

Fuzzy estimator za objektivno ocenjivanje i komparaciju performansi antropomorfnih robota

Aleksandar Rodić, član ETRAN-a

Apstrakt—U radu je predstavljeno idejno rešenje fuzzy logičkog estimatora za objektivno ocenjivanje i komparaciju performansi antropomorfnih robota čije pojave i manifestacije podsećaju na ljude. Ekspertski sistem za ocenjivanje performansi je zasnovan na primeni algoritama veštačke inteligencije – fuzzy algoritama. Bez obzira da li se radi o industrijskim robotima, servisnim robotima, robotima za pomoć starijim licima, za edukaciju ili jednostavno robotima za zabavu, postavlja se logično pitanje kako da na objektivan i na infomacijama zasnovan način ocenimo tehnološki nivo savršenosti (složenosti) ovih uređaja? Zajedničko, za prethodno pomenute robotske sisteme, različite namene, spoljašnjeg izgleda i mehaničke strukture jeste da na izvestan način podsećaju ili oponašaju čoveka kao biološki model bilo svojim spoljašnjom pojavom, pokretima ili kognitivnim, afektivnim i društvenim ponašanjem. Svi pomenuti aspekti analize karakteristika robota su bitni za razvoj inteligentnog interfejsa za ocenu performansi. Aplikativni interfejs, koji se prikazuje u ovom radu, pruža mogućnost korisniku da objektivno, zasnovano na kvantitativnim i kvalitativnim pokazateljima tehničkih mogućnosti, kvantifikuje heterogene pokazatelje performansi uređaja i da definiše veličinu koja predstavlja odnos cene i performanse. Takođe, inteligentni interfejs predstavljen u ovom radu omogućava pouzdanije predviđanje brzine tehnološkog napretka ovih inteligentnih kibernetičko-fizičkih sistema kao i da pruža mogućnost da se pouzdanije proceni da li će i kada roboti postati superiorniji od ljudi kao svojih bioloških uzora. U okviru razvoja ekspertskog sistema za evaluaciju tehničkih performansi robota, analiziraju se u radu ključne tehničko-tehnološke karakteristike robota (strukturne, morfološke, lokomotorne, manipulativne, perceptivne, komunikacione, mikroprocesorske, algoritamske, itd.). Pri tom, roboti se porede po svojim performansama s biološkim modelima ljudi a njihov stepen sličnosti se iskazuje brojem, koji nazivamo “indeks antropomorfizma”[1]. Radi jasnoće, na kraju rada, daje se kratka ilustracija primene metodologije ocenjivanja dva realna robota.

Ključne reči—Antropomorfni roboti, biološki-inspirisani sistemi, veštačka inteligencija, ekspertski sistem.

I. UVOD

Robotika i veštačka inteligencija (VI) su tehnologije koje se očekuju da će u najvećoj meri obeležiti tekući vek u smislu brzine tehnološkog razvoja i uticaja na društvo. U današnje vreme, mnogi naučnici u svetu se bave izučavanjem, analizom i ocenom tehnoloških performansi robota razvijenih za različite namene. Najveći naučno-tehnološki izazov predstavlja razvoj antropomorfnih robota (humanoida) koji pojavom i manifestacijama (fizičkim i/ili kognitivnim)

podsećaju na ljude. Veoma često, analize i ocene tehnološkog nivoa, pogotovo u novinskim člancima, znaju biti izrečene senzacionalistički i površno, u cilju promocije i reklame robotskog sistema, neargumentovano navodeći ili ističući samo pojedine aspekte funkcionalnosti robota a svesno ili nesvesno zanemarujući neke druge. Na taj način se “zamagljuje” suština, odn. ne stiže se realna predstavu o istinskoj vrednosti uređaja. U današnje vreme još uvek nema u potpunosti autonomnih, apsolutno inteligentnih antropomorfnih robota. Kako na naučno zasnovan i objektivan način, oceniti tehničko-tehnološki nivo savršenosti postojećih robota je pitanje na koje pokušavamo da damo odgovor u ovom radu? To je pitanje od važnosti za naučnike, futuriste, publiciste, predstavnike industrije i ponuđače opreme i uređaja s IT tržišta. Na koji način objektivno uporediti dva robota? Koji je tehnološki bolji, kako da kupac na tržištu izabere najbolje robotsko rešenje za svoj novac? Kako sprovesti pouzdanu analizu brzine tehnološkog napretka antropomorfnih robota od njihovog postanka do danas? Možemo li i na koji način pouzdanu predvideti da li će roboti i kada postati superiorniji od ljudi? Mnoga pitanja se nameću ovim povodom. Odgovori na pobrojana pitanja zahtevaju širok pristup dostupnim informacijama i odgovarajuće softverske alate, zasnovane na algoritmima VI, koji poseduju ekspertsku znanja i mehanizme zaključivanja koji mogu ponuditi utemeljene odgovore na pobrojane nepoznanice.

