

RAZVOJ KRETANJA ROBOTA

DEVELOPMENT OF ROBOT MOVEMENT

Prof.dr.sc. Gojko Nikolić

Sveučilište u Zagrebu, Tekstilno-tehnološki fakultet, Zagreb, Hrvatska

SAŽETAK

Kod konstrukcije humanoidnih robota kretanje poput čovjeka jedan je od tehnički najsloženijih problema. Različiti su pristupi i rješenja od mehanički pokretanih ekstremiteta s elektromotorima do primjene pneumatskih, odnosno fluidičkih mišića. Pri tome se primjenjuju različita domišljata rješenja niza zračnih komora. Ona omogućavaju mekoću pokreta čime se približavaju ljudskim. Nova rješenja idu u smjeru korištenja plastičnih kostura s elektroaktivnim gelovima, koji se mijenjanjem volumena pod električnim naponom ponašaju poput mišića. Na taj način pomiču plastični ili metalni skelet sličan čovjekovom. Taj pravac razvoja najviše obećava.

Ključne riječi: *fluidni mišići, elektraktivni gelovi, kretanje robota, Moravecov paradoks*

ABSTRACT

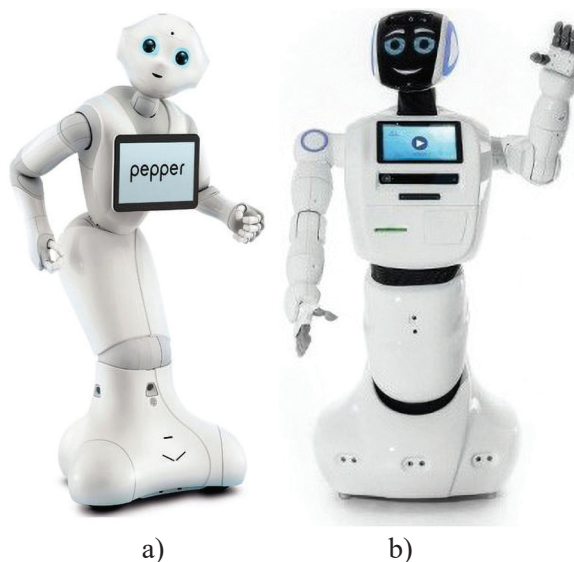
In the construction of humanoid robots, human-like movement is one of the most technically complex problems. There are different approaches and solutions from the implementation of electric-motors-driven limbs to the utilization of pneumatic or fluidic muscles. In the case of pneumatic muscles, an imaginative solution that applies series of air chambers. They allow soft movements that remind those of humans. New innovative solutions are moving towards the use of plastic skeletons with electro-active gels, which behave like muscle by changing their volume with the change of voltage. In this way they move a plastic or metal skeleton like one of a human being. This direction of development is the most promising one.

Keywords: *fluidic muscles, electroactive gels, robot movement, Moravec's paradox*

1. UVOD

1. INTRODUCTION

Gruba podjela robota na industrijske i servisne, odnosno uslužne, povezana je s njihovom primjenom. Industrijski su isključivo korišteni u procesima proizvodnje s uglavnom unaprijed definiranim programima rada. Uslužni roboti namijenjeni su radu s ljudima i u stalnom su doticaju s njima. To su roboti koji se koriste za razne poslove u medicini, uredu, školi, kod kuće, restoranima i prodavaonicama i prometu. Među njih spadaju i koboti (cobots), roboti koji zajedno s radnicima rade na istom poslu, poprimaju različite oblike, pa mogu biti i jedinstvena integracija čovjeka s robotom (robotizirani egzoskeleti).



Slika 1 Uslužni roboti s kretanjem pomoću kotača
a) Francuski robot Pepper [1],
b) Ruski robot Promobot [2]

Figure 1 Utility robots with wheeled motion
a) French robot Pepper [1],
b) Russian robot Promobot [2]

