

ROBOTO EISENOS PARINKIMAS PAGAL PĖDŲ KOORDINAČIŲ
VIDUTINĘ STANDARTINĘ NUOKRYPĄ

Tomas Luneckas

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas tomas.luneckas@vgtu.lt*

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama galimybė parinkti roboto eiseną pagal pėdų z koordinacių vidutinę standartinę nuokrypą. Pirmiausia apibrėžiamas paviršiaus netolygumas, kuris susiejamas su roboto kojų matmenimis. Apibrėžiamos aukščių ribos esant nuliniam, mažam / vidutiniam, dideliame, labai dideliame ir neįveikiamam paviršiaus netolygumui. Eksperimentiškai nustatomos vidutinės standartinės nuokrypos ribos esant apibrėžtiems paviršiaus netolygumams. Taip pat sudaromos pirminės taisyklės eisenai keisti. Įvardijami pagrindiniai tokio eisenos parinkimo būdo trūkumai ir pateikiamas galimas problemos sprendimo būdas.

Reikšminiai žodžiai: šešiakojis robotas, paviršiaus netolygumas, eisenos parinkimas, vidutinė standartinė nuokrypa.

Įvadas

Šešiakojai robotai pasižymi didžiausiu stabilumu iš visų robotų, žingsniuojančių nelygiu paviršiumi (Moosavian *et al.* 2010; Silva *et al.* 2006). Tačiau norint užtikrinti sklandų roboto judėjimą bet kokių paviršiumi svarbu teisingai parinkti eiseną esant skirtingiems paviršiams.

Norint teisingai ir optimaliai parinkti roboto eiseną, pirmiausia turi būti nustatytas paviršiaus netolygumas, kuriuo žingsniuojama robotas. Kadangi kiekvieno žingsnio momentu roboto valdymo sistema žino kiekvienos kojos koordinatę, pagal jas galima įvertinti paviršių, kuriuo žingsniuojama tuo momentu (Luneckas 2011).

Šiame straipsnyje pirmiausia apibrėžiamas paviršiaus netolygumas, kuris susiejamas su roboto matmenimis. Apibrėžiamos sąlygos eisenai parinkti esant skirtingam paviršiaus netolygumui. Pateikiamas eksperimentinis vidutinės kvadratinės nuokrypos ribų nustatymas. Pagal gautus rezultatus įvardijami paviršiaus netolygumo vertinimo pagal roboto pėdų z koordinacių vidutinę kvadratinę nuokrypą trūkumai. Pateikiamos išvados ir apibendrinimas.

Paviršiaus netolygumo apibrėžimas

Norint įvertinti paviršiaus netolygumą, reikia žinoti kalnelių aukštį ir duobių gylį. Paviršiaus netolygumą labai patogu susieti su roboto matmenimis, kitaip tariant, su roboto gebėjimu peržengti arba atsistoti ant tam tikro aukščio ar gylio / pločio kliūtis. Taigi roboto einamumas yra tiesiogiai susijęs su jo kojos matmenimis. Tarkime, roboto kojos

sieksnis (žingsnio ilgis) pažymimas L , tada apibrėžiame tokias netolygaus paviršiaus rūšis:

- Nulinis / mažas – $0 \leq z_i < \pm 1/10L$.
- Mažas / vidutinis – $\pm 1/10L \leq z_i < \pm 1/5L$.
- Didelis / labai didelis – $\pm 1/5L \leq z_i < \pm 1/2L$.
- Labai didelis / neįveikiamas – $\pm 1/2L \leq z_i < \pm L$.

Čia z_i – roboto pėdos z koordinatė, i – kojos numeris.

Kadangi dabartinio roboto kojos sieksnis $L = 144$ mm, tai šiuos intervalus galima perrašyti taip:

- Nulinis / mažas – $0 \text{ mm} \leq z_i < \pm 14 \text{ mm}$.
- Mažas / vidutinis – $\pm 14 \text{ mm} \leq z_i < \pm 28 \text{ mm}$.
- Didelis / labai didelis – $\pm 28 \text{ mm} \leq z_i < \pm 72 \text{ mm}$.
- Labai didelis / neįveikiamas – $\pm 72 \text{ mm} \leq z_i$ ir $z_i < \pm 144 \text{ mm}$.