II. STANJE TEHNIKE

Mnogi naučnici i filozofi u nauci se u današnje vreme bave analizom stepena razvoja naprednih robota s osvrtom na ljudske sposobnosti, kako fizičke tako i kognitivne, afektivne i društvene. Poseban interes se posvećuje prognozama kada bi roboti mogli postati superiorniji od ljudi u cilju pravovremenog donošenja odgovarajućih zakonskih okvira korišćenja super-robota. Bostromova knjiga [2] istražuje različite puteve razvoja superinteligencije, uključujući i robotsku inteligenciju, te postavlja pitanja o mogućim scenarijima u kojima bi roboti mogli postati superiorniji od ljudi. Kurzweilova knjiga [3] razmatra brz napredak tehnologije i predviđa da bi do 2045. godine moglo doći do "tačke singulariteta" - trenutka kada će tehnološki razvoj dovesti do stvaranja superiornih inteligentnih entiteta, uključujući i robote. Russellova knjiga [4] pruža opsežan pregled područja veštačke inteligencije, uključujući i analizu napretka robota u fizičkim i kognitivnim zadacima. U radu [5] se analizira mogućnost zamene ljudskih poslova robotima i veštačkom inteligencijom, što može pružiti uvid u potencijalnu superiornost robota u određenim područjima rada. Goodova studija [6] razmatra mogućnost razvoja ultra-

inteligentnih mašina te postavlja pitanja o njihovoj mogućoj superiornosti nad ljudima. U radu [7] se analizira potencijalna superiornost superinteligentnih sistema, uključujući i robote, pa se razmatraju moguće implikacije takvog razvoja. Prethodno izdvojeni radovi pružaju različite perspektive i analize o mogućem razvoju robota i superinteligencije te predstavljaju relevantnu literaturu za razumevanje ovog područja i prognoze o superiornosti robota u odnosu na ljude. Ideja vodilja u ovom radu svodi se na aktivnosti da se kroz jedan analitički pristup, koristeći dostupnu naučnu literaturu koja sadrži podatke o psiho-fizičkim mogućnostima čoveka kao i podatke o tehnološkim karakteristikama savremenih antropomorfnih robota, uz primenu veštačke inteligencije, daju odgovori na postavljena pitanja.

III. INDEKS ANTROPOMORFIZMA

U ovom radu se primenjuje jedan multikriterijumski indikator nivoa tehnološke savršenosti (razvoja) antropomorfnih robota odn. višekriterijumski indikator sličnosti robota i ljudskog bića. Njega nazivamo "indeksom stepena antropomorfizma". Da bismo odredili indeks stepena antropomorfizma moramo najpre definisati referentni sistem u odnosu na koji se određuje ovaj indeks. Ako bismo prosečno razvijenog mladog, zdravog, odraslog čoveka, koji poseduje odgovarajuće fizičke i kognitivne sposobnosti, profil ličnosti, afektivno i društveno ponašanje, uzeli kao referentni sistem, onda bi vrednost ovog indikatora za tu osobu bila jednaka $Q=1$. To podrazumeva da referentna osoba nije sportista (nije specifično istrenirana), nije nadprosečno obrazovan(a) i ne poseduje specifične stručne i umetničke veštine/sposobnosti koje su rezultat specijalizovane obuke i treninga. Ako to usvojimo kao model (referencu), onda bi humanoidni roboti, koji predstavljaju "tehnološke imitacije" ljudi, posedovali brojnu vrednost indeksa antropomorfizma u opsegu $Q \in [0,1]$. Što su bliži vrednosti indeksa "1" to je sličnost robota i čoveka veća.

