



**Vilniaus
universitetas**

**Vilniaus
universitetas**

Autonominis nežinomos patalpų aplinkos-terpės išžvalgymas mažais bepiločiais orlaiviais

Mantas Briliauskas
Vilnius, 2025
III metai II
pusmetis

Doktorantūra

Doktorantas: Mantas Briliauskas

Tema: Autonominis nežinomos patalpų aplinkos-terpės išžvalgymas mažais
bepiločiais orlaiviais

Darbo vadovas: prof. dr. Virginijus Marcinkevičius

Doktorantūros pradžios ir pabaigos metai: 2022 – 2026

Studijų metai: 3

Studijų planas

Studijų metai	Egzaminai		Dalyvavimas konferencijose				Publikacijos					
	Planas	Įvykdyta	Tarptautinėse		Nacionalinėse		Su citav. rodikliu			Be citav. rodiklio		
			Planas	Įvykd.	Planas	Įvykd.	Planas	Įvykd.	Būklė	Planas	Įvykd.	Būklė
I (2022/2023)	1	2	0	0	1	2	0	0				
II (2023/2024)	2	2	0	0	1	0	0	1	išspausdinta			
III (2024/2025)	1	0	1	1	0	0	1	0				
IV (2025/2026)	0		1				1					
Iš viso:	4	4	2	1	2	2	2	1		0	0	

Ataskaitinių metų planas ir rezultatai

Atlikta 3 mėn stažuotė.

- Vieta: Tartu universitetas, technologijų institutas, autonominių ir kolaboratyvių sistemų laboratorija.
- Vadovas: assoc. prof. Arun Kumar Singh.
- Laikotarpis: 2025 birželio 10 - rugsėjo 9.
- Atlikta:
 - vektorinių simulatorių (IsaacGym, IsaacLab ir kt.) analizė ir parinkimas;
 - SLAM algoritmų (DROID-SLAM, ORB-SLAM3, DPVO) vektorizacija;
 - 3 virtualių patalpų RL mokymui ir 1 aplinkos testavimui sukūrimas;
 - duomenų pasyviu RL mokymui surinkimas;
 - registracijos algoritmo sukūrimas ir adaptavimas;
 - taškų debesų embedingo algoritmų testavimas ir parinkimas;
 - offline ASLAM RL algoritmo sudarymas ir mokymas.
- Vadovo atsiliepimas stažuotės ataskaitoje: *“Mantas exceeded expectations in every aspect. He was very self-driven and independent and manage to spin-up complex reinforcement learning and slam pipeline in a quick amount of time. He has produced some exciting preliminary results for active slam. I would be very happy to host him in future and be associated with his research work as a collaborator.”*

Doktorantūros studijų pasiekimai

Dalyvavimas tarptautinėse konferencijose	
	Aprašas
1.	Briliauskas M., Autonomous Exploration of 3D Indoor Environment by UAVs Using Deep Reinforcement Learning, PhD Forum, ECML PKDD '24, 2024 m. rugsėjo 9–13 d., Vilnius.

Publikacijos (su citavimo rodikliu)		
	Bibliografinis aprašas	Būklė
1.	Briliauskas, Mantas. Learning stabilization control of quadrotor in near-ground <u>setting</u> using reinforcement learning, Information technology and control. Kaunas : Technologija. ISSN 1392-124X. eISSN 2335-884X. 2024, vol. 53, no. 1, p. 237-242. DOI: 10.5755/j01.itc.53.1.35135.	<u>Publikuota.</u> <u>Išspausdinta: 2024-03-22.</u>

Mokslinių tyrimų ir disertacijos rengimo etapai

2.4. Gautų duomenų analizė, apibendrinimas, išvadų parengimas: 1. Teorinio tyrimo apibendrinimas. 2. Empirinio tyrimo apibendrinimas. 3. Rezultatų apibendrinimas, esminių rezultatų išskyrimas bei išvadų parengimas.	2025 m. kovo mėn. – 2025 m. rugsėjo mėn.	1. Teorinio tyrimo apibendrinimas. 2. Vektorinių simuliacinių aplinkų IsaacGym, IsaacLab testavimas ir pasirinkimas. 3. SLAM algoritmų DROID-SLAM, ORB-SLAM3, DPVO vektorizacija. 4. Enkoderių testavimas taškų debesų embedingo pasirinkimui: PointNetCNN, PointNet (su/be T-Net), PointNet++ (SSG ir MSG variantai). 5. Reto taškų debesies registravimo tankiame taškų debesyje algoritmo kūrimas. 6. 3 patalpų RL mokymui ir 1 patalpos testavimui parinkimas bei kūrimas. 7. Apmokytas drono navigacijos algoritmas PPO pagrindu. 8. Duomenų bazės pasyviojo RL surinkimas 3 patalpoms naudojant atsitiktinį agentą. 9. Pasyviosios (offline) RL sistemos autonominiam vidaus patalpos žvalgymui panaudojant retus taškų debesis kūrimas bei mokymas panaudojant atsitiktinio agento surinktus duomenis.
---	---	--