2. PROBLEM KRETANJA ROBOTA

2. ROBOT MOVEMENT ISSUE

Kretanja robota su vrlo kompleksna i nisu još jednostavno ostvariva. Većina današnjih servisnih robota, bez obzira koje su vrste ili namjene, su uglavnom stacionarni ili pokretni preko kotača na postolju, slika 1. Taj način kretanja je prihvatljiv kada se radi o poslovima koji su uglavnom vezani za točno određeno radno mjesto, ili za definiran prostor iste razine. Međutim roboti u bolnicama, uredima, robnim kućama i restoranima ili u kućama gdje skrbe za bolesne i nemoćne, rade u prostorima predviđenim za ljude, često s više razina povezanih stepenicama. Oni se moraju prilagoditi takvom prostoru. Zato roboti trebaju poprimiti način kretanja poput čovjeka što je tehnički izuzetno teško realizirati. Iako postoje i druga rješenja, noge kakve ima čovjek su rješenje za uspinjanje ili silazak stepenicama. To rješenje je primjereno ako se želi da robot bude sličan čovjeku. Rješavanje kretanja s dvije noge je složeno jer se treba riješiti niz problema nastalih promjenom težišta kod kretanja, osigurati stabilnost na jednoj nozi, orijentaciju, prepoznavanje prepreka i predmeta kao i niz drugih izuzetno složeno tehničkih problema. Ljudi i druga živa bića to rade savršeno i potpuno nesvjesno. Pojedini misaoni procesi kod kojih se čovjek svjesno mora angažirati, tehnički (računalima) su relativno lako rješivi. To objašnjava Moravecov paradoks, nazvan po Austrijancu Hansu Moravecu (1948. Kautzen, Austrija) koji je na tome radio u timu s Rodneyem Brooksom i Marvinom Minskim poznatim istraživačima umjetne inteligencije i robotike. [3]

Moravecov paradoks ukazuje da rasuđivanje visoke razine zahtijeva vrlo malo računanja, ali jednostavne senzorske sposobnosti zahtijevaju ogromne računalne resurse. Moravec navodi da je „relativno lako napraviti računala koja pokazuju rezultate na razini odraslih prema testovima inteligencije ili za igranje šaha, međutim izuzetno je teško realizirati im vještine jednogodišnjaka kada je riječ o percepciji i mobilnosti“. To je tzv. „obrnuti inženjering“ po kojemu je najteže realizirati nesvjesne vještine koje naši mozgovi obavljaju savršeno i nesvjesno. Čovjek nesvjesno hoda što je tehnički vrlo teško realizirati kod robota jer takva kretanja zahtijevaju ogromne

računalne resurse. Potrebno je, kako je rečeno, osim koordinacije pokreta, osigurati stalnu ravnotežu, usmjeravanje prema objektu, osigurati stabilnost, a to je posebno teško kod hodanja po stepenicama. S druge strane kako ističe Moravecov paradoks visoka razina kognitivnih sposobnosti poput zaključivanja (npr. izrada složenih matematičkih proračuna) zahtijeva vrlo malo računalnih resursa.

To se može objasniti rezultatom evolucije kod živih organizama, sisavaca i posebno primata. Tijekom evolucije unapređivale su se vještine kretanja, prostorne orijentacije i procjene prostornih položaja, odnosno manipulacije u prostoru. To je milijunima godina razvijano evolucijom u stalnoj borbi za preživljavanjem. Nevjerojatno je dobro biološki dotjerano u perceptivnim i motoričkim područjima mozga da se sve automatski odvija lagano i bez umnog naprezanja. Ti procesi nisu povezani s inteligencijom. Što je vještina starija ona je više dotjerana, bilo da je povezana s percepcijom, pažnjom, vizualizacijom, motoričkim vještinama, društvenim vještinama i slično. Ono što danas definiramo kao inteligenciju inicirano je razvojem čovjeka korištenjem misli za obradu stvarnosti pred oko 100 tisuća godina te je još u fazi razvoja i s njom nismo do kraja evolucijski ovladali. Neki primjeri vještina koje su se relativno nedavno pojavile spadaju u područja: matematike, inženjerstva, ljudske igre, logike i znanstvenog razmišljanja. Vještine nisu dosegle razinu kakvu je postiglo tijelo za sposobnost življenja i preživljavanja. To znači da vještine koje čovjek obavlja bez napora tehnički je zahtjevno uspješno imitirati, i obrnuto vještine koje zahtijevaju intelektualni napor uglavnom nisu teške za projektiranje. [3]