Indeks antropomorfizma predstavlja jedinstveno kvalitativno i kvantitativno merilo tehnološke performanse. On pokazuje koliko jedan robot, svojom fizičkom pojavom podseća na svog biološkog uzora – čoveka. Takođe, ovaj indeks pokazuje i koliko fizičke manifestacije, ponašanje i veštine robota (lokomotorne, manipulativne, gestikulativne, refleksne, i sl.), kognitivne funkcije (brzina rezonovanja, veština učenja, sposobnost donošenja odluka, i sl.), atributi ličnosti kao i afektivno (emocionalno) odn. društveno ponašanje podsećaju na ponašanje karakteristično za ljude. Vrednost $Q=1$ odgovara performansama robota koji bi hipotetički bio „apsolutna tehnološka replika“ biološkog sistema odn. njegov „tehnološki klon“. Takvi roboti se u literaturi nazivaju androidima [8]. Vrednost indeksa antropomorfizma $Q=0$ odgovara kibernetičko-fizičkom sistemu koji ni na koji način ne podseća na čoveka niti poseduje minimalne sličnosti. Npr. Unmanned Ground Vehicle (UGV) i Unmanned Aerial Vehicle (UAV) koji pripadaju kategoriji robotskih sistema nisu antropomorfnih roboti, pa su njihovi indeksi antropomorfizma ravni nuli s obzirom da su im

izgled, struktura i funkcionisanje u potpunosti drugačiji od ljudskih.

Indeks performanse tj. indeks antropomorfizma služi za objektivnu procenu:

- tehničko-tehnoloških karakteristika robota (nivoa tehnološke savršenosti) što predstavlja numerički pokazatelj koji ukazuje da li posmatrani robotski sistem zadovoljava, i u kojoj meri, postavljene tehnološke kriterijume koji odgovaraju zahtevima tehnoloških procesa u kojima će robot biti angažovan;
- isplativosti robotske investicije tako što služi da uporedi nivo tehnološke opremljenosti i tehničko-tehnoloških mogućnosti koje dati robotski sistem poseduje i nudi za određenu novčanu vrednost (cenu). Za tu svrhu koristi se numerički pokazatelj koji se određuje količnikom *cena uređaja : indeks performanse*;
- brzine tehnološkog progresa novih generacija antropomorfnih robota. Praćenjem gradijenta promene indeksa antropomorfizma u toku određenog vremenskog perioda može se objektivno proceniti brzina napretka u ovoj oblasti i uporediti s progresom u drugim granama industrije: automobilske, vojne, medicinske, i sl.;
- verovatnoće, zasnovane na proverenim podacima, koja je osnov za objektivno predviđanje da li roboti i kada u doglednoj budućnosti mogu postati sposobniji od ljudi. Trenutak koji obeležava tu pojavu naziva se „singularna tačka u vremenu“.

IV. KRITERIJUMI ZA IZVOĐENJE INDEKSA PERFORMANSE

Indeks performanse robota tj. *indeks stepena antropomorfizma* jeste multikriterijumska funkcija koja uzima u obzir različite aspekte stepena tehnološkog razvoja robotskih sistema. U nastavku teksta navodimo kriterijume na bazi kojih će se određivati pomenuti indeks performanse u ovom radu. Za svaki od dole predstavljenih kriterijuma biće sintetizovan pojedinačni fuzzy estimator stanja. Ulazne promenljive u fuzzy estimatore predstavljaju kriterijumske promenljive a izlazna promenljiva je indeks performanse. To je numerička vrednost koja kvantifikuje stepen tehnološke sličnosti robota s odgovarajućim biološkim osobinama čoveka. Uzimanjem u obzir vrednosti indeksa performansi s pojedinačnih estimatora stanja i nalaženjem jedinstvenog indeksa određuje se numerička vrednost (pokazatelj) koliko je posmatrani robot, po svim izabranim kriterijumima, sličan pojavi i manifestacijama ljudi. U nastavku se navode kriterijumi koji su razmatrani u okviru ovog rada. Lista kriterijuma nije konačna i može se po potrebi proširiti po istom modelu.

A. Fizička pojava

- Da li robot svojim spoljašnjim izgledom na prvi pogled podseća na čoveka, tj. ima li robot ljudski

izgled (jasno diferencirane glavu, trup, ruke, šake, noge, stopala)?

