se može pregibati. Nadalje, vretenasta izvedba nogu omogućuje mu postavljanje jedne noge ispred druge pa HRP može hodati po gredi i prolaziti kroz vrlo uske prolaze.



Sl. 8. HRP robot tvrtke Kawada Industries



Sl. 9. HRP robot upravlja građevinskim strojem



Sl. 10. Sekvenca ustajanja HRP robota

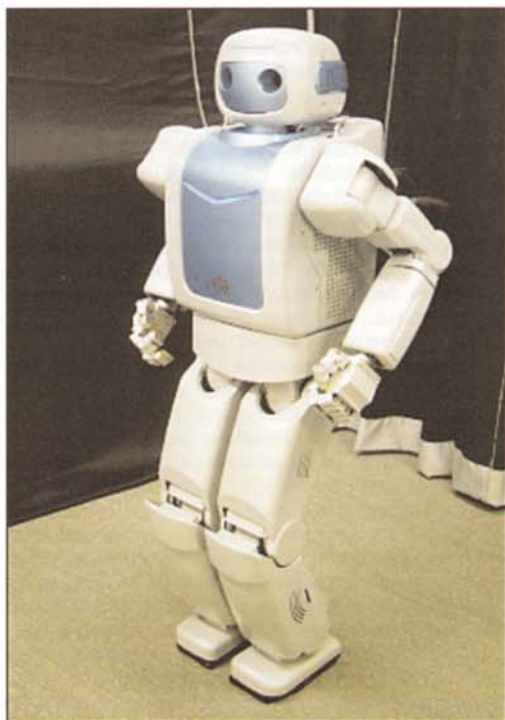
Čovjekoliki roboti razvijeni izvan Japana

Tvrtka *New Era* iz Sankt Petersburga razvila je, u suradnji sa studentima tamošnjeg Politehničkog sveučilišta, par čovjekolikih robota ARNE (muškarac, slika 11) i ARNEA (žena). Roboti su visoki 123 cm i teški 61 kg. Vrlo su slični *Hordinu* ASIMO-u, ali s nešto slabijim performansama.

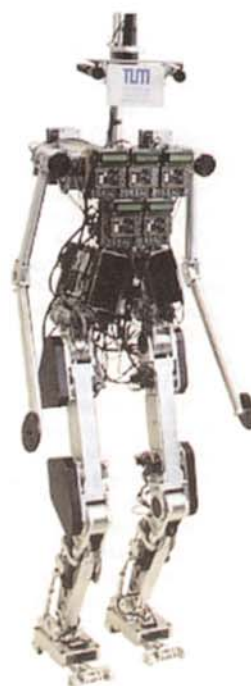


Sl. 11. Ruski robot ARNE

Korejski institut KAIST (*Korea Advanced Institute of Science and Technology*) razvio je skupinu tzv. KHR robota (slika 12). Programski i upravljački dio KHR robota na razini je japanskih robota, ali sklopovski dio pomalo zaostaje. Robot je visok 150 cm i težak 67 kg.



Sl. 12. KHR robot korejskog instituta KAIST



Sl. 13. Čovjekoliki robot Johnnie razvijen na Tehničkom sveučilištu u Münchenu

Na Tehničkom je sveučilištu u Münchenu razvijen čovjekoliki robot Johnnie (slika 13) – najkvalitetniji čovjekoliki robot u Europi. Johnnie je visok 180 cm, težak 40 kg i ima 17 zglobova.

GLAVNI ISTRAŽIVAČKO-RAZVOJNI IZAZOVI

Dvadesetogodišnji istraživački naponi doveli su do pojave čovjekolikih robota koji mogu autonomno svladavati stube i obavljati neke jednostavnije radnje. Međutim, tek se sada otvaraju i ukazuju glavni istraživački problemi u razvoju stvarno autonomnih čovjekolikih robota, sposobnih obavljati većinu poslova koje danas obavlja čovjek. Svakako je najveći izazov usavršiti dvonožni hodajući mehanizam i povećati spretnost robotâ te povećati njihove percepcijske i komunikacijske sposobnosti.

