

Popolnoma zaznavno eksperimentalno okolje za biomehansko opazovanje vstajanja človeka

Adrijana Savevska^{1,2}, Rebeka Kropivšek Leskovar¹, Tilen Brecelj¹, Luka Miškovič¹, Tadej Petrič¹

¹Inštitut "Jožef Stefan"

²Univerza v Mariboru, Fakulteta za Elektrotehniko, Računalništvo in Informatiko

E-pošta: {rebeka.leskovar, tilen.breclj, luka.miskovic, tadej.petric}@ijs.si

Fully Sensorized Experimental Environment for Biomechanical Observation of Human Standing-up Motion

Although opinions may vary, humanoid robots may prove to become a great asset in the area of physical assistance for the motor-impaired people. However, before such a scenario can occur, the dexterity and social skills of humanoid robots still need to be improved. In this paper, we introduce the equipment and the setup of a fully sensorized environment that will be used in future studies on human-robot collaboration. Here, the goal is to develop novel technologies, which would allow robots to accurately predict human whole-body movements, so that robots can act as physical assistants to people when they're standing up. Furthermore we showcase a preliminary experiment in which we test the functionality of the newfound setup.

1 Uvod

Ljudje smo sami po sebi zelo spretna bitja in smo sposobni izvajati število kompleksnih, dinamičnih in spretnih gibov z relativno enostavnostjo – hoja, skakanje in ples so le eni izmed mnogih primerov. Vstajanje s stola je na primer eno od vsakodnevnih opravil, ki se na prvi pogled zdi enostavno, a je v resnici precej kompleksno in dinamično. Uspešno izvajanje te naloge namreč zahteva koordinacijo celotnega telesa, balansiranje in zelo natančen nadzor gibanja, s staranjem pa lahko postane zahtevno in nevarno dejanje. Zaradi tega je nujno zagotoviti fizično asistenco ljudem, katerih fizične spretnosti upadajo, pri čemer je lahko fizična pomoč robotov koristna.

Vendar se pri uporabi robotov za fizično asistenco pojavi težava, saj zaenkrat roboti še ne dosegajo nivoja človeških spretnosti [1]. Eden izmed glavnih problemov pri nadzoru gibanja robotov je njihova posturalna stabilnost. Ta problem je še posebej očiten pri humanoidnih robotih, ki so zasnovani za posnemanje človeških gibov. Zaradi njihovega relativno velikega telesa v primerjavi z njihovo majhno in ozko podporno površino, so namreč zelo nestabilni. Tako postane tudi na videz preprosta naloga, kot je hoja, velik izziv za nadzor njihovega gibanja [2, 3].

Razumevanje človeških gibov, kot je vstajanje, tako postane za področje robotike še posebej zanimiv izziv

zaradi njihove kompleksnosti. Z razumevanjem gibanja človeka lahko namreč izboljšamo obstoječe humanoidne robotske sisteme in njihove spretnosti približamo človeškimi. Tradicionalni roboti od uporabnikov zahtevajo znanje programiranja, zaradi česar so roboti širši javnosti nedostopni [4]. Po drugi strani se od prihodnjih generacij robotov za dom in storitve, vključno s humanoidnimi roboti, pričakuje, da bodo opravljali naloge v bolj naravnih in zelo dinamičnih okoljih, ki so ustvarjena za ljudi, zato je nujno, da preučimo naravno človeško gibanje in kako ga implementirati v kontrolne sisteme robotov.

Cilj projekta SWITCH je izboljšati trenutno stanje na raziskovalnem področju fizičnega sodelovanja med človekom in robotom z izkoriščanjem tako imenovanega popolnoma zaznavnega okolja. To je laboratorijsko okolje, v katerem zaznavamo vse spremembe v okolju – od gibanja do interakcijskih sil z okoljem ter celo mišične aktivnosti, če je prisoten človek. Pri tem želimo razviti novo tehnologijo, ki robotom omogoča natančno napovedovanje gibanja celotnega človeškega telesa, tako da lahko roboti bolje pomagajo ljudem pri njihovih nalogah, kot je prikazano na sliki 1.