- Ima li robot ljudski lik ili je alternativno tehnološka odn. umetnička kreacija (stilizovan, futuristički, animiran i sl.)?
- Koje je veličine robot (mali, srednje veličine, ljudske veličine, nadljudske veličine)?
- Ima li robot predstavljena usta na licu (nacrtana, reljefna, pokretna mehanizmom ili je video projekcija)?
- Ima li robot imitaciju kože u svojoj pojavi (nacrtana, postoji reljefna tekstura ili je od nekog sintetičkog elastičnog materijala)?
- Ima li robot predstavku očiju (nacrtane, 3D-reljefne nepokretne, pokretne mehanizmom, video projekcija)?
- Ima li robot predstavku obrva (nacrtane, 3D-reljefne nepokretne, pokretne mehanizmom, video projektor)?
- Ima li robot predstavljene uši na glavi?
- Ima li robot šake s prstima (nacrtane, reljefne-kompaktne, pokretne s prstima)?

B. Mehanička struktura

- Broj stepeni slobode kretanja celog mehanizma robota (manje od 20, 20-50, 50-70, više od 70)?
- Koliko je težak robot (lagan, okvirno u granicama težine odraslog čoveka, teži od čoveka)?
- Broj stepeni slobode kretanja glave? (0, 1-3, >3)?
- Broj stepeni slobode kretanja mimike lica? (kruto lice, 1-10, >10 za izražavanje afektivnih stanja)
- Broj stepeni slobode kretanja očiju (0, 1-3, >3)?
- Broj stepeni slobode kretanja obrva (0, 1-3, >3)?
- Broj stepeni slobode torzoa (0, 1-3, >3)?
- Broj stepeni slobode ruku (neredundantan, redundantan, hiperredundantan)?
- Broj stepeni slobode ramena (za gestikulacije telom)?
- Broj stepeni slobode kretanja šaka?
- Broj stepeni slobode kretanja nogu?
- Da li je stopalo više segmentno?

C. Lokomotorni sistem

- Dvonožna lokomocija (veštački hodač)?
- Višenožna lokomocija (kvadripodi, heksapodi)?
- Mobilna robotska platforma na točkovima (kolica)?
- Hibridni sistem lokomocije – kombinacija noge i točkovi?
- Ostalo.

D. Manipulativni i mikromanipulativni sistem

- Jednoručni sistem manipulacije?
- Dvoručni sistem manipulacije?
- Višeručni sistem manipulacije?
- Dvoprsta hvataljka?
- Troprsta hvataljka?
- Antropomorfna šaka?

E. Torzo

- Monolitni torzo?
- Deljivi torzo (2-segmentni, 3-segmenti)
- Spinalni torzo?

F. Pogonski sistem (power-drivetrain)

- Pasivni dvonožni hodač?
- Aktivni pod-aktuisani lokomocioni sistem?
- Aktivni mono-artikulisani zglobovi?
- Aktivni poli-artikulisani zglobovi?
- Motorizovani pogon, pogon-sajlama, pneumatski pogon, hidraulički pogon?
- Pogon veštačkim mišićima?
- Hibridni pasivni & aktivni pogon zglobova mehanizma?

G. Fizičke performanse

- Ukupni teret koji telo može podići?
- Ukupna snaga robota?
- Nosivost jedne ruke?
- Snaga ruke?
- Jačina stiska šake?
- Kolika je pokretljivost šake s prstima? Koliko različitih hvatanja je izvodljivo?
- Da li je robot pokretan ili stacionaran (prenosiv)?
- Kolika je kompozitna brzina robotske ruke?
- Kolika je dohvatljivost odn. radni prostor robota? Manipulativnost?
- Da li robot može da izvodi pokrete saginjanja, čučnja, ustajanja iz ležećeg položaja, stoja na jednoj nozi, stoja na prstima?
- Da li robot šakom može da dohvati petu stopala?
- Da li robot šakom može da dohvati teme glave?
- Da li može da trči?
- Da li može da skače s dve noge?
- Da li može samostalno da sedne, legne na pod i da sam ustane i uspravi se?