Tyrimo objektas, tikslas ir uždaviniai

Objektas:

- autonominio nežinomos patalpų aplinkos-terpės išžvalgymo algoritmai mažiems bepiločiams orlaiviams panaudojant skatinamąjį mokymą.

Tikslas:

- sukurti efektyvų algoritmą autonominiam nežinomos patalpų aplinkos-terpės išžvalgymui skirtą mažiems bepiločiams orlaiviams panaudojant skatinamąjį mokymą.

Uždaviniai:

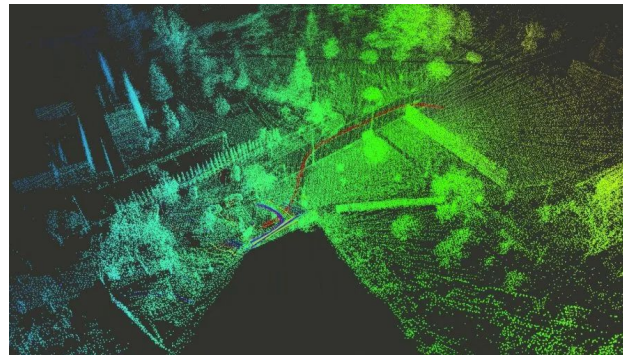
- pažangiausių autonominio nežinomos patalpų aplinkos-terpės išžvalgymo algoritmų apžvalga ir palyginimas;
- skatinamojo mokymo taikymas mažo bepiločio orlaivio stabilizavimui mažame aukštyje;
- pažangiausio algoritmo modifikavimas sukuriant naują algoritmą;
- sukurto algoritmo palyginimas su pažangiausiu algoritmu.

SLAM

Angl. *Simultaneous Localization and Mapping*

Tikslas - robotui judant erdvėje ir panaudojant iš sensorių gaunamą informaciją sudaryti aplinkos žemėlapi:

1. nuskaityta sensorių informacija;
2. įvertinamas judesio modelis;
3. atliekamas pozicijos filtravimas:
 - a. KF, EKF, dalelių filtrai (*particle filters*);
4. papildomas aplinkos žemėlapis.



Active SLAM

Vilniaus
universitetas

Active SLAM = SLAM + automatinis tikslo parinkimas ir navigacija.

Duota: drono ir orientyrų pozicijos.

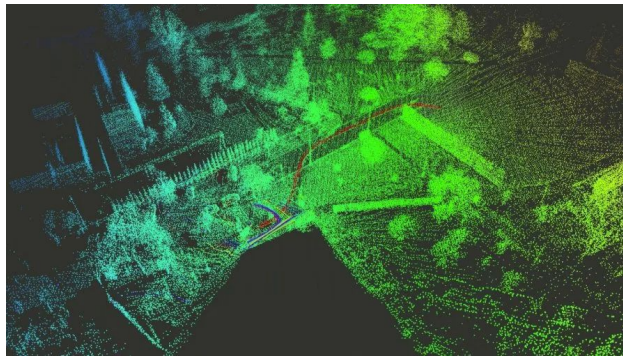
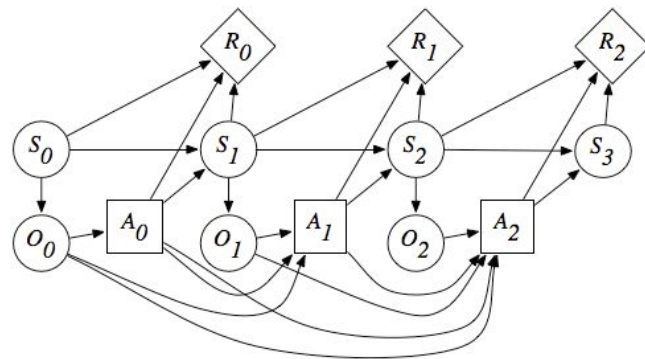
Active SLAM:

1. navigacijos tikslų-kandidatų parinkimas;
2. navigacijos tikslų-kandidatų įvertinimas;
3. navigacijos tikslo parinkimas;
4. navigacija su SLAM.