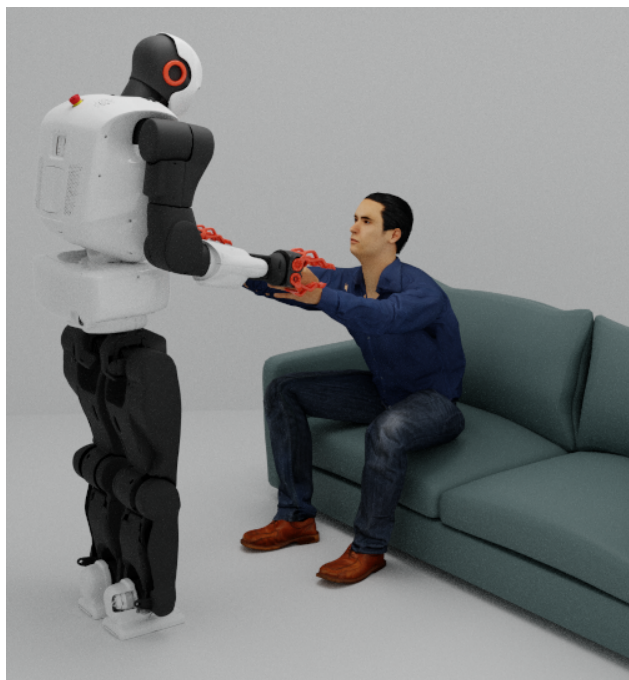
Tega smo se lotili že v predhodnjih raziskavah [5, 6], vendar zgolj v simulacijskem okolju. Da bi lahko dosežanje znanje prenesli v resničen svet, pa moramo najprej postaviti zanesljivo popolnoma zaznavno okolje, v katerem lahko preučujemo različne interakcije med ljudmi in roboti. V tem prispevku bomo predstavili opremo in postavitev popolnoma zaznavnega okolja, ki ga bomo uporabljali v prihodnjih študijah. Poleg tega bomo predstavili testne meritve, kjer smo preizkusili funkcionalnost novo postavljenega eksperimentalnega okolja.

2 Postavitev sistema

Kot omenjeno v uvodu, je cilj predstavljenega sistema za izvajanje meritev med vstajanjem človeka vzpostaviti eksperimentalno okolje, kjer lahko pridobimo čim bolj ponovljive meritve. Pri tem je cilj povečati ponovljivost predvsem začetnega sedečega položaja merjenega človeka, saj le-ta naredi posamezne poskuse primerljive med seboj.

2.1 Sledenje gibanja

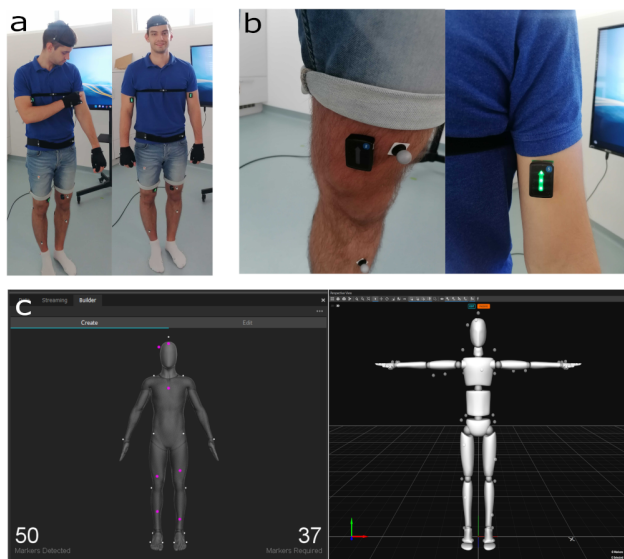
Gljučen del pri analizi človeškega vstajanja je zajem gibanja človeka med različnimi tipi vstajanja. Ta podatek



Slika 1: Koncept humanoidnega robota, ki pomaga človeku pri vstajanju.

je še posebej pomemben, kadar želimo prenesti človeško gibanje na humanoidnega robota.