H. Hardverske mogućnosti

- Brzina reakcije robota na pobude (reakcija na svetlost, na zvuk, na miris, na dodir, na toplotu, na hemikalije)?
- Kakve su mogućnosti izvršavanja više zadataka istovremeno?
- Kakvi su mikroprocesorski kapaciteti robota? Mogućnost korišćenja cloud resursa? (centralizovani

računar, distribuirana mikroprocesorska struktura, cloud arhitektura)?

- Kakvi su memorijski kapaciteti robota? Kolika je brzina pristupa bazi podataka, pretrage baze podataka? Da li koristi eksterne cloud resurse? Ima li elemente prostorne inteligencije?

I. Percepivne mogućnosti

- Mašinska vizija (prepoznavanje oblika, boja, predmeta, svetlosti/tame)
- Prepoznavanje zvukova
- Prepoznavanje govora
- Osećaj dodira, haptika
- Osećaj temperature
- Osećaj mirisa
- Proprioceptivni osećaj

J. Komunikacija s okolinom

- Mogućnost ne-verbalne komunikacije s drugima (mimika lica, gestikulacija telom, izražavanje simbolima, itd.)?
- Mogućnost verbalne komunikacije (čuje, razume, generiše smišljeni izraz i da govori)?
- Multimodalna komunikacija?

K. Kognitivne performanse

- Da li poseduje mogućnost učenja (IQ)?
- Da li poseduje sposobnosti rezonovanja (zaključivanja) (IQ)?
- Da li poseduje mogućnosti odlučivanja (donošenja odluka) (IQ)?
- Da li poseduje svest o fizičkoj okolini (mašinska vizija, prepoznavanje oblika, boja, učenje, zaključivanje, donošenje odluka)(IQ)?
- Da li poseduje svest o društvenoj okolini (prepoznavanje osoba, gestova, prepoznavanje emocija kod drugih osoba, prepoznavanje karaktera drugih osoba, zaključivanje)(EQ)?
- Da li poseduje svest o samom sebi (da li je svestan svojih postupaka, svojih emocija, da li je sposoban da ispolji empatiju) (EQ)?
- Da li poseduje osobine ličnosti i kako se adaptira na svoju društvenu okolinu. (EQ)?
- Napredne osobine poštovanja društvenih normi ponašanja i adaptacije na društvenu okolinu (EQ)?

L. Autonomija

- Koliko je memorijski autonoman (cloud data base)?
- Koliko je procesorski autonoman (cloud computing)?
- Koliko je robot energetska autonoman?
- Koliko je robot inteligentan i autonoman u snalaženju u svojoj fizičkoj okolini (orijentacija u prostoru, izbegavanje pokretnih i nepokretnih prepreka, planiranje i modifikovanje putanje)?

- Koliko je sistem fizički autonoman, koliko kontroliše svoja fizička stanja adekvatno trenutnoj situaciji (stajanje, hod, čekanje, trčanje, sedenje, ležanje, puzanje, gestikulacija telom i rukama u kontekstu aktuelne situacije)?
- Koliko je sistem autonoman kao ličnost u društvenom okruženju, koliko ima svoj integritet kao ličnost bez pobude spolja?

M. Zaštita od rizika po sopstveni integritet

- Prepoznavanje opasnosti po fizički integritet (prepoznavanje neprijateljskih akata usmerenih protiv sebe)?
- Prepoznavanje rizika po svoj duhovni integritet (prepoznavanje neprijateljskih činjenja po svoju ličnost, emotivnu stabilnost)?

V. ARHITEKTURA FUZZY ESTIMATORA

Ekspertska sistem za određivanje indeksa antropomorfizma robota ima decentralizovanu hijerarhijsku strukturu koja podrazumeva postojanje više nezavisnih fuzzy klasifikatora stanja sintetizovanih oko različitih skupova kriterijuma A-M ocenjivanja performansi robota, predstavljenih u Poglavlju IV. Svaki od pomenutih fuzzy blokova $i=1, \dots, 13$ može imati različit broj ulaza (promenljivih veličina) ali samo po jednu izlaznu promenljivu, tzv. *partikularni indeks performanse* C_i koji se može izraziti relacijom (1). Partikularni indeks performanse C_i pruža informaciju koliko posmatrani robot ima sličnosti u poređenju s čovekom, kao referentnim modelom, shodno *i-om* kriterijumu koji je sadržan u skupu kriterijuma A-M koji se mogu numerisati brojevima $i=1, \dots, 13$. Jedinostveni indeks performanse, označen s χ , određuje se iz relacije (2).

