

Nekateri vidiki simulacije sodelovalnega robota

Oto Težak, Mitja Truntič

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Koroška cesta 46, 2000 Maribor
E-pošta: oto.tezak@um.si

Some aspects of simulations of the collaborative robot

Abstract. This paper presents simulations of the collaborative robot UR5 with emphasis on the use of artificial potential fields. The robot's operation is determined using artificial potential fields to avoid collision risk with an obstacle. In the extreme case, this obstacle is a human being who is within the robot's working range. We have used simulation to investigate the influence of the radius of the repulsive field on the robot's performance. The simulations showed the suitability of using artificial potential fields to avoid collisions with obstacle. The analysis of the results of the end effector deviations from goal position showed a relatively small influence of the repulsive field's radius on the deviation's magnitude. The simulations also revealed new aspects of the complexity of the robot's performance when moving to 6 degrees of freedom.

1 Uvod

V tem prispevku predstavljamo simulacijo in statistično analizo delovanja sodelovalnega robota s stališča morebitnih kolizij z okoljem ter poudarkom na človeku, ki je v delovnem območju robota. V izogib nevarnosti kolizije z oviro je uporabljena metoda umetnih potencialnih polj. Ta, sicer dobro poznana metoda, tvori navidezno odbojno potencialno polje okoli ovire in navidezno polje privlaka okoli ciljne točke vrha robota. Jakost odbojnega polja narašča s približevanjem oviri. S tem preprečujemo nevarnost dotika ovire. S statistično metodo smo analizirali vpliv velikosti polmera umetnega odbojnega polja.

Za proučevanje uporabe umetnih potencialnih polj, v primeru delovanja sodelovalnega robota, smo realizirali simulacijsko progo s točkastim ciljem, točkasto oviro in robotom s 6 stopnjami prostosti UR5 [1], ki ga kaže slika 1. Regulacije bližanja vrha robota zastavljenemu cilju nismo vključili v simulacijo, saj smo proučevali vpliv umetnih potencialnih polj do vzpostavitve ravnotežnega stanja. Robot UR5 je lahek in prilagodljiv sodelovalni industrijski robot, ki je namenjen srednje zahtevnim aplikacijam in ga odlikuje izjemna prilagodljivost. Zaradi njegove uporabnosti in razširjenosti smo uporabili njegov model.

Pri simulaciji smo uporabili Robotics toolbox avtorja R. Corca [2]. Simulacija je izvedena v programskem okolju MATLAB, firme MathWorks, Inc [3]. Predvsem nas je zanimal vpliv velikosti polmera odbojnega polja. Najprej smo analizirali štiri tipične

primere situacij, nato pa, z uporabo statističnega testa, raziskali še vpliv spremembe polmera odbojnega polja.

Ugotovili smo primernost uporabe umetnih potencialnih polj za izogibanje kolizij sodelovalnega robota. Prav tako smo lahko opozorili na nekatere nove probleme, ki nastopijo pri uporabi kompleksnejših robotov s šestimi prostostnimi stopnjami.



Slika 1. Sodelovalni robot UR5.

2 Metoda umetnih potencialnih polj

Simulirano umetno potencialno polje [4] je sestavljeno iz dveh komponent: polja privlaka U_{attr} (1), ki ga določa ciljna točka in vpliva zgolj na vrh robota, ter polja odboja U_{rep} (2), ki ga določa ovira in vpliva na vse sklepe robota, oziroma na tiste sklepe, ki so v območju delovanja polja odboja. Na vrh robota tako vpliva skupno umetno potencialno polje U_{total} (3).