Iki:

1. išžvalgyta apibrėžta aplinkos dalis;
2. žemėlapių neapibrėžtumas (*uncertainty*) žemiau užsibrėžtos ribos;
3. baigiasi užduočiai skirtas laikas ($t > T$).

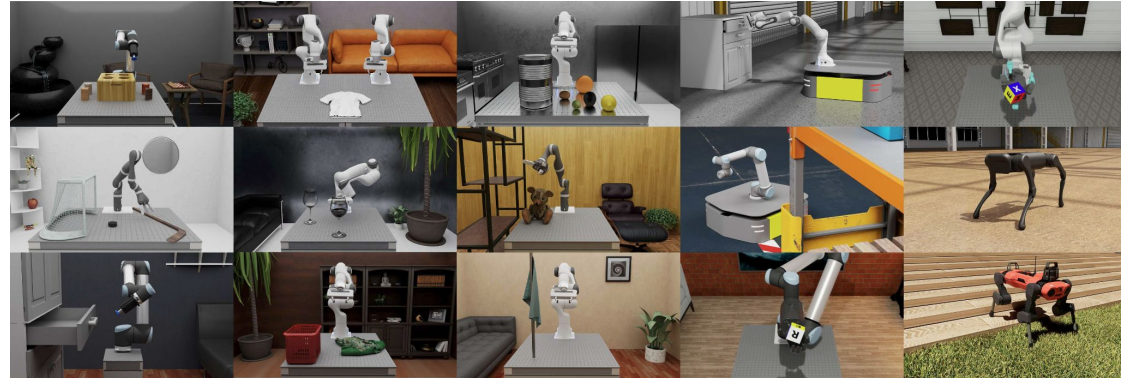
Išžvalgymo-eksplotacijos (angl. *exploration-exploitation*) problema.



Vektorizuotos aplinkos simuliatorius

IsaacLab:

- tikrovę atitinkanti grafika;
- atviro kodo;
- Nvidia spartinimas;
- iki 4096 paralelių aplinkų RL mokymui.



* <https://github.com/isaac-sim/IsaacLab>

SLAM algoritmas DPVO

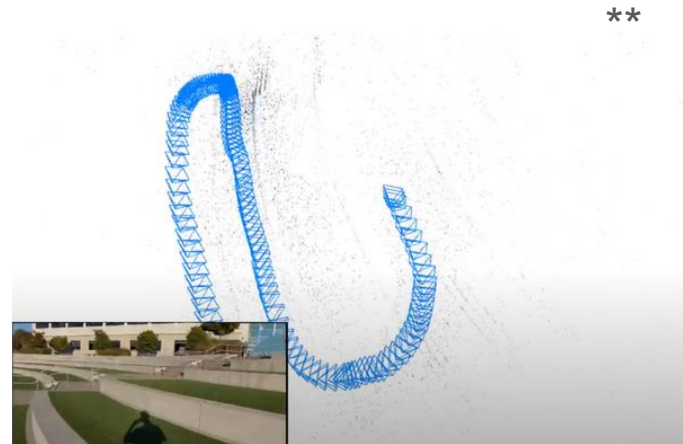
Deep Patch Visual Odometry *

Ypatybės:

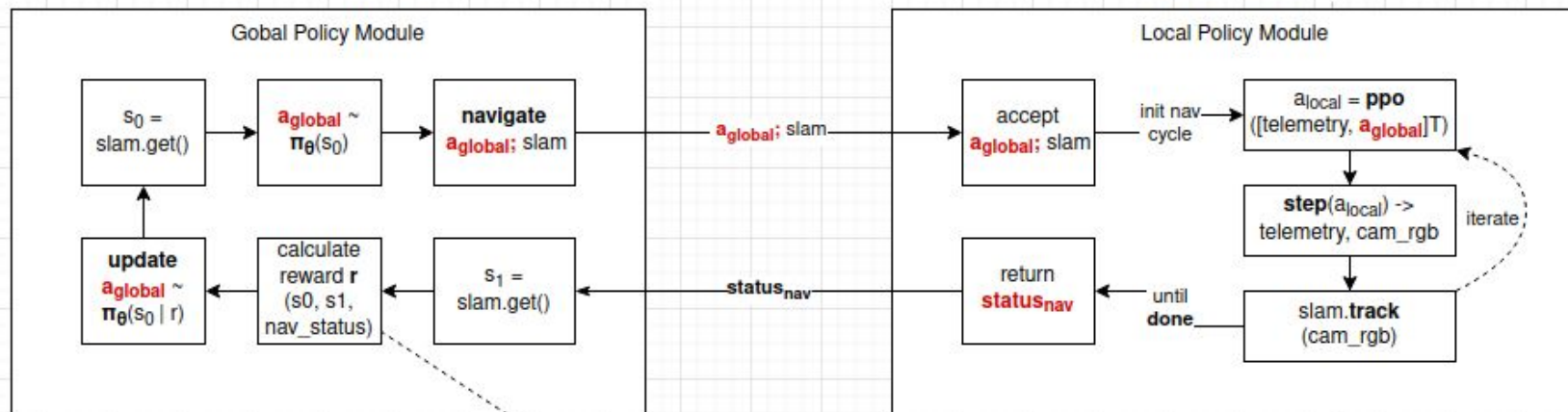
- automatinis požymių išskyrimas ir tapatinimas panaudojant NN;
- globali optimizacija paremtas faktorių grafais;
- skaičiavimai atliekami GPU;
- atsparus staigiems judesiams;
- 15 FPS.