Žinant apsibrėžtą paviršiaus netolygumą, ir kad roboto visų pėdų z koordinatės yra viename iš numatytų intervalų, galima nustatyti, kokių paviršiumi žingsniuojama robotas.

Eisenos parinkimas pagal paviršiaus netolygumą

Roboto eiseną tiesiogiai daro įtaką roboto judėjimo greičiui, stabilumui / atsargumui ar keliamajai galiai (Mazzapioda, Nolfi 2006). Taigi, robotui judant bet kokių paviršiumi, turi būti atsižvelgiama į visus jo judėjimui keliamus reikalavimus. Tarkime, judant visiškai lygiu ir žinomą paviršiumi galima parinkti greitesnę, bet mažiau stabilią eiseną.

Priklausomai nuo paviršiaus netolygumo, roboto eiseną turėtų būti parenkama taip:

- Nulinis / mažas netolygumas – trikojė eiseną.
- Mažas / vidutinis netolygumas – banguojanti arba dvikojė eiseną.
- Didelis / labai didelis netolygumas – pulsuojanti eiseną.
- Labai didelis / neįveikiamas netolygumas – kito maršruto parinkimas.

Kadangi robotui žingsniuojant paviršiaus netolygumas gali pasikeisti kelis žingsnius iš eilės, reikia nustatyti sąlygą, kad eiseną turi būti keičiama tik tuo atveju, jei tris žingsnius iš eilės paviršiaus netolygumas nesikeičia.

Paviršiaus vertinimas pagal pėdų koordinatų vidutinę kvadratinę nuokrypą

Vienas paprasčiausių ir reikalaujančių mažiausiai skaičiavimo paviršiaus netolygumo nustatymo būdų gali būti roboto pėdų z koordinatų pasiskirstymas apie bendrą vidurkį (Luneckas 2011). Apibrėžus paviršiaus netolygumo ribas, nustatomos vidutinės kvadratinės nuokrypos kitimo ribos esant šiems netolygumams. Tai atliekama atsitiktinai generuojant roboto pėdų z koordinates ir kiekvieną kartą skaičiuojant vidutinę kvadratinę nuokrypą. Koordinatės generuojamos naudojant tolyginę atsitiktinių skaičių generavimo funkciją. Kiekviena roboto pėdos koordinatė atsitiktinai generuojama iš parinkto intervalo. Koordinatės ženklas (+ ar -) taip pat parenkamas atsitiktinai. Toliau pateikiama MATLAB programos dalis, vykdanči atsitiktinį vienos koordinatės generavimą:

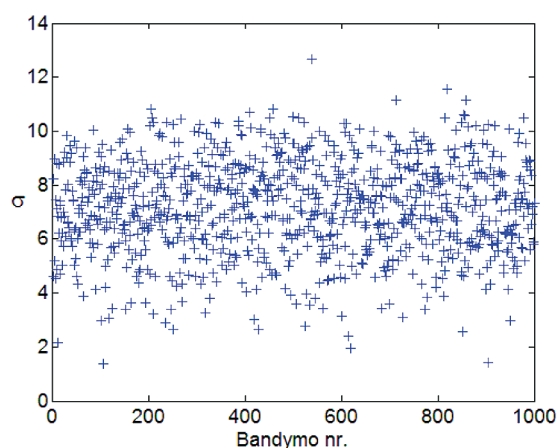
```
low1=-144; high1=-72;
low2=72; high2=144;
if(rand<=0.5)
z1=low1+(high1-low1)*rand;
else
z1=low2+(high2-low2)*rand;
end
```

Atlikus 1000 bandymų gaunamas σ pasiskirstymas esant skirtingiems paviršiaus netolygumams (1–4 pav.).