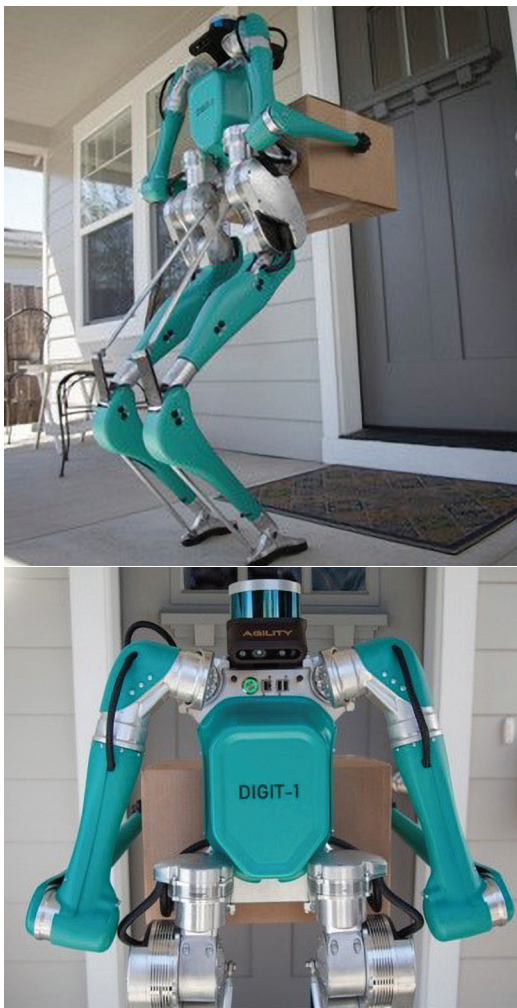
3. RJEŠENJA KRETANJA ROBOTA

3. ROBOT MOVEMENT SOLUTIONS

Kako je već rečeno zadatak uslužnih robota je suradnja s čovjekom na njegovom radnom mjestu, stoga se moraju kretati u okruženju koje je napravljeno po mjeri i mogućnostima čovjeka. Bez obzira na prikazane poteškoće nužno je projektiranje robota prema čovjeku.

Trebaju se kretati i obavljati poslove kao čovjek, biti njegove veličine i imati druge ljudske sposobnosti. Bitna je orijentacija, prostorna percepcija, prepoznavanje objekata i osoba, visinskih prepreka. Moraju se moći penjati ili spuštati stepenicama, hvatati rukama predmete s adekvatnim silama držanja itd.

Primjer mehaničkog rješenja kretanja s dvije noge kao i hvatanja s rukama prikazani su kod novog robota za dostavu paketa na kućne adrese, slika 2. [4] Ostvaruju se grubi i nespretni pokreti.

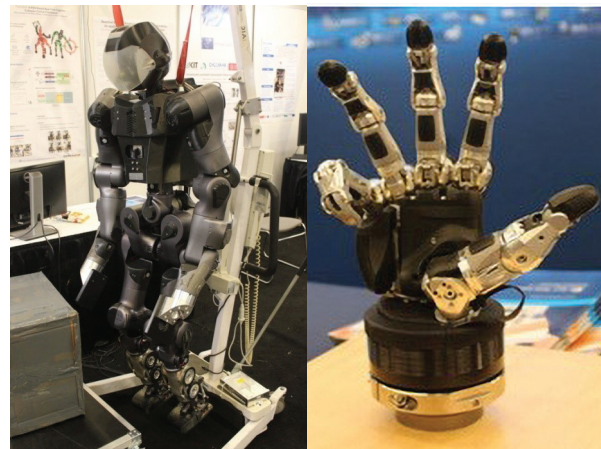


Slika 2 Robot za dostavu paketa do kuće [4]

Figure 2 Home delivery package robot [4]

Kod robota koji su do sada koristili noge i ruke, gibanja su ostvarivana su koračnim elektromotorima, bili su masivne konstrukcije, vrlo nespretnih i grubih pokreta, slika 3.