Polje privlaka:

$$U_{attr} = k_a \|e_G\| \quad (1)$$

pri čemer velja:

$$k_a > 0$$

in

$$e_G = G - INST$$

Polje odboja:

$$U_{rep} = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta_{rep} \left(\frac{1}{\|e_O\|} - \frac{1}{\rho_{rep}} \right) & \text{če je } \|e_O\| \leq \rho_{rep} \\ 0 & \text{če je } \|e_O\| > \rho_{rep} \end{cases} \quad (2)$$

Pri tem je:

$$e_O = O - INST$$

$$\eta_{rep} > 0$$

in:

$$\rho_{rep} > 0$$

ki omejuje vplivno območje točkaste ovire.

Skupno umetno potencialno polje:

$$U_{total} = U_{attr} + U_{rep} \quad (3)$$

nastopi samo v vrhu robota.

Iz umetnega potencialnega polja tvorimo sile na sklepe robota. V splošnem velja enačba za velikost sile:

$$f = -\nabla U \quad (4)$$

Skupno silo sestavljata sila privlaka in odboja:

$$f_{total} = f_{attr} + f_{rep} \quad (5)$$

Komponente sil določimo za vse osi zunanjih koordinat. Navore, ki jih povzročata umetni potencialni polji preko privlačnih in odbojnih sil, zanemarimo.

Uporabimo relacijo, ki velja za referenčne hitrosti notranjih spremenljivk [4]:

$$\dot{q} = \sum_{i=1}^{P-1} J_i^T(q) f_{rep}(p_i) + J_P^T(q) f_{total}(p_P) \quad (6)$$

Vrednosti \dot{q} uporabimo kot referenčne vrednosti za nizko nivojske zanke vodenja.

Uporabljene oznake:

U_{attr} - umetno potencialno polje privlaka,

U_{rep} - umetno potencialno polje odboja,

U_{total} - skupno umetno potencialno polje,

k_a – konstanta polja privlaka,

η_{rep} – konstanta polja odboja,

ρ_{rep} – polmer vpliva polja odboja,

G – želeni položaj vrha robota,

O – položaj ovire,

$INST$ – trenutni položaj,

e_G – vektor med trenutnim in želenim položajem vrha robota,

e_O – vektor med trenutnim položajem in oviro,

$\|e_G\|$ – razdalja med trenutnim in želenim položajem vrha robota,

$\|e_O\|$ – razdalja med trenutnim položajem in oviro,

f – sila,

f_{attr} – sila privlaka,

f_{rep} – sila odboja,

f_{total} – skupna sila,

p – točka,

P – število prostostnih stopenj robota,

J_i – Jakobian robota do sklepa i ,

q – vektor notranjih spremenljivk robota,

\dot{q} – hitrost spremembe notranjih spremenljivk.

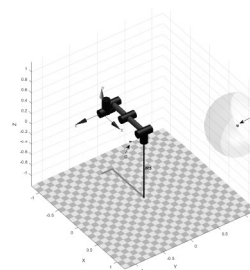
2.1 Vpliv umetnih potencialnih polj na robota

Simulacijo vpliva umetnih potencialnih polj na uporabljeni robot UR5 smo izvedli tako, da smo določili položaja postavljene ovire $O(1, 1, 0.4)$ in želenega cilja vrha robota $G(0.5, -0.6, 0.5)$ za štiri primere $\rho_{rep} [0.5, 1.5, 1.9, 2.5]$, ki jih poimenujemo C1, C2, C3 in C4. Predpostavili smo relaksirano začetno stanje notranjih spremenljivk, torej $q = [0, 0, 0, 0, 0, 0]$.

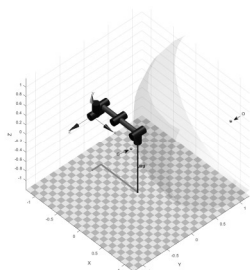
Na slikah 2-5 vidimo, poleg položaja cilja in ovire, tudi vplivno območje sile odboja, ki jo povzroča ovira.