Atsižvelgiant į gautus rezultatus, paviršiaus netolygumą susieti su vidutine kvadratine nuokrypa galima taip:

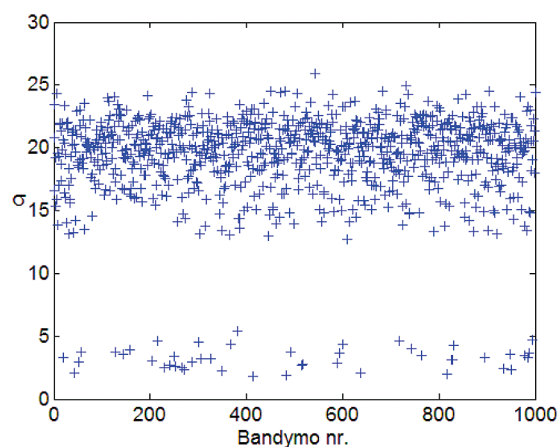
- $0 \leq \sigma < 12$ – nulinis / mažas netolygumas.
- $10 \leq \sigma < 28$ – mažas / vidutinis netolygumas.
- $28 \leq \sigma < 65$ – didelis / labai didelis netolygumas.
- $60 \leq \sigma < 135$ – labai didelis / neįveikiamas netolygumas.

Taigi, kiekvieno žingsnio metu skaičiuojant σ , galima įvertinti paviršių, kuriuo žingsniuojama. 5–8 pav. pateikti roboto modeliavimo pavyzdžiai esant skirtingiems σ .



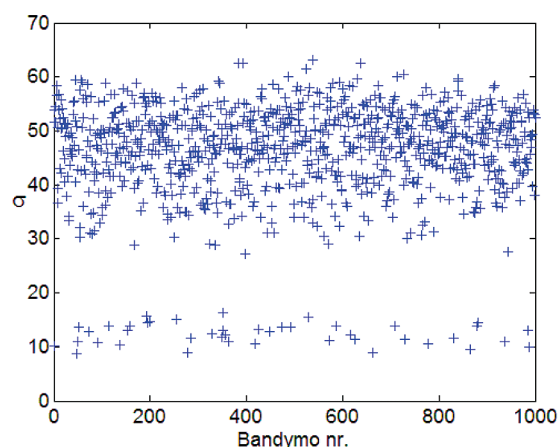
1 pav. Vidutinės kvadratinės nuokrypos σ ribos esant nuliniam / mažam paviršiaus netolygumui

Fig. 1. Average standard deviation σ at none / low terrain roughness



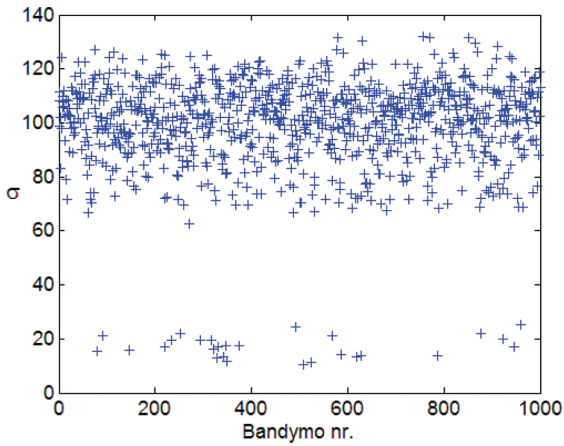
2 pav. Vidutinės kvadratinės nuokrypos σ ribos esant mažam / vidutiniam paviršiaus netolygumui

Fig. 2. Average standard deviation σ at low / average terrain roughness



3 pav. Vidutinės kvadratinės nuokrypos ribos σ esant dideliame / labai dideliame paviršiaus netolygumui