Usavršavanje dvonožnog hodajućeg mehanizma

Unatoč velikim napretcima u razvoju dvonožnih hodajućih mehanizama, istraživačima je još uvijek veliki izazov razviti dvonožni mehanizam koji je sposoban trčati. Današnji motori i aktuatori ne mogu svladavati opterećenja koja se pojavljuju pri trčanju. Da bi se postiglo trčanje, potrebno je prevladati dva velika problema. Prvi je postizanje visoke točnosti skoka uz mekani doskok, a drugi je sprječavanje klizanja i zanošenja robota pri većim brzinama gibanja. Dakle, robot mora biti sposoban ponavljati pokrete odvajanja od tla, zamahivanja nogom naprijed, spuštanja noge na tlo unutar vrlo kratkog ciklusa i bez kašnjenja te apsorpcije kratkotrajnih udara pri spuštanju noge na tlo. Klizanje i zanošenje robota pojavljuje se neposredno prije odvajanja noge od tla i neposredno nakon njezinog spuštanja na tlo, a posljedica je smanjene sile u kontaktu stopala i tla.

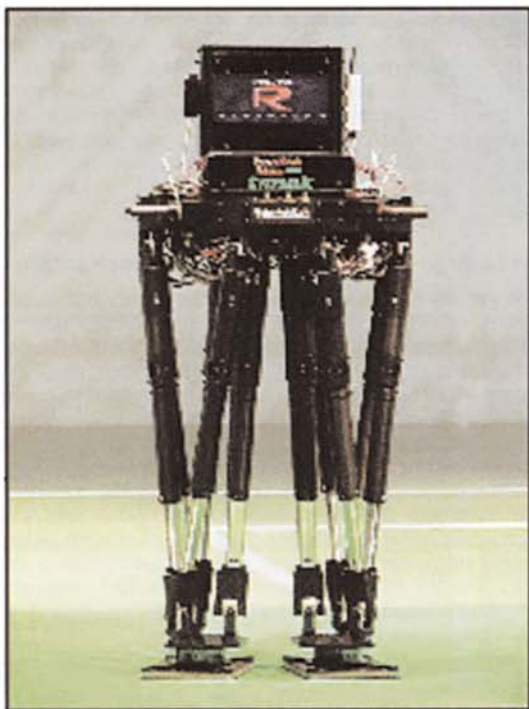
Honda je 15. prosinca 2004. godine predstavila robot ASIMO druge generacije, koji postiže brzinu trčanja 3 km/h uz pedeset milisekundne intervale kada su mu obje noge u zraku. Ovo odgovara laganom trčanju prosječnog čovjeka. Novi je

ASIMO visok 130 cm i težak 54 kg, a poboljšanje lokomotivskih svojstava u odnosu na njegova prethodnika postignuto je povećanjem broja stupnjeva slobode gibanja s 26 na 34 te rotacijom bedrenih članaka pri zamahivanju nogom naprijed, čime se poništava reakcijska sila.

Znanstvenici također istražuju i razne nove pristupe dvonožne hodu koji bi mogli osigurati još kvalitetniji i sigurniji hod čovjekolikih robota. Primjerice, istraživačka grupa profesora Atsuo Takanishija sa Sveučilišta u Wasedi u Japanu razvila je dvonožni mehanizam WL-15 (slika 14) kod kojeg se gibanje ostvaruje paralelnim mehanizmom članaka, umjesto serijskog mehanizma primijenjenog kod ostalih robota. Serijski mehanizmi hoda robota kopiraju gibanje čovjeka, zamjenjujući kosti člancima, a mišiće aktuatorima. Gibanje se prenosi serijski od kuka preko koljena do gležnja. Međutim, u čovjeka veći broj mišića paralelno povezuje zglobove, tako da čovjek ima kombinaciju serijskog i paralelnog mehanizma. Jedna se noga u mehanizmu WL-15 sastoji od tri skupa od po dva cilindra. WL-15 nema koljena, već se gibanje izravno prenosi od kukova do gležnjeva. WL-15 se može zakrenuti za 90° u dva koraka, to jest za dvije sekunde. Svaki je cilindar pogonjen zasebnim aktuatorom pa je opterećenje po aktuatoru manje nego kod serijskih dvonožnih mehanizama. Prema tome, u odnosu na serijske mehanizme paralelni mehanizmi mogu nositi teže terete uz manja opterećenja aktuatora. Veliki je nedostatak današnjih hodajućih mehanizama što robotima ne omogućuju nošenje većih tereta. Primjerice, ASIMO u ruci može nositi teret do 1 kg. Hodajući mehanizam WL-15 zamišljen je kao platforma za razvoj hodajućih invalidskih kolica, ali će sigurno potaknuti i razvoj kombiniranih serijsko-paralelnih hodajućih mehanizama za čovjekolike robote.