Na slikah 6-13 so izrisani poteki krmilnih signalov q in \dot{q} za prvih 1000 korakov simulacije delovanja. Čas

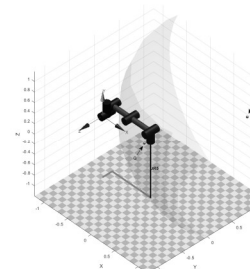
simulacije v okolju MATLAB, ob sprotih izrisih položaja robota, je 15 minut, medtem ko realni čas znaša osem sekund.



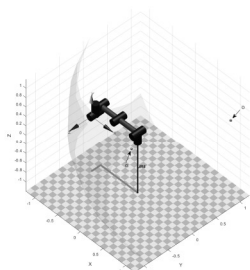
Slika 2. Položaj robota, primer C1.



Slika 3. Položaj robota, primer C2.



Slika 4. Položaj robota, primer C3.

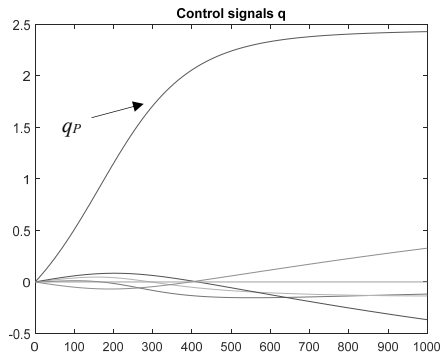


Slika 5. Položaj robota, primer C4.

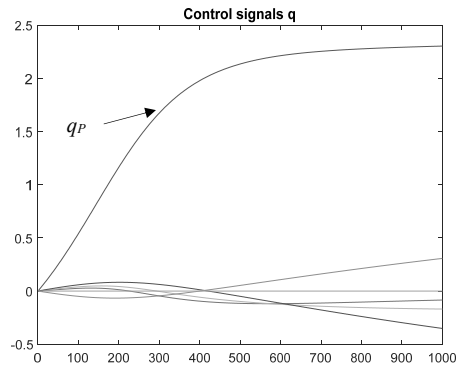
2.2 Vpliv polmera odbojnega polja

Vpliv polmera umetnega odbojnega polja smo raziskali z uporabo statistične analize vrednosti odstopanj.

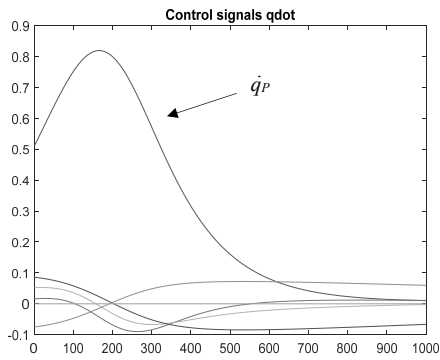
Nalogo zastavimo tako, da ob fiksno določenem položaju ovire O izberemo 21 ciljnih točk G .



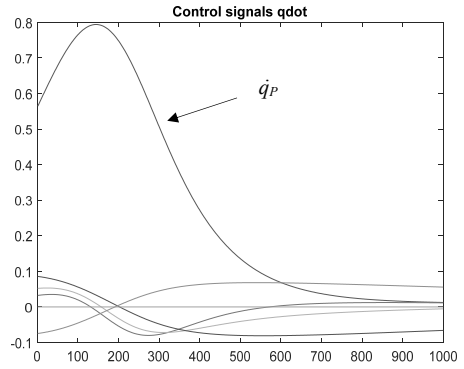
Slika 6. Primer C1, krmilni signali q .



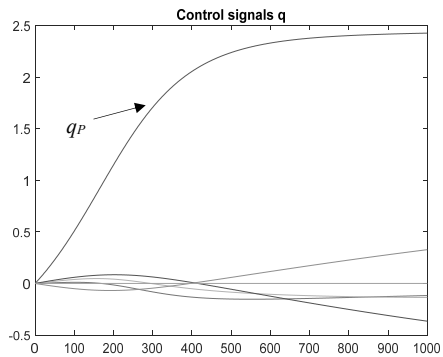
Slika 10. Primer C3, krmilni signali q .