Za sledenje gibanja v realnem času smo uporabili sistem OptiTrack [7]. Ta zajema gibanje teles v prostoru s pomočjo infrardečih kamer in reflektivnih markerjev in sicer tako, da kamere oddajajo infrardečo svetlobo in beležijo njene odboje od reflektivnih markerjev ter na ta način sledijo poziciji markerjev v prostoru. Te po navodilih proizvajalca namestimo na človeka, ki ga želimo meriti (glej sliko 2a). Ker nas med zajemanjem podatkov



Slika 2: Sistem za merjenje gibanja človeka in njegove mišične aktivnosti. a) Subjekt s pravilno nameščenimi markerji in EMG senzorji. b) Približan pogled pritrjenih markerjev in EMG-jev. c) Ustvarjen 3D skelet subjekta v programu Motive.

zanimajo pozicije in orientacije sklepov človeškega telesa v določenem času, markerji pa se ne nahajajo točno na sklepih, smo morali ustvariti še 3D skelet človeka, ki ga merimo. To smo storili v programu Motive [8], kjer se 3D model skeleta, prikazan na sliki 2c, ustvari samodejno. Motive tako poleg lokacije markerjev beleži tudi podatke o poziciji in orientaciji sklepov 3D skeleta.

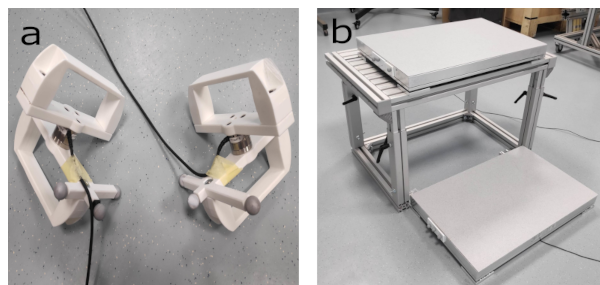
2.2 Merjenje mišične aktivnosti

Poleg samega gibanja človeka med različnimi oblikami vstajanja, nas zanima tudi njegova mišična aktivnost. Ta nam namreč pokaže, koliko napora je človek potreboval za izvedbo določenega giba. Tako lahko primerjamo kako lahko pomoč pri vstajanju s strani robota ali drugega človeka pomaga pri zmanjšanju napora vstajanja. Za merjenje mišične aktivnosti smo izbrali Delsys Tringo Avanti EMG senzorje [9], katerih podatke odčitavamo s 1000 Hz s pomočjo Matlab programa.

2.3 Merjenje sil

Pomemben faktor pri raziskovanju gibanja človeka med vstajanjem so tudi interakcijske sile med človekom in okoljem, v katerem se nahaja. V primeru naših eksperimentov se te sile delijo na dve kategoriji - sile med človekom in podlago (t.j. tla in klop na kateri sedi) ter sile med človekom in njegovim partnerjem (t.j. človek ali robot, ki pomaga pri vstajanju).

Interakcijske sile med človekom in njegovim partnerjem nam povejo, kolikšna sila je potrebna za uspešen dvig človeka iz sedečega položaja. Za merjenje teh smo izdelali 2 ročaja, prikazana na sliki 3a. V sredini obeh ročajev



Slika 3: Oprema za merjenje interakcijskih sil. a) 3-D natisnjena ročaja z merilniki sil za merjenje interakcijskih sil med človekom in njegovim partnerjem. b) Ploskovna merilnika sil nameščena na klop in tla.

se nahaja senzor sile, ki meri tako sile, kot tudi navorov v vseh treh prostorskih dimenzijah [10], držala pa so natisnjena s 3D tiskalnikom.

Interakcijske sile med človekom in podlago nam omogočajo vpogled v stabilnost človeka med vstajanjem, kot je predstavljeno v [6]. Le-te lahko v predstavljenem sistemu spremljamo preko ploskovnih senzorjev sil (ang. *force plate*) [11], ki nam podajo vrednosti izmerjenih sil in navorov v vseh treh prostorskih dimenzijah in smo jih namestili na tla in klop (glej sliko 3b).

Tako kot pri EMG senzorjih lahko tudi podatke iz programa Motive in vseh senzorjev sil spremljamo in beležimo v realnem času preko Matlab programa; podatke iz

programa Motive in senzorjev sil, pritrjenih med ročaji, smo beležili s 100 Hz, podatke iz ploskovnih senzorjev sil nameščenih na tleh in na klopi pa smo beležili s 500 Hz.