Fig. 3. Average standard deviation σ at high / very high terrain roughness



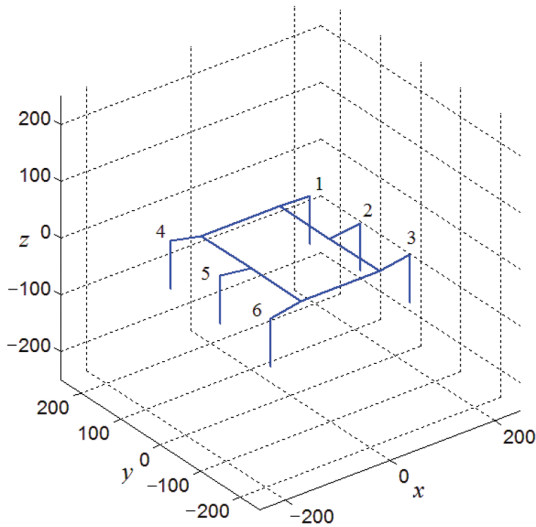
4 pav. Vidutinės kvadratinės nuokrypos ribos σ esant labai dideliam / neįveikiamam paviršiaus netolygumui

Fig. 4. Average standard deviation σ at very high / impassable terrain roughness

Vidutinės kvadratinės nuokrypos trūkumai

Eksperimentiškai nustačius σ ribines vertes, galima pastebėti, kad σ intervalai susikerta (1–4 pav.). Tai reiškia, kad tuo atveju, kai nustatoma σ vertė iš vieno iš susikertančių intervalų, atsiranda prieštaravimas, t. y. paviršiaus netolygumą galima priskirti dviem kategorijoms.

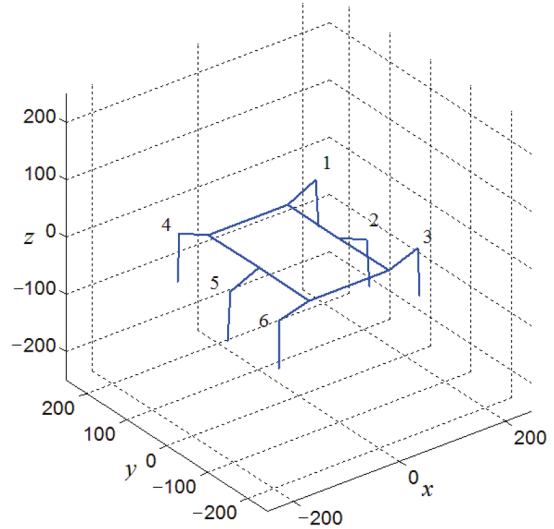
Taip pat galima pastebėti (2–4 pav.), kad esant tam tikroms pėdų koordinatėms σ reikšmė visiškai išsiskiria iš bendro intervalo, todėl paviršiaus netolygumas gali būti nustatomas neteisingai.



5 pav. Roboto būseną, esant nuliniam / mažam paviršiaus netolygumui ($z_1 = -3,58$ mm, $z_2 = 6,72$ mm, $z_3 = 8,54$ mm, $z_4 = 12,0$ mm, $z_5 = 8,07$ mm, $z_6 = -10,6$ mm ir $\sigma = 7,94$)

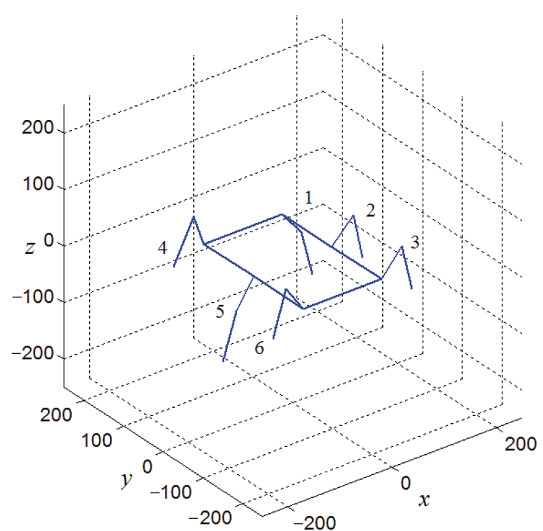
Fig. 5. Robot state at none / low terrain roughness ($z_1 = -3.58$ mm, $z_2 = 6.72$ mm, $z_3 = 8.54$ mm, $z_4 = 12.0$ mm, $z_5 = 8.07$ mm, $z_6 = -10.6$ mm and $\sigma = 7.94$)

Trečias tokio paviršiaus vertinimo trūkumas yra visiškai neteisingas paviršiaus netolygumo įvertinimas. Tai gali atsitikti, jei pakis tik vienos iš kojų koordinatės. Šiai koordinatei pasikeitus σ gali būti pakankamai didelis, kad atitiktų bent vieną iš netolygaus paviršiaus intervalų (7 ir 9 pav.).