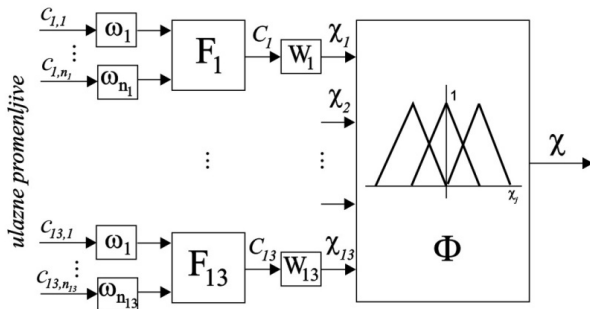
$$C_i = \frac{1}{n_i} \cdot \sum_{j=1}^{n_i} c_{i,j} \cdot \omega_j \quad (1)$$

$$\chi = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N C_i \cdot W_i \in (0,1) \quad (2)$$

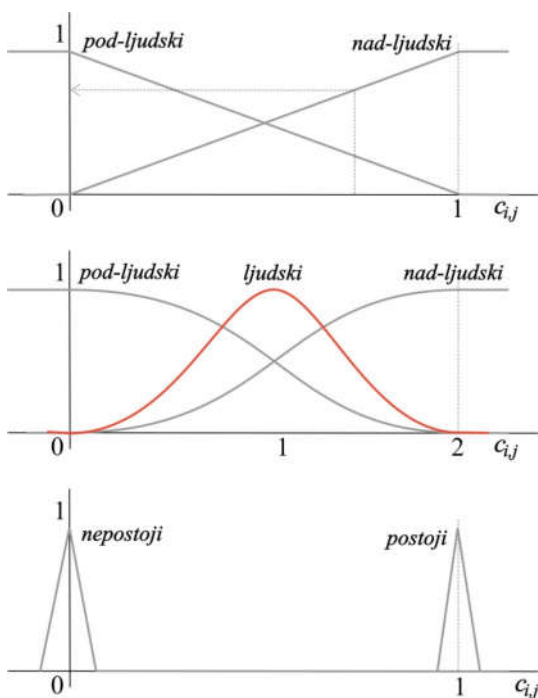
U relacijama (1) i (2), ω_j i W_i predstavljaju težinske faktore u fuzzy funkcijama koji skaliraju uticajnost pojedinih kriterijuma A-M (Poglavlje IV) na ukupnu vrednost indeksa χ . Simbol n_i označava broj ulaznih promenljivih za svaki pojedinačni kriterijum A-M. Tako npr., kriterijum „A - Fizička pojava“ poseduje $n_1 = 9$ ulaznih promenljivih dok je recimo za kriterijum „L - Autonomija“ taj broj $n_{13} = 6$.

Indeks χ predstavlja numerički izraženo (kvantifikovano) merilo stepena antropomorfizma koliko je robot, ocenjen po svim postavljenim kriterijumima, sličan referentnom biološkom modelu a to je čovek. Vrednost ovog indeksa u današnje vreme je još uvek daleko od svoje maksimalne vrednosti '1' što znači da savremeni roboti, po svom tehničko-tehnološkom nivou razvijenosti, još uvek nisu bliske ljudskim sposobnosti. To je pre svega zbog: a) realnih ograničenja u pokretljivosti robota usled ograničenih mogućnosti pogonskih jedinica (nepovoljan odnos snage i mase motora), b) relativno niske energetske autonomije

(ograničeni kapaciteti baterija), i c) sadašnji nivo veštačke svesti i VI je u granicama osnovnih (ne i naprednih) kognitivnih funkcija. Blok dijagram fuzzy ekspertskog sistema, u čijoj osnovi su relacije (1)-(2), je prikazan na Sl. 1.



Slika 1. Arhitektura Fuzzy estimatora indeksa performanse robota.



Slika 2. Izgled funkcija članstva u pojedinačnim kriterijumskim fuzzy estimatorima F_i i u glavnom fuzzy-estimatoru Φ . (a, b, c odozgo na dole).