Same vrednosti interakcijskih sil pa niso dovolj za njihovo razumevanje. Te smo morali tudi umestiti v prostor, kjer se človek nahaja, kar smo storili preko sledenja položajev in orientacij posameznih merilnikov sil. Da bi lahko sledili prijemališčem vseh sil, ki delujejo na vstajajočega človeka, smo ponovno uporabili sistem Optitrack, ki nam omogoča, da sledimo tudi položaju ter orientaciji togih teles, če nanje namestimo reflektivne markerje ter v programu Motive ustvarimo njihove modele. Zato smo namestili reflektivne markerje še na ročaje in ploskovne merilnike sil, kot je prikazano na sliki 3.

2.4 Sinhronizacija sistema

Ker je za izvedbo eksperimentov potrebna uporaba več naprav za merjenje, je ena izmed večjih problematik postavitve sistema za eksperiment sinhronizacija vseh merilnih naprav.

Do asinhronega zapisa podatkov iz različnih naprav je prihajalo zato, ker je fizično nemogoče vse naprave zagnati naenkrat – tudi, ko smo uspeli izdelati virtualni gumb, ki naj bi zagnal vse meritve istočasno, je namreč prišlo do zamikov med vzpostavljanjem povezave med različnimi merilnimi napravami in računalnikom, kjer smo brali podatke.

Problem sinhronizacije smo rešili tako, da smo za vsako merilno napravo posebej zabeležili čas, ob katerem je vzpostavila povezavo z računalnikom. To nam omogoča, da lahko med analizo upoštevamo zamik med posameznimi začetnimi časi.

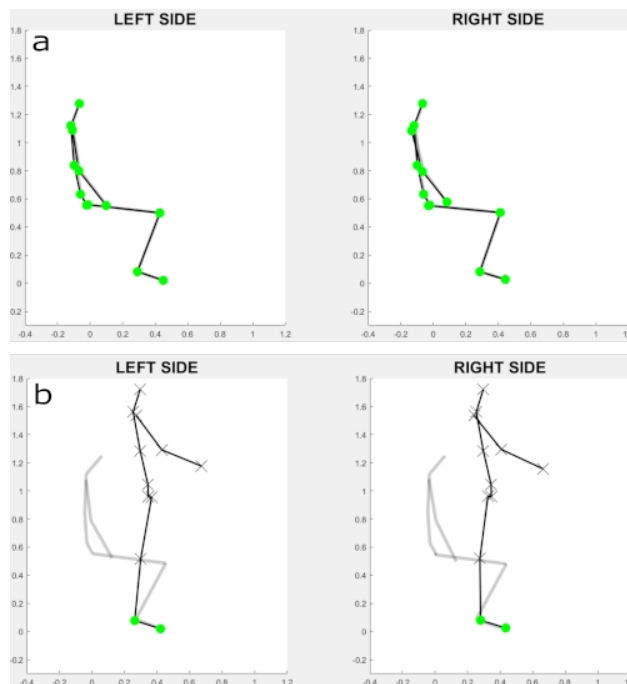
3 Uporabniški vmesnik

Za dobro ponovljivost eksperimentov je pomembno razviti tudi uporabniški vmesnik. Z njim smo namreč želeli omogočiti, da se lahko oseba, ki izvaja eksperiment, vrne v enak začetni položaj vsako ponovitev.

Delovanje razvitega uporabniškega vmesnika je sledeče: na ekranu pred osebo, ki izvaja eksperiment, se izrišeta dva skeleta – en za levi in en za desni profil osebe, kot je prikazano na sliki 4. Prvi skelet (sive barve) predstavlja zelen začetni položaj človeka, drugi skelet (črne barve) pa predstavlja trenutni položaj človeka v realnem času.

Uporabniški vmesnik preverja, če se trenutni položaj človeka ujema z zelenim tako, da primerja kote med zaporednimi segmenti skeleta v trenutnem in idealnem položaju. Če se ti med seboj razlikujejo za največ 15, se člen med segmenti obarva zeleno (glej sliko 4). Ko so vsi členi skeleta obarvani zeleno se oseba nahaja znotraj zelenega začetnega položaja. Tako dobi človek, ki izvaja eksperiment, povratno informacijo ali je v pravilnem položaju ali ne, preden začne z vstajanjem.