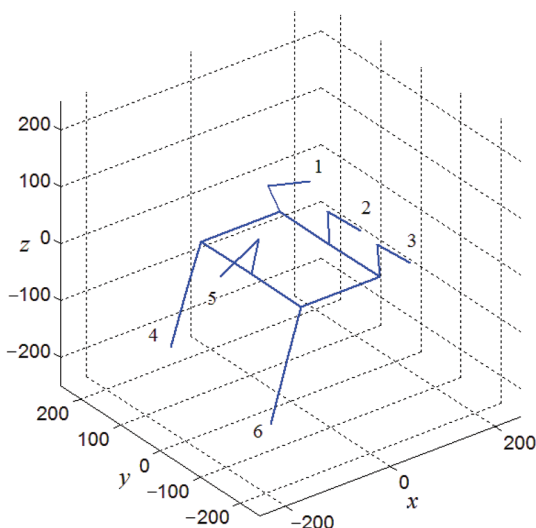
6 pav. Roboto būseną, esant mažam / vidutiniam paviršiaus netolygumui ($z_1 = 25,2$ mm, $z_2 = -22,4$ mm, $z_3 = 19,8$ mm, $z_4 = 22,8$ mm, $z_5 = -21,9$ mm, $z_6 = -14,2$ mm ir $\sigma = 21,3$)

Fig. 6. Robot state at low / average terrain roughness ($z_1 = 25.2$ mm, $z_2 = -22.4$ mm, $z_3 = 19.8$ mm, $z_4 = 22.8$ mm, $z_5 = -21.9$ mm, $z_6 = -14.2$ mm and $\sigma = 21.3$)



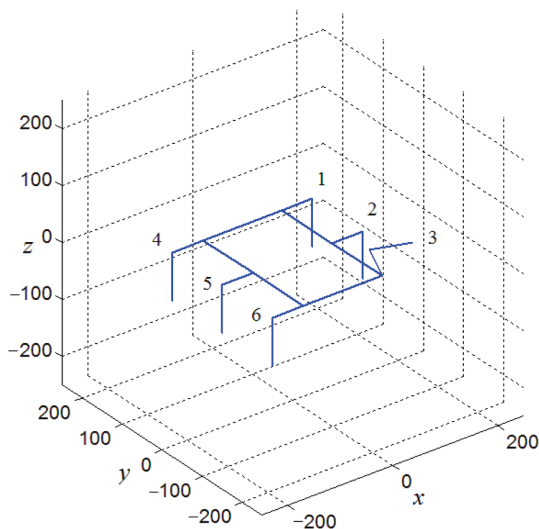
7 pav. Roboto būseną, esant dideliam / labai dideliam paviršiaus netolygumui ($z_1 = -42,9$ mm, $z_2 = 43,4$ mm, $z_3 = 46,3$ mm, $z_4 = 64,6$ mm, $z_5 = -45,0$ mm, $z_6 = 51,8$ mm ir $\sigma = 45,5$)

Fig. 7. Robot state at high / very high terrain roughness ($z_1 = -42.9$ mm, $z_2 = 43.4$ mm, $z_3 = 46.3$ mm, $z_4 = 64.6$ mm, $z_5 = -45.0$ mm, $z_6 = 51.8$ mm and $\sigma = 45.5$)



8 pav. Roboto būseną, esant labai dideliam / neįveikiamam paviršiaus netolygumui ($z_1 = 118$ mm, $z_2 = 87,7$ mm, $z_3 = 88,4$ mm, $z_4 = -79,9$ mm, $z_5 = 101$ mm, $z_6 = -100$ mm ir $\sigma = 89,7$)