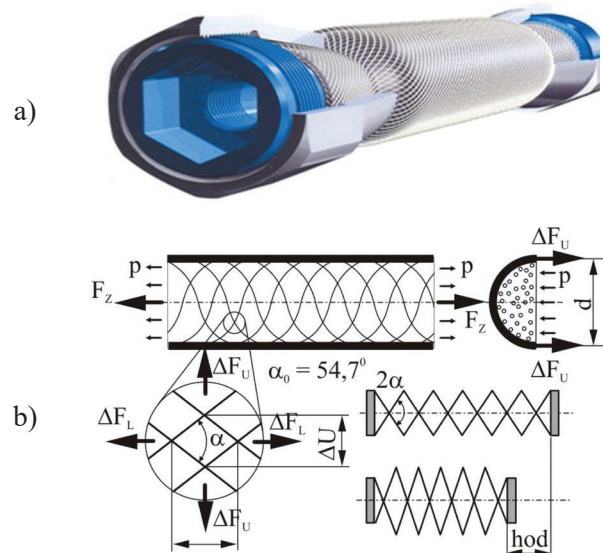
Razvoj robota usmjeren je prema imitaciji čovjeka, ne samo po izgledu, već i po načinu pomaka udova korištenjem „kostura“ i „mišića“.



Slika 3 Rješenja udova robota izvedena mehaničkim sustavima [5]

Figure 3 Robot limb solutions by use of mechanical systems [5]

Sve češće se koriste „pneumatski (fluidički) mišići“, a kostur se izrađuje od laganih metala ili određene vrste plastike (poput poliamida PAM) tehnikom 3D tiska. Ti „mišići“ su gumene cijevi opletene metalnom mrežicom koja se pod pritiskom stlačenog zraka širi i na taj način skraćuje, slika 4. Pojava je vrlo slična radu mišića.



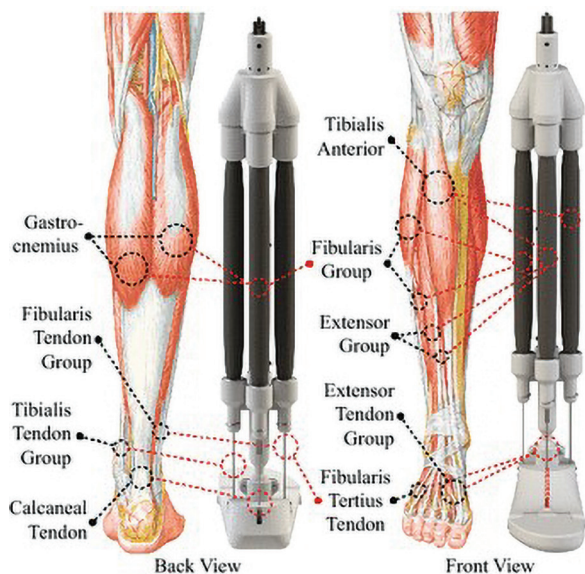
Slika 4 Fluidički mišić njemačke tvrtke Festo

a) Izgled,
b) Načelo rada [6]

Figure 4 Fluid muscle made by German company Festo
a) Appearance,
b) Principle of operation [6]

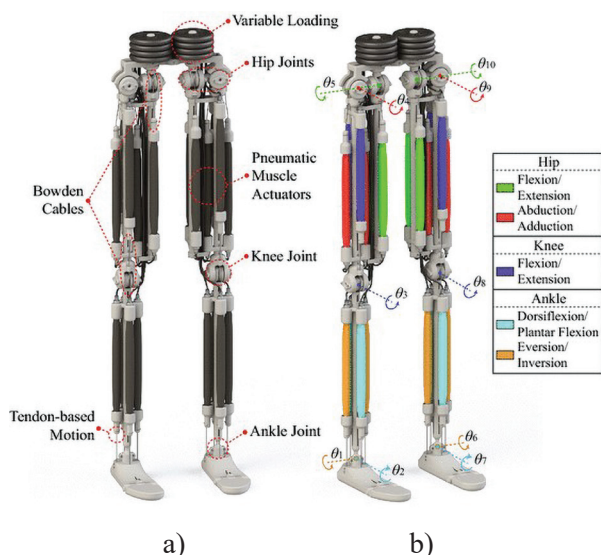
Kopiranja ljudskih mišića noge s „fluidičkim mišićima“ prikazan je u novijim istraživanjima Andrikopouloso G. & Nikolakopouloso G., 2018., slika 5 i 6. [7]

Kosti robotske noge su metalne, a različite kombinacije pomaka fluidičkih mišića omogućuju pomak potkoljenice noge sličan ljudskom. Prednost „fluidičkih mišića“ je u prilagodljivosti sile i elastičnosti što omogućuje tlačivost zraka. Upravljanje fluidičkim mišićima se obavlja proporcionalnim elektropneumatskim ventilima kod kojih se električnim signalima upuhuje potrebna količina zraka u fluidičke mišiće.