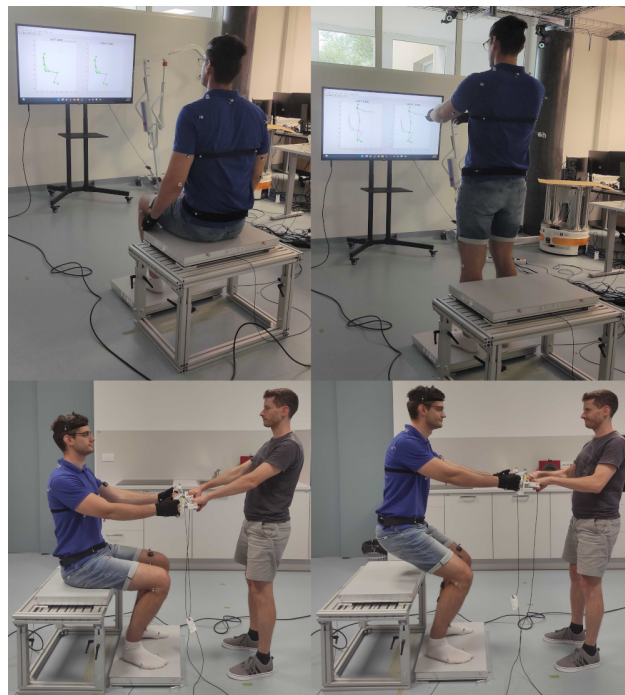
Zaradi težnje k poenotenemu sistemu je tudi uporabniški vmesnik narejen v MATLAB programu, podatke o trenutni poziciji in orientaciji členov pa prejema direktno iz programa Motive.



Slika 4: Uporabniški vmesnik za spremljanje položaja človeka.

4 Testne meritve

Ker smo želeli preveriti, če celoten sistem, ki smo ga opisali v poglavjih 2 in 3 deluje, smo izvedli testno meritve vstajanja. To smo storili tako, da je moral testni subjekt 5-krat vstati samostojno ter 5-krat s pomočjo druge osebe, kot je prikazano na sliki 5. Pri tem je moral s pomočjo



Slika 5: Simulacija eksperimenta, kjer človek vstaja samostojno (zgoraj) in s pomočjo človeškega partnerja (spodaj).

uporabniškega vmesnika skrbeti, da se vsakič postavi v enak začetni položaj. Med testnimi meritvami smo spre-

mljali delovanje uporabniškega vmesnika v realnem času ter sinhronizacijo vseh merilnih naprav.

5 Rezultati

Na sliki 6 lahko vidimo primer signalov, ki jih predstavljen sistem lahko beleži. In sicer lahko vidimo mišično aktivnost stegna, pozicijo kolka, interakcijsko silo med stopali osebe in tlemi ter interakcijsko silo v ročaju. Vidimo lahko, da se vrednosti vseh ustreznih signalov (t.j. mišična aktivnost stegna in sile tal ali mišična aktivnost podlahti in sile ročajev) odzovejo v enakem trenutku, kar potrjuje, da so vsi merilni sistemi med seboj sinhronizirani.