Poboljšanje percepcijskih i komunikacijskih sposobnosti robota

Primjene su robota u najvećoj mjeri ograničene njihovim skromnim percepcijskim sposobnostima. Dok god roboti ne mogu gledati prostor i u njemu prepoznati predmete onako



Sl. 14. Paralelni hodajući mehanizam WL-15

kako to čine ljudi, teško je očekivati njihovu primjenu u uistinu nestrukturiranim prostorima. Primjerice, teško je očekivati od »slabovidnih« robota da očiste kupaonicu, da voze automobil i sl. Glavna su ograničenja u razvoju općeg, fleksibilnog algoritma robotskog vida nedovoljna računarska moć današnjih procesora i nepostojanje univerzalnih algoritama obradbe slike. Ako se razvoj procesora i dalje bude odvijao prema Mooreovu zakonu, za dvadesetak godina se mogu očekivati dovoljno moćni procesori. U tom će razdoblju, vjerojatno, i intenzivna istraživanja u području obradbe slike rezultirati zadovoljavajućim algoritmima obradbe slike. Upravo bi ta postignuća mogla označiti početak pravog robotiziranog društva u kojem bi se hodajući roboti mogli pojavljivati svuda oko nas.

Boravak robota u prostorima u kojima borave ljudi zahtijeva uspostavljanje što prirodnije komunikacije među njima. Naime, robotima se moraju moći koristiti i osobe niske naobrazbe i nedovoljno razvijenih komunikacijskih sposobnosti. Više je načina uspostave komunikacije između robota i ljudi, ali je najprirodnija komunikacija putem govora. U svijetu se vrlo intenzivno istražuju područja obradbe govora koja će svoju značajnu primjenu zasigurno naći u robotici. Današnji roboti razumiju nekoliko odabranih fraza, ali bi se za manje od dvadeset godina mogli pojaviti roboti koji bez problema razumiju i govore nekoliko jezika.

ROBOTIZIRANO DRUŠTVO

Znanstvenici procjenjuju da smo na pragu intenzivnoga razvoja nove industrije koja bi način života na Zemlji mogla iz temelja promijeniti. Japan će zasigurno biti prva država (društvo) gdje će ljudi i roboti zajedno živjeti. U tom će smislu Japan poslužiti kao ispitni poligon novih društvenih odnosa u kojima će se ljudi morati privikavati na nove »sugrađane« i »ukučane«. Je li robotska revolucija započela? Ako jeste, kamo nas vodi? Jesmo li je svjesni? Trebamo li je biti svjesni? Koje su posljedice? Što nam je činiti? Sve su to pitanja koja znanstvenici širom svijeta postavljaju sebi i drugima, kako bi predvidjeli razvoj čovječanstva. U pokušaju davanja odgovora na ta pitanja poslužit će se esejom *Robotic Nation* Marshalla Braina (<http://marshallbrain.com/robotic-nation.htm>), a njegove će spoznaje i razmišljanja o budućnosti američkoga društva pokušati proširiti na europske okvire kojima pripada i naše hrvatsko društvo.