Slika 5 Biomimetička rješenja mišića i tetiva [7]

Figure 5 Biomimetic solutions of muscles and tendons [7]



Slika 6 Eksperimentalno rješenje

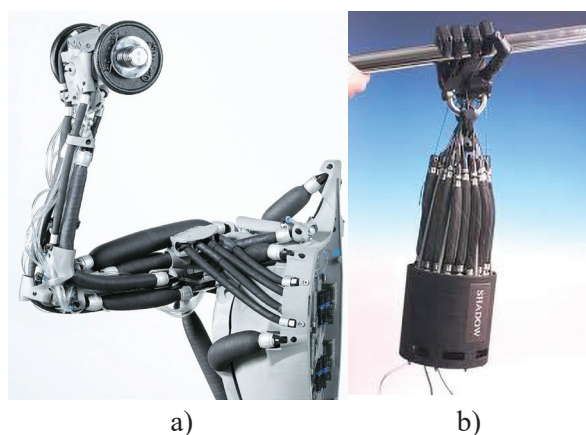
a) Prikaz noge robota s fluidičkim mišićima, b) Pomaci fluidičkih mišića označeni bojama [7]

Figure 6 Experimental solution

a) representation of the robot's leg with fluidic muscles, b) movements of fluidic muscles marked with colors [7]

To omogućuje pomak „mišića“ prema želji koliko god on bio mali. Brzina rada je odgovarajuća brzinama pomaka koje ostvaruju mišići.

Broj i dimenzije postavljenih fluidičkih mišića uklapaju se u dimenzije (volumen) noge što je još jedan pozitivan razlog primjene. Jednako tako fluidički mišići za pomak ruke mogu se uglavnom uklopiti u volumen ljudske ruke, slika 7a. [8] Međutim kada se radi o šaci, obzirom na broj prstiju i ostvarivanje njihovih prostornih pomaka, rješenja su volumenski znatno veća i ne uklapaju se u dimenzije podlaktice ruke gdje su fluidički mišići smješteni, slika 7b.

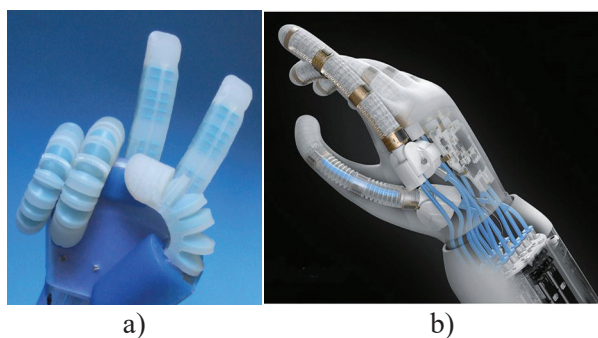


Slika 7 Pomak ruke i šake fluidičkim (pneumatskim) mišićima a) Pomak ruke [8], b) Dvadeset fluidičkih mišića za pomak prstiju [12]

Figure 7 Arm and hand movement with fluidic (pneumatic) muscles a) Arm movement [8], b) Twenty fluidic muscles for finger movements [12]

Istraživanja načina pokretanja prstiju šake nisu se zaustavila na gotovim rješenjima s fluidičkim mišićima već su korištene i druge mogućnosti, slika 8. Vanjski volumenski odjeljci (volumeni) kod punjenja stlačenim zrakom šire se i time se „prsti“ savijaju. To je izuzetno jednostavan način realizacije savijanja prstiju i hvatanja predmeta.

Sljedeći korak koji se očekuje je korištenje elektroaktivnih polimera (EAP) umjesto fluidičkih mišića. Taj se materijal pod naponom struje produžuje. Postavljanjem takve trake s vanjske strane „prsta“ on se savija prema unutra. [9] Futurolozi predviđaju razvoj nove vrste elektroaktivnih gelova koji mijenjaju volumen pod djelovanjem električne struje. Na sveučilištu Columbia već je stvoren sintetički mišić koji može podići tisuću puta vlastitu težinu, ostvariti guranje, povlačenje, savijanje i uvijanje.