6 Zaključek

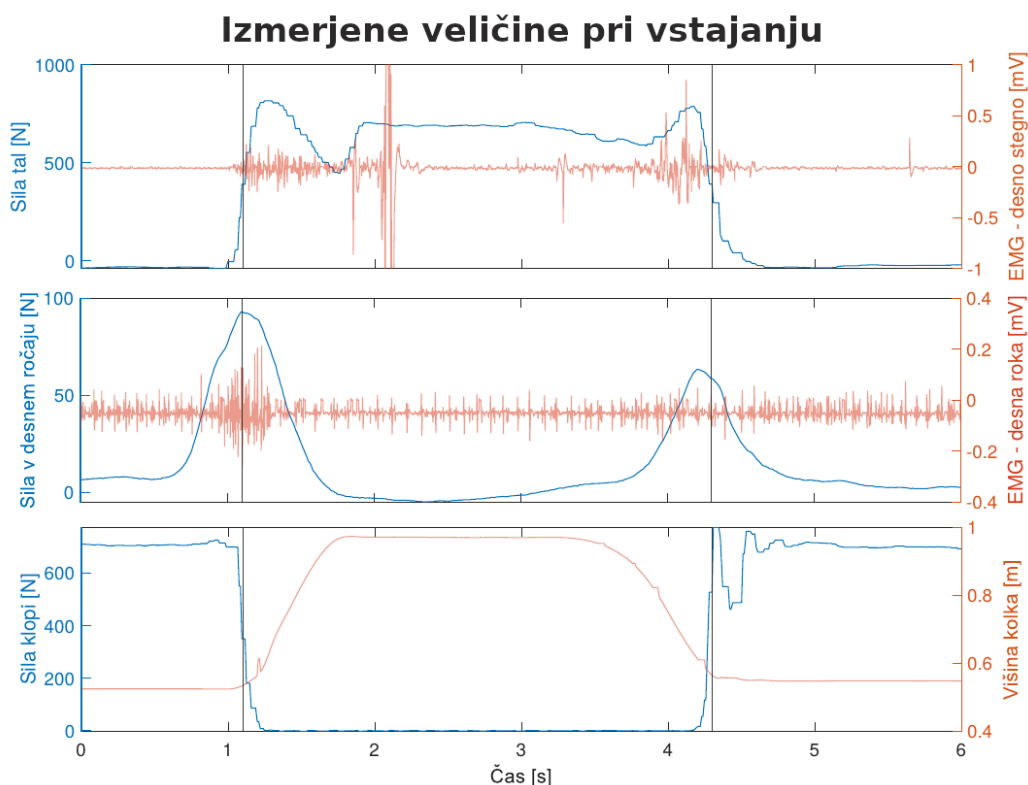
V tem prispevku smo predstavili merilni sistem, ki ga bomo uporabil za nadaljnje raziskovanje kinematike vstajanja ljudi – naj si bo to kadar ljudje vstajajo sami ali kadar vstajajo s pomočjo drugega človeka, robota, ali pritrjenega držala.

S testnimi meritvami smo pokazali, da je predstavljen sistem dobro zasnovan, saj omogoča sinhronizirano merjenje različnih veličin med vstajanjem. Sinhronizacija različnih merilnih naprav je namreč nujna, če želimo dobiti kar se da realistično sliko procesa vstajanja. To pa je še dodatno pomembno, če želimo v prihodnosti prenesti samo večino vstajanja in pobiranja človeka na humano- idnega robota.

Acknowledgement: This work was supported by Slovenian Research Agency grant N2-0153.

Literatura

- [1] NASA, “Nasafacts - robonaut facts,” tech. rep., 2011.
- [2] A. J. Ijspeert, “Central pattern generators for locomotion control in animals and robots: A review,” *Neural Networks*, vol. 21, no. 4, pp. 642 – 653, 2008, robotics and Neuroscience.
- [3] T. Petrič, A. Gams, J. Babič, and L. Žlajpah, “Reflexive stability control framework for humanoid robots,” *Autonomous Robots*, vol. 34, 05 2013.
- [4] Z. Zhu and H. Hu, “Robot learning from demonstration in robotic assembly: A survey,” *Robotics*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [5] L. Mišković, R. Kropivšek Leskovar, A. Gams, and T. Petrič, “Optimizing end-effector force during the sit-stand task on the talos humanoid bipedal robot,” 2021, p. 175–178. [Online]. Available: <https://erk.fe.uni-lj.si/2021/erk21.pdf>
- [6] T. Brecej and T. Petrič, “Angular dependency of the zero moment point,” in *Advances in Service and Industrial Robotics*. Springer International Publishing, 2021, pp. 135–144.
- [7] “Optitrack,” <https://optitrack.com/>, August 2022.
- [8] “Motive,” <https://optitrack.com/software/motive/>, August 2022.
- [9] “Emg,” <https://delsys.com/trigno/>, August 2022.
- [10] “Merilnik sil,” https://www.at-ia.com/products/ft/ft_models.aspx?id=Nano25, August 2022.
- [11] “Ploskovni merilniki sil,” <http://www.btsbioengineering.com/products/infini-t-force-platform/>, August 2022.



Slika 6: Primer izmerjenih veličin med vstajanjem. Vsak izrisan graf prikazuje primerjavo različnih veličin, ki bi se morale v teoriji spreminjati sinhrono.