Fig. 8. Robot state at very high / impassable terrain roughness ($z_1 = 118$ mm, $z_2 = 87.7$ mm, $z_3 = 88.4$ mm, $z_4 = -79.9$ mm, $z_5 = 101$ mm, $z_6 = -100$ mm and $\sigma = 89.7$)



9 pav. Roboto būseną, neteisingai įvertinus paviršiaus netolygumą ($z_1 = 0$ mm, $z_2 = 0$ mm, $z_3 = 122$ mm, $z_4 = 0$ mm, $z_5 = 0$ mm, $z_6 = 0$ mm ir $\sigma = 45,5$)

Fig. 9. Robot state when terrain roughness is wrongly evaluated ($z_1 = 0$ mm, $z_2 = 0$ mm, $z_3 = 122$ mm, $z_4 = 0$ mm, $z_5 = 0$ mm, $z_6 = 0$ mm and $\sigma = 45.5$)

Išvados

1. Eksperimentiškai nustatytos vidutinės kvadratinės nuokrypos ribos esant skirtingiems paviršiaus netolygumams. Rezultatai parodė, kad susidaro σ diapazonų persidengimas, kuris rodo, kad gali susidaryti situaci-

jos, kai ta pati nuokrypa σ nurodys skirtingus netolygumų intervalus.

2. Pastebėta, kad kartais susidaro pėdų deriniai, esant gerokai mažesnei vidutinei nuokrypai, todėl eiseną keisti reikėtų po ne mažiau kaip trijų į pasirinktą intervalą patenkančių žingsnių.
3. Pastebėta, kad galimos situacijos, kai pakitus tik vienos pėdos koordinatei, apskaičiuota σ pateks į vieno iš paviršiaus netolygumo ribas ir bus neteisingai įvertintas paviršiaus netolygumas.
4. Įvertinus minėtus vidutinės kvadratinės nuokrypos trūkumus, galima daryti išvadą, kad toks būdas nėra tinkamas paviršiaus netolygumui vertinti. Atsiranda poreikis vertinti kiekvienos roboto pėdos koordinatės atskirai ir visų koordinačių visumą. Teisingą koordinačių vertinimą ir eisenos parinkimą gali užtikrinti neraiškioji logika.

Literatūra

- Mazzapioda, M. G.; Nolfi, S. 2006. Synchronization and gait adaptation in evolving hexapod robots, in *From Animals to Animats 9: Proceedings of the Ninth International Conference on Simulation of Adaptive Behaviour*, 2006. Germany: Springer-Verlag, 113–125.
- Moosavian, S.; Ali, A.; Dabiri, A. 2010. Dynamics and planning for stable motion of a hexapod robot, in *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 2010. Montreal: IEEE, 818–823.
- Luneckas, T. 2011. Paviršiaus netolygumo vertinimas pagal roboto padėtį, iš *13-osios Lietuvos jaunujų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“* 3(1).
- Silva, M. F.; Tenreiro Machado, J. A.; Barbosa, R. S. 2006. Complex-order dynamics in hexapod locomotion, in *Signal Processing – Fractional Calculus Applications in Signals and Systems*, 2006. Netherlands: Elsevier North-Holland, Inc., 2785–2793.

ROBOT GAIT SELECTION ACCORDING TO THE AVERAGE STANDARD DEVIATION OF FEET COORDINATES

T. Luneckas

Abstract

The article analyzes a possibility of selecting robot gait according to the average standard deviation of z coordinate of its feet. First, terrain irregularity is categorized and linked to robot leg dimensions. Height limits are determined for none, low/average, high, very high and impassable terrain roughness. Average standard deviation limits are experimentally determined for categorized terrain roughness. Also, rules for gait selection are established. The key disadvantages of such gait selection are named and a probable solution to the problem is given.

Keywords: hexapod robot, terrain roughness, gait selection, average standard deviation.