* Lipson et al., Deep Patch Visual SLAM, European Conference on Computer Vision, 2024.

** <https://github.com/princeton-vl/DPVO>



Active SLAM



s_0, s_1 - pointclouds before and after navigation
 a_{global} - next active slam target $[x, y, z, \omega]$
 $status_{\text{nav}} \in \{\text{arrived, collided, timeout}\}$
ppo - non-trainable local policy agent PPO
 π_{θ} - trainable global policy parametrized by θ

$$\delta = V(s_1) - V(s_0)$$

Lokali strategija

Tikslas - suplanuoti beklūtį maršrutą
iki tikslo taško ir jį įveikti.

Navigacija apmokyta metodu A2C PPO*:

- mokytą 5 minutes prie 4096 paralelizacijos;
- veiksmų erdvė: $[x, y, z, q_1, q_2, q_3, q_4]$.



* <https://arxiv.org/abs/1707.06347>

Globali strategija

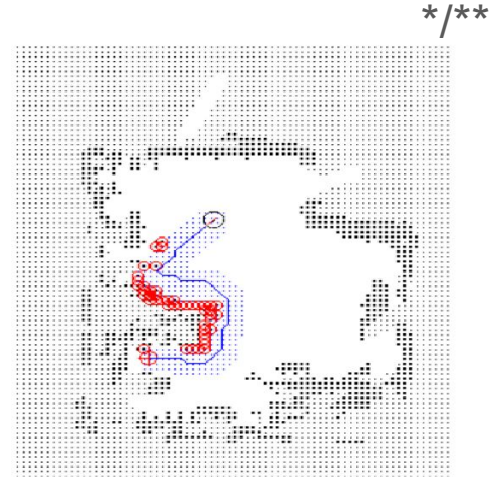
Tikslas - nustatyti trajektoriją, kuria naviguojant surenkamas didžiausias informacijos kiekis (angl. *information gain*).

Erdvė: retas taškų debesis.

Apdovanojimas pagal patalpos rekonstrukciją.

Metodai:

-  atsitiktinis;
-  RL Active SLAM apmokytas atsitiktiniais duomenimis.



* Yamauchi, B., A Frontier-Based Approach for Autonomous Exploration, IEEE CIRA, 1997.

** Dai et al., FastDepth: Fast Monocular Depth Estimation on Embedded Systems, 2018.

Retojo taškų debesies registracija

Duota: P_{src}, P_{tgt} .

Apskaičiuoti: $\arg\max T_{reg} \text{score}(T_{reg} P_{src}, P_{tgt})$.

T_{reg} - homogeninė transformacijos matrica.

Score: coverage + coverage x precision.

Pasiūlytas metodas reto taškų debesies registracijai:

1. DPVO ašių atstatymas;
2. Išskirčių pašalinimas;
3. Centravimas;
4. Pirminis mastelio keitimas;
5. ICP**,
6. CPD***.

Taip pat pasiūlytas sutrumpintas metodas perpanaudojant $T_{reg(t-1)}$.