Slika 2 ilustruje izgled fuzzy funkcija članstva koje su korišćene u sintezi fuzzy estimatora performansi robota. Pošto ulazne varijable u partikularne fuzzy blokove mogu imati različite vrednosti to je izbor funkcija članstva prilagođen nameni. Ako uzmemo primer promenljive binarnog tipa “robot ima noge (da/ne)?” vrednosti mogu biti 0 ili 1. U tom slučaju pogodno je izabrati fuzzy funkciju članstva tipa kao na Sl. 2c. Dalje, kada se postavlja kriterijum mase robota, koja može biti manja ili veća od mase prosečnog čoveka (60-80 kg), tada je pogodno izabrati funkciju članstva kao na Sl. 2b. Ukoliko na primer robot hoda prosečnom brzinom koja je viša od brzine prosečno razvijenog, mladog i zdravog čoveka (1.3-1.5 m/s) onda se funkcija članstva može izabrati u formi prikazanoj na Sl. 2a. U ovom slučaju brzina hoda robota veća

od prosečne brzine čoveka se može smatrati uslovno “ljudska” imajući u vidu da treningom čovek može nadmašiti prosečnu brzinu.

VI. PRIMER

Na ovom mestu biće ukratko demonstrirano kako se fuzzy estimator performansi robota koristi. Razmatraćemo dva antropomorfna robota različite namene. Prvi je NAO, mali, popularni društveni humanoid [9], razvijen za istraživačke svrhe, edukaciju i zabavu. NAO je dvonožni hodajući robot, opremljen odgovarajućim sensorima koji mu omogućavaju obilaženje prepreka u prostoru. Robot poseduje dve ruke sa po tri prsta koji omogućavaju hvatanje manjih predmeta male težine. Robot je programibilan i omogućava implementaciju jednostavnih, numerički manje zahtevnih algoritama VI. Njegov API poseduje interfejs koji podržava određene funkcije koje se odnose na hod, govor, ples, zabavu, itd. Drugi robot koji analiziramo u ovom radu je industrijski servisni humanoid [10], bi-manuelni kolaborativni robot IBCH, namenjen za Industriju 4.0. Robot je ljudske veličine. Ima mogućnost da se adaptira u svom random prostoru tako što može menjati svoju visinu i nagib u odnosu na radni sto odn. tehnološku liniju. Robot ne ostvaruje hod pošto ne poseduje noge ali je pokretan jer ima motorizovana kolica koja mu omogućavaju premeštanje (promenu lokacije) s jednog mesta na drugi. NAO i IBCH roboti su prikazani na Sl. 3.



Slika 3. Primeri antropomorfnih robota različite namene: a) NAO društveni humanoid, b) IBCH industrijski kolaborativni servisni humanoid.

Ako sada pokušamo da uporedimo ova dva robota potpuno drugačije namene, koji obadva imaju neke karakteristike koje podsećaju na čoveka, bez valjanog estimatora stanja koji bi to objektivno uradio, imali bismo nerešiv zadatak. NAO robot više likom podseća na ljude, ima glavu, noge, ruke, šake s prstima ali je mali poput igračke i ima veoma ograničene fizičke mogućnosti. Kognitivne radnje su mu uglavnom usmerene ka prepoznavanju i detekciji prepreka i njihovom zaobilaženju, kao i na prepoznavanje lica partnera. S druge strane, IBCH kolaborativni industrijski humanoid ima ljudsku visinu i robotske ruke s hvataljkama koje mogu podići teret do 5kg svaka. Torzo robota je višesegmentan tako da omogućava robotu savijanje do čučnja. Robot nema ljudski lik niti noge koje bi mu omogućavale dvonožnu lokomociju. Robot IBCH

ima mnogo naprednije hardverske mogućnosti od NAO robota koji mu omogućavaju implementaciju naprednih algoritama VI među kojima npr.: prepoznavanje oblika, boja, teksture. Robot ima mogućnosti učenja ljudskih manipulativnih i kognitivnih veština ali definitivno ne liči mnogo na čoveka. Ukoliko bismo striktno prošli kroz sve kriterijume A-M koji su navedeni u Paragrafu IV ovog rada dobili bismo pojedinačne estimirane vrednosti za indekse oba robota. To nećemo učiniti na ovom mestu pošto nam prostor predviđen za pisanje rada to ne omogućava. Navešćemo samo činjenicu da je NAO robot superiorniji u odnosu na IBCH prema kriterijumima (A, B, C, D, F, I, J) dok je IBCH bolji odn. približniji sposobnostima čoveka prema kriterijumima vrednovanja (E, G, H, K, M). Ako se uzme u obzir da je robot IBCH još uvek u razvoju i da ima mogućnosti daljeg unapređenja i proširenja hardverskih i softverskih modula, očekivanja su da indeks performanse IBCH robota u krajnjem slučaju bude viši od odgovarajućeg za NAO robota. U narednom periodu biće sprovedena detaljnija istraživanja u cilju kvantifikacije rečenih pretpostavki.

