

## Mechanics, material science, industrial engineering and management Mechanika, medžiagų inžinerija, pramonės inžinerija ir vadyba

### „KUKA YUBOT“ DINAMINIŲ CHARAKTERISTIKŲ TYRIMAS

Tadas LENKUTIS, Andrius DZEDZICKIS, Oleksii BALITSKYI, Liudas PETRAUSKAS,  
Rimgaudas URBONAS, Vytautas BUČINSKAS, Donatas VALIULIS,  
Inga MORKVĖNAITĖ-VILKONČIENĖ\*

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2018 m. gruodžio 11 d.; priimta 2018 m. gruodžio 12 d.

**Santrauka.** Siekiant išlaikyti konkurencinį ir techninį pranašumą, verslo subjektai savo veiklos procesuose vis dažniau įgyvendina pažangius techninius sprendimus, iš kurių dauguma apima įvairių tipų robotų sistemų diegimą. Vienas žinomiausių ir plačiai paplitusių universalios robotų sistemos pavyzdžių yra „KUKA youBot“ – modulinė robotų sistema, sukurta „KUKA“ kaip atvirojo kodo projektas švietimo ir mokslinių tyrimų srityje. Straipsnyje atliktas mokomojo robotų „KUKA youBot“ dinaminio atsako robotų griebtuve tyrimas. Gauti rezultatai palyginti pagal skirtingas koordinačių ašis, kai robotas juda maksimaliu greičiu dviem skirtingomis padėtimis. Ši sistema susideda iš dviejų pagrindinių modulių: robotų rankos su penkiais laisvės laipsniais ir universalios mobiliosios platformos. Robotų padėtis nustatoma naudojant dvi 1920×1080 vaizdo kameras. Ilgiausios trukmės virpesiai buvo užfiksuoti, kai vertikalojoje plokštumoje buvo sukama jungtis II. Trumpiausios trukmės virpesiai buvo užfiksuoti, kai sukama jungtis V. Norint sumažinti manipulatoriaus vibracijos trukmę darbo režimu, rekomenduojama naudoti robotų darbo padėtį, esančią horizontaliojoje plokštumoje.

**Reikšminiai žodžiai:** robotas, dinaminis atsakas, „KUKA youBot“, virpesių tyrimas.

## Įvadas

Šiuolaikinėje gamyboje yra daugybė gamybos etapų, kur reikalingas monotoninis judesys, o kartu ir nuolatinis dėmesys aukštos kokybės detalėms. Robotai, naudojami tokiems darbams atlikti, gali smarkiai pagreitinti tokias operacijas, kartu sutaupyti ir darbo užmokesčio išlaidų. Susiformavo tokia tendencija: darbą, kur leidžiamoji paklaida yra  $\pm 0,1$  mm ir didesnė, robotas gali atlikti skrupulingai vienodai. Pavojingose žmogui zonose arba ten, kur atliekami sunkių detalių kilnojimo darbai, robotai gali saugiai pakeisti žmogų, o švariose patalpose ir ten, kur reikia laikytis griežtų higienos reikalavimų, įrenginiai gali pašalinti užterštumo grėsmę. Lygiai taip pat tokie standartiniai ir dažnai varginantys darbai, kaip detalių išėmimas, įdėjimas į stakles, įrenginių priežiūra, produkto nukreipimas ir supakavimas, gali būti visiškai automatizuoti, taip perkeliant darbuotojus daug daugiau protinių pastangų reikalaujantiems darbams atlikti (Uždaroji akcinė bendrovė „Profibus“, 2015; International Robot Federation, 2017). Remiantis Tarptautinės robotų federacijos atliktu tyrimu, tinkamai prižiūrimo robotų naudojimo ciklo trukmė vidutiniškai yra 15 metų dirbant vidutiniškai 23 val. per parą.

Pirmuosius penkerius metus robotai gali dirbti be jokių sutrikimų (International Robot Federation, 2017).

Robotų taikymas pramonėje teigiamai veikia įmonės gaminamos produkcijos apimtį, gaminamo gaminio kokybę, gamybos sąnaudų mažėjimą. Lankstesnė gamybos struktūra padidina įmonės konkurencingumą rinkoje, nes prekės greičiau patenka į rinką, naujos linijos paleidžiamos greičiau, o produkcijos kainos skaičiuojamos lanksčiau. Nors industriniai robotai šiuolaikinėje rinkoje dirba labai tiksliai, jiems taip pat nustatomas techninės priežiūros laikas, kai būtina patikrinti robotų technines savybes – ar jis vis dar atitinka gamintojo sąlygas (Yan, Guilin, & I-Ming, 2009).