* <https://www.thinkautonomous.ai/blog/point-cloud-registration/>

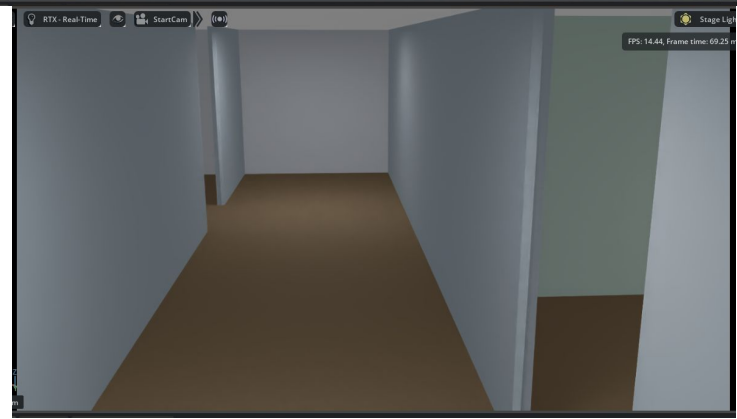
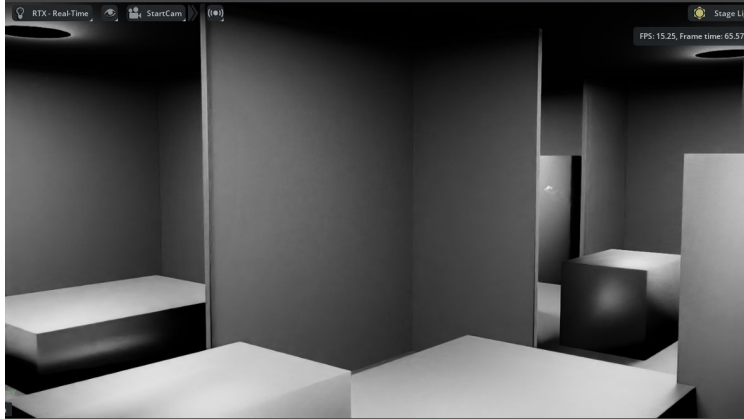
** <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01427149>

*** <https://arxiv.org/abs/0905.2635>

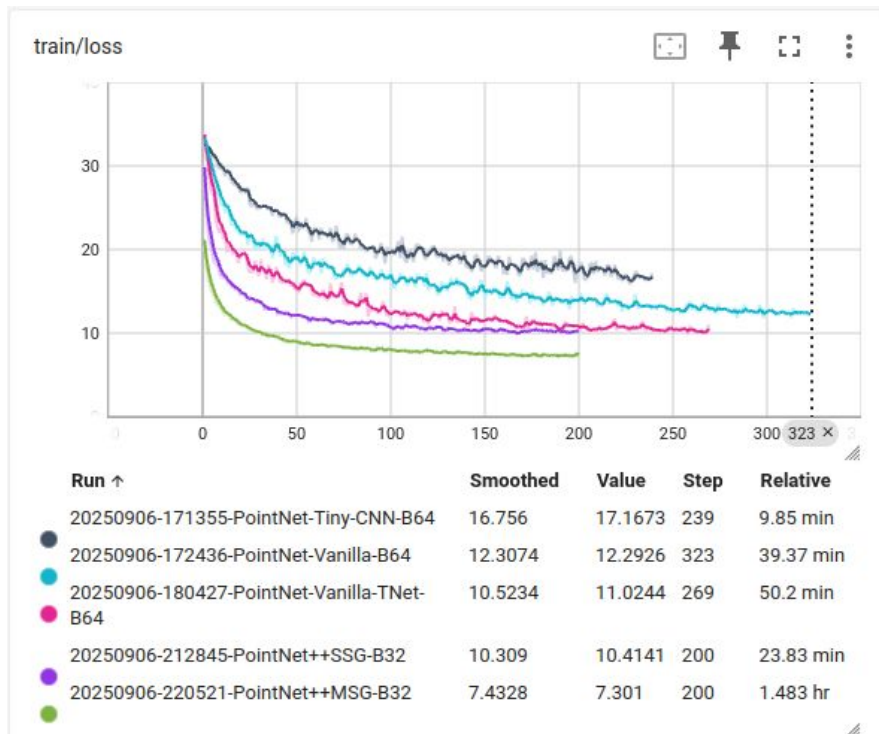


Sukurtos 4 aplinkos mokymams

Vilniaus
universitetas



Elgesio klonavimo testas enkoderio parinkimui



Pasyvaus RL Active SLAM apmokymas

- Encoderis: PointNet++.
- Algoritmas: IQL *.
- Multimodalinė distribucija sprendžiama BoN metodu.

* <https://arxiv.org/abs/2110.06169>

2025/2026 I pusmečio planas

1. Užbaigti eksperimentus;
2. Pateikti straipsnį į žurnalą turintį impact factorių;
3. Užsiregistruoti į konferenciją užsienyje;
4. Parengti atskiras daktaro disertacijos dalis (tyrimo metodiką, rezultatus, ginamus teiginius, išvadas, ir kt.):
 - patikslinti tikslus, uždavinius, tyrimo metodiką, ginamuosius teiginius.
 - parengti analitinę disertacijos dalį.

Ačiū už dėmesį.