Slika 8 Šaka sa zračnim komorama, a) Zračne komore na vanjskoj strani prstiju [9], b) Zračni mjehurići prstiju zatvoreni u posebnu 3D tekstilnu presvlaku pletenu od elastičnih vlakana visoke čvrstoće [10]

Figure 8 Hand with air chambers, a) Air chambers on the outer side of the fingers [9], b) Air bubbles in fingers enclosed in a special 3D textile cover made of high strength elastic fibers [10]

Mišić je 3D tiskana smjesa matrice silikonske gume s etanolom raspodijeljenim u mikro-mjehurićima. Ne zahtijeva kompresor ili visokonaponsku električnu opremu za rad. Mišić se električki pomiče pomoću tanke otporničke žice i s malim naponom (svega 8 V). [11]

4. ZAKLJUČAK

4. CONCLUSION

Može se zaključiti da se pravac razvoja udova za kretanja robota sve više približava načinu kako je to riješila priroda kod čovjeka koristeći drugačije materijale. Proći će još dosta vremena dok pokreti robota budu usklađeni poput ljudskih, sukladno Moravecovom paradoksu, s preciznom prostornom orijentacijom i adekvatnim silama hvatanja raznih predmeta. Još dugo će kretanje robota biti nezgrapno i neprecizno.

5. REFERENCE

5. REFERENCES

- [1.] Nichols G.: Brisk sales for Pepper, but Romeo is primed to be the first hit humanoid, dostupno na <https://www.zdnet.com/article/brisk-sales-for-pepper-but-romeo-is-primed-to-be-the-first-hit-humanoid/>, objavljeno 10.7.2015.
- [2.] Moore M.: Promobot talks about service robotics and the future of the industry [Q&A], dostupno na <https://betanews.com/2017/09/22/promobot-qanda/>, objavljeno 22.9.2017.
- [3.] Moravec's paradox, Wikipedia, dostupno na https://en.wikipedia.org/wiki/Moravec%27s_paradox, objavljeno 10.3.2018.
- [4.] Ridden P.: Two-legged robot delivers packages to your door, dostupno na <https://newatlas.com/ford-agility-robotics-digit-delivery-autonomous/59796/>, objavljeno 22.5.2019.
- [5.] Coxworth B.: In photos: Rascally robots and kindred contraptions, at ICRA 2019, dostupno na <https://newatlas.com/icra-2019-photo-gallery/59906/>, objavljeno 30.5.2019.
- [6.] Nikolić G., Katalinić B., Rogale D., Jerbić B., Čubrić G.: Roboti & primjena u industriji tekstila i odjeće, sveučilišni udžbenik, TTF, Zagreb 2008.
- [7.] Andrikopoulos G., Nikolakopoulos G.: Humanoid Robotic Leg via pneumatic muscle actuators: implementation and control, dostupno na <https://link.springer.com/article/10.1007/s11012-017-0738-6>, objavljeno 12.8.2018.
- [8.] Airic's arm, dostupno na <https://www.festo.com/group/en/cms/10247.htm>, pristup 1.10.2019.
- [9.] 3d Drucken Eine Künstliche Muskel-Roboter-Hand, dostupno na <http://www.gunook.com/3d-drucken-eine-kunstliche-muskel-roboter-hand/>, pistup 18.4.2019.
- [10.] McGlaun S.: Festo BionicSoftHand is filled with air and AI, dostupno na <https://www.slashgear.com/festo-bionics-of-hand-is-filled-with-air-and-ai-01567987/>, objavljeno 1.5.2019.
- [11.] Gonzalez C.: What's the Future Role for Humanoid Robots?, dostupno na <https://www.machinedesign.com/motion-control/what-s-future-role-humanoid-robots>, objavljeno 27.10. 2017.
- [12.] Shadow Hand, Wikipedia, dostupno na https://en.wikipedia.org/wiki/Shadow_Hand, objavljeno 3.7.2019.

AUTOR · AUTHOR

Gojko Nikolić - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 3, No. 2, 2015.

Korespondencija
gojko.nikolic@tff.hr