VII. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena jedinstvena metoda za objektivno ocenjivanje i komparaciju performansi antropomorfnih robota zasnovana na primeni inteligentnog fuzzy estimatora indeksa performanse tj. indeksa antropomorfizma. Metoda omogućava merljivost nivoa tehnološke savršenosti robota, objektivnu komparaciju robotskih sistema antropomorfne strukture, realistična predviđanja tehnološkog napretka robota zasnovana na činjenicama i određivanje Singularne tačke u vremenu kada bi roboti potencijalno mogli postati superiorniji od ljudi.

ZAHVALNICA

Ovaj projekat je realizovan uz podršku Ministarstva nauke, inovacija i tehnološkog razvoja Republike Srbije, 2019-2021 u okviru programa Strateškog partnerstva - bilaterale s Narodnom Republikom Kinom.

LITERATURA

- [1] Antropomorphism: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/anthropomorphism>, last retrived, March, 13th, 2024.
- [2] Bostrom, Nick. "Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies." Oxford University Press.
- [3] Kurzweil, Ray. "The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology." *Foreign Affairs*, Vol. 85, No. 3 (May - Jun., 2006), p. 160 (1 page), Published By: Council on Foreign Relations, <https://doi.org/10.2307/20031996>, <https://www.jstor.org/stable/20031996>.
- [4] Russell, Stuart, i Peter Norvig. "Artificial Intelligence: A Modern Approach." Pearson Education, ISBN: 1292153970, 9781292153971
- [5] Frey, Carl Benedikt, i Michael A. Osborne. "The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation?", *Technological Forecasting and Social Change*. Volume 114, January 2017, Pages 254-280
- [6] Good, Irving John. "Speculations Concerning the First Ultra-intelligent Machine.", *Advances in Computers*, Volume 6, 1966, Pages 31-88
- [7] Müller, Vincent C. "Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies."
- [8] Ishiguro H., Android Science - Toward a new cross-interdisciplinary framework, S. Thmn, R. Brooks, H. Durrant-Whyte (Eds.): Robotics

- Research, STAR 28, pp. 118-127, 2007. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007
- [9] Rodolphe Gelin, "NAO", in Book: *Humanoid Robotics: A Reference* pp 1-22, 2017
 - [10] Rodić, A., Šumarac, J., Stevanović, I., Jovanović, M. „Cloud-enabled bi-manual collaborative robot with enhanced versatility for customized production“, Springer, Book Chapter in *Advances in Service and Industrial Robotics*, Eds. Said Zeghloul, Med Amine Laribi, Juan Sandoval. Book Series: Mechanisms and Machine Science, ISSN 2211-0984, ISSN 2211-0992 (electronic), ISBN 978-3-030-75258-3, ISBN 978-3-030-75259-0 (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-3-030-75259-0>, 102, pp. 240-249, Page count: 286, Jun 2021

ABSTRACT

The paper presents a conceptual solution of the fuzzy logic estimator for objective evaluation and comparison of the performances of anthropomorphic robots whose appearances and manifestations resemble humans. The expert system for evaluating performance is based on the application of artificial intelligence - fuzzy algorithms. Regardless of whether it is industrial robots, service robots, robots to help the elderly, for education or simply robots for fun, the logical question is how to objectively and argumentatively assess the technological level of perfection (complexity) of these devices? Methodology proposed in the paper enables robots to be compared by their performances with the biological system functionalities, and their degree of similarity is expressed by a number, which is called the "anthropomorphism index". For the sake of clarity, at the end of the paper, an example of the evaluation of two humanoids is given to illustrate how the developed software interface works.

Fuzzy estimator for objective assessment and performance comparison of anthropomorphic robots

Aleksandar Rodić