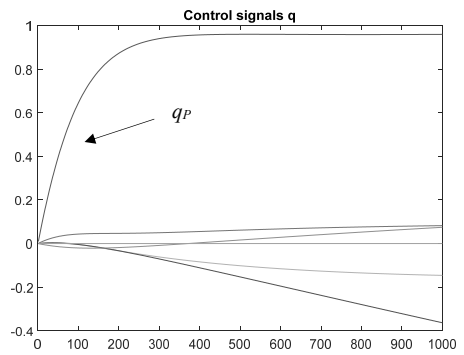
Slika 7. Primer C1, krmilni signali \dot{q} .



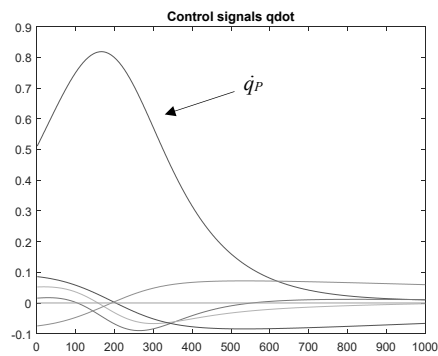
Slika 11. Primer C3, krmilni signali \dot{q} .



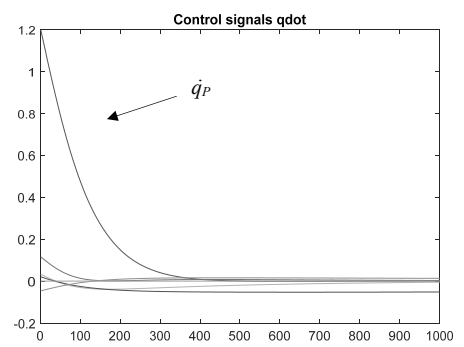
Slika 8. Primer C2, krmilni signali q .



Slika 12. Primer C4, krmilni signali q .



Slika 9. Primer C2, krmilni signali \dot{q} .



Slika 13. Primer C4, krmilni signali \dot{q} .

Opazovali smo sledeče veličine: q , \dot{q} , $\|\mathbf{e}_r\|$, $\|\mathbf{e}_d\|$ pri neodvisni spremenljivki korak iteracije oziroma čas t .

Primerjali smo odstopanja vrha robota od ciljne točke, kar je bila odvisna spremenljivka, za dve različni vrednosti polmera odbojnega polja (EG1 in EG2). Pri tem smo uporabili parni t-test za analizo rezultatov simulacije.

Statistično raziskovalno hipotezo smo testirali ob izbrani stopnji zaupanja $\alpha = 0,05$, kjer α predstavlja tveganje za napako I. reda, to je, da zavrnemo H_0 , čeprav je pravilna:

$$H_0: \mu_{dif} = 0; \mu_{dif} = \mu_{EG2} - \mu_{EG1} \quad (7)$$

$$H_1: \mu_{dif} \neq 0.$$

Uporabljene oznake:

μ_{EG1} - aritmetična srednja vrednost odstopanja vrha robota od ciljne točke pri vrednosti ρ_{rep1} ,

μ_{EG2} - aritmetična srednja vrednost odstopanja vrha robota od ciljne točke pri vrednosti ρ_{rep2} ,

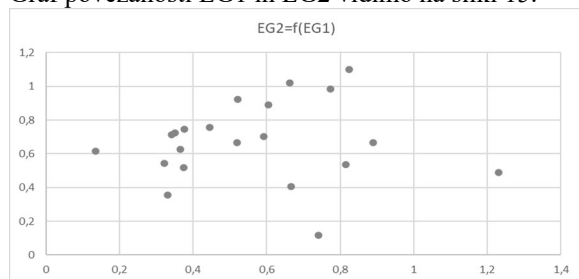
μ_{dif} - razlika aritmetičnih srednjih vrednosti odstopanj vrha robota od ciljne točke.