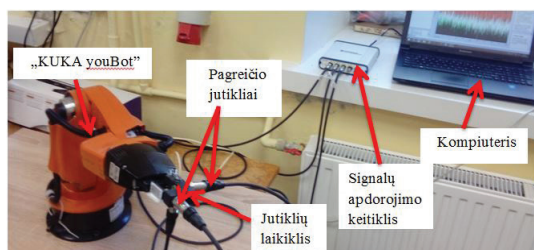
Pramoninių robotų tikslumą nusako padėties nustatymo paklaida, kuri yra viena svarbiausių jų charakteristikų. Padėties nustatymo tikslumas priklauso nuo daugelio veiksnių: robotui judesius suteikiančių pavarų parametrų, mechanizmų detalių gamybos paklaidų, paklaidų, atsirandančių dėl robotų grandžių paslankumo. Priklausomai nuo robotų tipo, jo keliamosios galios, funkcionavimo sąlygų, kiekvienas iš šių veiksnių gali turėti lemiamą

\*Autorius susirašinėti. El. paštas [inga.morkvenaite-vilkonciene@vgtu.lt](mailto:inga.morkvenaite-vilkonciene@vgtu.lt)

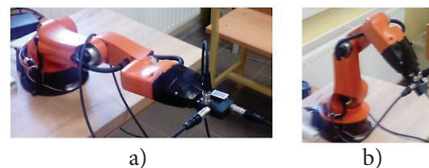
reikšmę manipulatoriaus padėties nustatymo tikslumui (Kyung-Jo, 2004). Priklausomai nuo matavimo pobūdžio, sąlygų ir turimų matavimo priemonių matavimai skiriami į tiesioginius ir netiesioginius. Tiesioginis matavimas – tai dydžio vertės nustatymas tiesiogiai iš bandymo duomenų. Netiesioginis matavimas – matuojamojo dydžio vertės radimas pagal determinuotą ryšį tarp matuojamojo dydžio ir kitų tiesiogiai arba netiesiogiai išmatuotų fizikinių dydžių. Darant tiesioginius matavimus, matuojamas objektas turi kontaktuoti su matavimo priemone, kas dažnu atveju nėra patogu. Darant netiesioginius matavimus, sunkiau užtikrinti reikiamą matavimo tikslumą, tačiau dažnu atveju naudojama paprastesnė matavimo įranga (Vekteris, Jurevičius, & Kilikevičius, 2009).

### 1. Matavimo įranga ir tiriamasis objektas

Tiriamasis objektas – „KUKA youBot“ robotas (1 paveikslas). Manipulatoriaus virpesiai matuojami pagreičio jutikliais „Ini 603C01“. Signalams apdoroti naudojamas „National Instruments“ signalų apdorojimo keitiklis „USB-4432“. Duomenims fiksuoti ir apdoroti naudojamas nešiojamasis kompiuteris „Lenovo“.



1 paveikslas. Eksperimentinis stendas  
Figure 1. Experimental apparatus



2 paveikslas. „KUKA youBot“ padėties eksperimentinio tyrimo metu

Figure 2. Positions of KUKA youBot during experiment

Pagreičio jutikliai sumontuoti 90° kampu trimis koordinacių kryptimis, kad fiksuotų visų krypčių virpesius. Virpesiai fiksuojami griebtuvo pozicijoje ir nusako roboto įrankio virpesius robotui atliekant judesį.

### 2. Eksperimentiniai tyrimai

Eksperimento metu matuoti manipulatoriaus griebtuvo virpesiai, sukant pirmąją sąnarą 60° kampu nuo pradinės matavimo padėties ir atgal. Bandymo metu pradinė matavimo padėtis buvo naudojama griebtuvą išlaikant 200 mm nuo pagrindo ir dviem atstumams nuo pirmos grandies centro: maksimaliai ištiestam manipuliatoriui (2 paveikslas, a) ir tarpinėje padėtyje (2 paveikslas, b). Eksperimento metu naudojamas didžiausias galimas sąnarų greitis.

Iš 1 lentelės matoma, kad didžiausioji vidutinė virpesių amplitudė, sukant pirmą sąnarą nuo pradinės padėties, abiem atvejais, užfiksuota vertikalojoje plokštumoje, atitinkamai siekė 0,756 ir 0,638. Vidutinis skirtumas – 15,4 %. Gražinant pirmą sąnarą atgal į pradinę padėtį, didžiausia vidutinė virpesių amplitudė, užfiksuota horizontaliojoje plokštumoje išilgine kryptimi, atitinkamai siekė 0,565 ir 0,575. Vidutinis skirtumas – 1,7 %. Tačiau panašios vidutinės amplitudės vertės šia kryptimi buvo