Svi smo se već priviknuli na bankomate. Gotovo nitko više ne ide u banku podići novac. Sve je više i automata za kavu, sokove, sendviče ili slatkiše. Gotovo da nema benzinske postaje na kojoj nam djelatnik nalijeva gorivo. Vjerojatno uskoro neće biti niti djelatnika kojemu ćemo plaćati gorivo. I to ćemo činiti na automatu postavljenom na postaji. Prvi takvi automati već su ugrađeni na nekim benzinskim postajama u Zagrebu. Na automatima ćemo kupovati i putne karte za zrakoplove, vlakove i autobuse. Vjerojatno će već za desetak godina i u većini velikih supermarketa biti uvedena potpuno automatizirana manipulacija proizvodima i njihova naplata. Svaka će polica biti označena etiketom i bar kodom, što će omogućavati mobilnom robotu postavljanje proizvoda na police te njihovo uzimanje s polica. Relativno jednostavni sustav računalnog vida dovoljan je za obavljanje ovoga posla. Već današnje stanje i razvoj tehnologije omogućuje takve primjene. Robotski će sustavi voditi kupce u velikim robnim kućama, automatizirat će se naručivanje hrane u većini restorana (npr. ugrađenim računalnim sustavom u svakom stolu), itd. Ti su sustavi jednostavni za korištenje i ljudi će ih rado prihvatiti, a uz to znatno smanjuju troškove poslovanja. Međutim, problem je što će te promjene dovesti do gubitka velikog broja radnih mjesta, jer su to djelatnosti u kojima je uposleno mnogo ljudi i koje automatizacija još uvijek nije dotaknula. Sve će se te promjene dogoditi vrlo brzo, a tvrtke koje ne provedu automatizaciju svojih trgovina izgubit će na konkurentnosti. Marshall predviđa da će do 2015. godine te promjene samo u Sjedinje-

nim Američkim Državama dovesti do gubitka preko 10 milijuna radnih mjesta. Zatvaranje takvih radnih mjesta dogodit će se i u Hrvatskoj, ali vjerojatno ne tako brzo. Sasvim pouzdano možemo govoriti o nadolasku automatiziranog društva, koje označava samo početak robotske revolucije i robotskog društva.

Desetljeća istraživačkoga rada i razvoja autonomnih mobilnih robota u svim aspektima, od pogonskih mehanizama, preko senzorskih sustava i umjetne inteligencije početi će uskoro davati prve rezultate i otplaćivati uložena sredstva. Marshall procjenjuje da će već 2025. godine postojati roboti koji će moći gledati, slušati i raditi mnoge poslove na približno istoj razini na kojoj to čine ljudi. Ti roboti neće moći razmišljati kreativno kao ljudi, ali će biti dovoljno inteligentni da mnoge poslove mogu obavljati jednako uspješno kao i ljudi.

Čovjekoliki će roboti prije ili kasnije biti jeftiniji od prosječnog automobila, a s povećanjem broja primjena njihova će cijena i dalje padati. Tipičan će model imati dvije ruke, dvije noge i osjetila vida, sluha i opipa, slično kao čovjek. Za napajanje će se koristiti male obnovljive gorive ćelije, čime će se postići dulje vrijeme autonomnosti. Pretpostavlja se da će čovjekoliki roboti biti najzastupljeniji, jer se oblikom najbolje uklapaju u prostore koje čovjek gradi za sebe. Takav će robot bez poteškoća moći koristiti dizala, stube, voziti automobil i obavljati mnogo drugih poslova koje danas obavlja čovjek.

Jedanput, kad čovjekoliki robot postane standardna »roba«, početi će zamjenjivati ljude i na mnogim radnim mjestima. Prvi val zamjene očekuje se negdje oko 2030. godine, kad bi roboti mogli preuzeti poslove posluživanja u restoranima brze prehrane, kućepaziteljstva i čišćenja u hotelima, zračnim lukama, supermarketima i zabavnim parkovima, ali i poslove čišćenja i pospremanja u kućanstvima, itd. Tada bi cijena tipičnog čovjekolikog robota mogla iznositi negdje oko 10 000 USD. Jedan robot moći će zamijeniti 2–3 radnika i ta će se investicija isplatiti za samo 3–4 mjeseca. Robot bi mogao trajati nekoliko godina i uz malo sreće uspješno raditi 24 sata dnevno. Osim toga roboti će veliki broj poslova obavljati kvalitetnije od ljudi. Nije teško zaključiti da će tvrtke kupovati čovjekolike robote kao zamjenu za uposlenike.