Parametre opisne statistike vidimo na sliki 14.

	EG1	EG2
Mean	0,57	0,67
Standard Error	0,06	0,05
Median	0,52	0,67
Standard Deviation	0,25	0,24
Sample Variance	0,06	0,06
Kurtosis	0,77	0,38
Skewness	0,75	-0,23
Range	1,09	0,99
Minimum	0,14	0,12
Maximum	1,23	1,10
Sum	11,88	14,10
Count	21	21

Slika 14. Parametri opisne statistike za oba eksperimenta.

Graf povezanosti EG1 in EG2 vidimo na sliki 15.



Slika 15. Diagram povezanosti EG1 in EG2.

Izpis parametrov t-testa vidimo na sliki 16.

	EG1	EG2
Mean	0,565738	0,671271
Variance	0,064885	0,055518
Observations	21	21
Pearson Correlation	0,041854	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	20	
t Stat	-1,42376	

P(T<=t) one-tail	0,084965
t Critical one-tail	1,724718
P(T<=t) two-tail	0,169931
t Critical two-tail	2,085963

Slika 16. Parni t-test aritmetičnih srednjih vrednosti.

Iz opisanega sledi statistični sklep:

Hipotezo H_0 obdržimo.

Ugotovitev:

Parni t-test pri spremembi ρ_{rep} ni pokazal statistično pomembnih razlik med aritmetično srednjo vrednostjo odstopanja vrha robota od ciljne točke G, pri stopnji zaupanja $\alpha=0,05$.

3 Ugotovitve in diskusija

Vrh robota se je v vseh obravnavanih primerih uspešno izognil oviri. V izvedenih eksperimentih ni prišlo do nevarnosti kolizije med vrhom ali katerim koli sklepom opazovanega robota UR5 in oviro. Ob ustrezni izbiri parametrov bi metoda umetnih potencialnih polj, v primeru mobilnega robota, zagotovila izogibanje oviri; v primeru sodelovalnega robota tega ne moremo trditi zagotovo, saj navkljub upoštevanju izogibanja oviri ne moremo preprečiti kolizije sklepov z le-to. Slednje lahko odpravimo z dodatnim nadzorom, in sicer s spremljanjem točk med sklepi na robotu.

Pri izvedenih eksperimentih ni bilo regulacije pomika vrha robota v smeri cilja; pri čemer je bila aktivna le zaščita, izvedena z umetnimi potencialnimi polji, da ni prišlo do stika z oviro. Pomik vrha robota je trajal le do vzpostavitve ravnotežja med navideznimi odbojnimi in privlačnimi silami, zato vrh ni dosegel ciljne točke G. To je poznan problem neželenega ravnotežja, ki se pojavlja pri uporabi metode umetnih potencialnih polj, a to ni bil predmet naše raziskave.

4 Zaključek

Uporabo umetnih odbojnih in privlačnih potencialnih polj, pri določanju poti vrha robota in za izogibanje oviram, smo proučili na primeru robota s 6 prostostnimi stopnjami Universal Robots UR5.

Opravljenе simulacije in analiza rezultatov so pokazali, da je uporaba metode umetnih potencialnih polj primerna za izogibanje oviram in določitev poti vrha robota.

Literatura

- [1] U. Robots, "Universal Robot UR5," <https://www.universal-robots.com/products/ur5-robot/>, 2020.
- [2] P. Corke. [Online]. Available: <http://petercorke.com/wordpress/toolboxes/robotics-toolbox>. [Accessed 3 2 2020].
- [3] MathWorks, "MATLAB," MathWorks, Inc, https://de.mathworks.com/products/matlab.html?s_tid=hp_ff_p_matlab, 2020.
- [4] G. Oriolo, "Autonomous and Mobile Robotics," Sapienza, Università di Roma, https://www.dis.uniroma1.it/~oriolo/amr/slides/MotionPlanning3_Slides.pdf, 2020.