1 lentelė. Eksperimentinio tyrimo rezultatai  
Table 1. Results of experiment

		Vidutinė didžiausioji vertė, mm/s <sup>2</sup>	Vidutinė mažiausioji vertė, mm/s <sup>2</sup>	Vidutinė amplitudė	Sklaida	Vidutinė virpesių trukmė, s
Judėjimas nuo pradinio taško						
Visiškai ištiesto	Horizontalioji plokštuma, skersinė kryptis	0,103	-0,0918	0,195	0,288	1,78
	Horizontalioji plokštuma, išilginė kryptis	0,358	-0,186	0,544	0,621	1,73
	Vertikaloji plokštuma	0,400	-0,355	0,756	0,885	2,56
Tarpinėje padėtyje	Horizontalioji plokštuma, skersinė kryptis	0,134	-0,117	0,251	0,374	1,71
	Horizontalioji plokštuma, išilginė kryptis	0,260	-0,260	0,520	0,622	2,12
	Vertikaloji plokštuma	0,341	-0,297	0,638	0,772	1,74
Judėjimas į pradinį tašką						
Visiškai ištiesto	Horizontalioji plokštuma, skersinė kryptis	0,107	-0,069	0,177	0,234	1,71
	Horizontalioji plokštuma, išilginė kryptis	0,224	-0,342	0,565	0,792	1,70
	Vertikaloji plokštuma	0,168	-0,249	0,417	0,494	2,42
Tarpinėje padėtyje	Horizontalioji plokštuma, skersinė kryptis	0,139	-0,150	0,288	0,324	1,69
	Horizontalioji plokštuma, išilginė kryptis	0,314	-0,262	0,575	0,665	2,05
	Vertikaloji plokštuma	0,222	-0,217	0,439	0,524	1,64

fiksuojamas sąnariai judant nuo pradinio taško – atitinkamai 0,544 ir 0,520. Mažiausioji virpesių amplitudė, atliekant visus bandymo metu tirtus judėjimus, užfiksuota horizontaliojoje plokštumoje skersine kryptimi. Ilgiausia virpesių trukmė užfiksuota sukant visiškai ištiestą manipuliatorių vertikalojoje plokštumoje. Virpesiai vidutiniškai trumpiausiai truko robotui esant tarpinėje padėtyje vertikalojoje plokštumoje.

## Išvados

Atlikus eksperimentą matyti, kad virpesių amplitudė pasiekama nuo 0,177 iki 0,756 mm/s<sup>2</sup>, priklausomai nuo judėjimo tipo ir projekcijos. Didžiausi fiksuoti virpesiai pasiekiami vertikalojoje plokštumoje, todėl, projektuojant sistemą su pramoniniu robotu, reikėtų atkreipti dėmesį į vertikaliosios plokštumos tikslumo reikalavimus.

## Literatūra

- International Robot Federation. (2017). Prieiga per internetą: <http://www.irfnet.org>
- Yan, J., Guilin, Y., & I-Ming, C. (2009). Kinematic design of a family of 6-DOF partially decoupled parallel manipulators. *Mechanism and Machine Theory*, 44(5), 912-922. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2008.06.004>
- Kyung-Jo, P. (2004). Flexible robot manipulator path design to reduce the endpoint residual vibration under torque constraints. *Journal of Sound and Vibration*, 275(3), 1051-1068.
- Uždaroji akcinė bendrovė „Profibus“. (2015). Prieiga per internetą: <http://www.profibus.lt/main>
- Vekteris, V., Jurevičius, M. ir Kilikevičius, A. (2009). *Matavimų teorija ir praktika*. Vilnius: Technika. <https://doi.org/10.3846/1043-S>

## RESEARCH OF KUKA YOUTBOT DYNAMICAL CHARACTERISTICS

T. Lenkutis, A. Dzedzickis, O. Balitskyi, L. Petrauskas, R. Urbonas, V. Bučinskas, D. Valiulis, I. Morkvėnaitė-Vilkončienė

### Abstract

In order to maintain competitiveness and a technical edge business entity are increasingly implementing advanced technical solutions in their operational processes, most of which include the installation of various type robotic systems. One of the best known and widely distributed examples of universal robotic system is Kuka-Youbot, which is a modular robotic system developed by KUKA as open source project for education and research. This system consists of two main modules, a robotic arm with 5 degrees of freedom, and a omni-directional mobile platform. It can be assembled in various configuration, such as a stationary robotic arm, a mobile platform, a robotic arm mounted on mobile platform and, two robotics arms mounted on one mobile platform. Positions of robot grabber were determined using two photo cameras of 1920×1080 in resolution, rulers and special algorithm in Matlab software. The longest duration of the vibrations was recorded when rotating Joint II on the vertical plane. The shortest-lasting vibrations were recorded when rotating the Joint V. In order to reduce the duration of the manipulator's vibration time in operating mode, it is recommended to use the robot's operating positions located at the horizontal plane.

**Keywords:** dynamic properties, dynamic system, KUKA YouBot, robot, vibrations.