Marshall predviđa da bi za pedesetak godina roboti mogli biti svuda oko nas te da će u SAD-u biti preko 50 % nezaposlenih građana. Gotovo svaki posao koji danas zahtijeva prosječne ljudske sposobnosti obavljat će roboti. U restoranima će kuhari hranu, čistiti i uzimati narudžbe. Na gradilištima će obavljati sve građevinske poslove, od betoniranja, zidanja i ugrađivanja prozora i vrata do postavljanja krovova i unutarnjeg i vanjskog uređivanja. U zračnim će lukama roboti održavati čistoću, prodavati karte, nositi prtljagu, nadzirati sigurnost te upravljati zrakoplovom. Na cestama će voziti automobile i

kamione. U bolnicama će voditi brigu o pacijentima, kuhari i raznositi hranu, održavati čistoću, itd.

Marshallova su predviđanja mnoge zabrinula, a mnogi ih i ne prihvaćaju, jer drže da za pedeset godina još neće postojati tako inteligentni čovjekoliki roboti. Marshall, međutim, podsjeća da je bilo malo onih koji su 1900. godine vjerovali da će ljudi ikada poletjeti, a samo pedeset godina kasnije ljudi su letjeli nadzvučnim zrakoplovima, a još dvadeset godina kasnije sletjeli su i na Mjesec. Po njemu, isto će se dogoditi i s robotima.

Prema Marshallu će roboti, dakle, preuzeti mnogobrojna radna mjesta i neće biti povratka. Veliki je problem što će se ove značajne promjene dogoditi u iznimno kratkom vremenskom razdoblju, što bi moglo imati teške posljedice osobito za današnji gospodarski razvijeni dio svijeta. U prošlosti su velike gospodarske promjene uvijek sa sobom donosile i zatvaranje mnogih radnih mjesta, ali su istodobno otvarale i nova radna mjesta. Primjerice, kad je Henry Ford počeo prodavati automobil Model T 1909. godine, rođena je automobilska industrija koja je stvorila milijune novih radnih mjesta. Marshall, međutim, tvrdi da se s robotskom industrijom to neće dogoditi.

Zašto nove tvrtke za proizvodnju robota neće stvarati veliki broj novih radnih mjesta koja bi mogla nadomjestiti radna mjesta izgubljena primjenom robota? Roboti će sastavljati robote pa neće biti potrebe za ljudskim radom. Čak i ako u sklapanje robota dijelom budu uključeni i ljudi, to će se događati u Kini, Rusiji, Indoneziji, Koreji, Meksiku, jer su troškovi ljudskoga rada u tim državama daleko niži negu u SAD-u i Europi. Isto će se dogoditi i s programerskim i inženjerskim poslovima. I oni će se preseliti u navedene države. Novih radnih mjesta neće biti ni u prodaji, jer će se ona odvijati putem Interneta. Ljudi će kupovati robote, kao što danas kupuju knjige.

Teško je sa sigurnošću reći hoće li se ostvariti Marshallova ne odveć optimistična predviđanja ili će inteligentni čovjekoliki roboti doprinijeti daljnjem napretku ljudske civilizacije. U svakom slučaju to su dvojbe koje zaokupljaju čovjeka modernoga doba. Po mome osobnome mišljenju, ispunjenje tih predviđanja ovisit će o prioritetima koje će razvijene zemlje postaviti u svome razvoju. Ostane li profit multinacionalnih korporacija na prvome mjestu prioriteta, opasnosti ostvarenja Marshallovih predviđanja prilično su realne.

prof. dr. sc. Ivan PETROVIĆ
Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za automatiku i procesno računarstvo
Unska 3, 10000 Zagreb