



**Vilniaus  
universitetas**

**Vilniaus  
universitetas**

# **Autonominis nežinomos patalpų aplinkos-terpės išžvalgymas mažais bepiločiais orlaiviais**

Mantas Briliauskas  
Vilnius, 2026  
IV 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:** 4

# Studijų planas

Vilniaus  
universitetas

| Studijų<br>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)   |           |          | 1                          | 1      |               |        | 1                  | 0      | recenzuojama |                    |        |       |
| Iš viso:         | 4         | 4        | 2                          | 2      | 2             | 2      | 2                  | 1      |              |                    |        |       |

# Ataskaitinių metų darbo planas ir jo įvykdymas

Vilniaus  
universitetas

| Dalyvavimas konferencijose 2025/2026 |                  |                                                              |
|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------|
| Planas                               | Įvykdyta         | Konferencijos tipas                                          |
| 1                                    | 1 (sudalyvauta). | ICNCE 2026, Aachenas, Vokietija, birželio 28 - liepos 2 d.d. |

| Publikacijos (su citavimo rodikliu) 2025/2026 |              |                                                                                   |
|-----------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Planas                                        | Įvykdyta     | Žurnalas                                                                          |
| 1                                             | 0 (įteikta). | International Journal of Intelligent Robotics and Applications (Springer Nature). |

# Doktorantūros studijų pasiekimai

| Dalyvavimas tarptautinėse konferencijose |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                          | Aprašas                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1.                                       | Briliauskas M., Autonomous Exploration of 3D Indoor Environment by UAVs Using Deep Reinforcement Learning, ECML PKDD '24, 2024 m. rugsėjo 9-13 d.d., Vilnius.                                                                                                                         |
| 2.                                       | Briliauskas M., Marcinkevičius V., Offline Model-Based Reinforcement Learning for Active SLAM Using Sparse Point Cloud Registration Rewards, International Conference on Neuromorphic Computing and Engineering (ICNCE 2026), 2026 m. birželio 28 d.-liepos 2 d., Achenas, Vokietija. |

| Publikacijos (su citavimo rodikliu) |                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                        |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                                     | Bibliografinis aprašas                                                                                                                                                                                                                                                                   | Būklė                                                  |
| 1.                                  | Briliauskas, Mantas. Learning stabilization control of a quadrotor in a near-ground setting 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><br><u>Išspausdinta: 2024-03-22.</u> |

# Mokslinių tyrimų ir disertacijos rengimo etapai

|    |                                                                                                                                                                                                                                            |                                          |                                                                                                                                                                               |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3. | Atskirų daktaro disertacijos dalių (tyrimo metodikos, rezultatų, ginamų teiginių, išvadų, ir kt.) parengimas:<br>1. Tikslų, uždavinių, tyrimo metodikos, ginamųjų teiginių patikslinimas.<br>2. Analitinės disertacijos dalies parengimas. | 2025 m. rugsėjo mėn. - 2026 m. kovo mėn. | 1. Empirinio tyrimo apibendrinimas.<br>2. Rezultatų apibendrinimas, esminių rezultatų išskyrimas.<br>3. Tikslų, uždavinių, tyrimo metodikos, ginamųjų teiginių patikslinimas. |
|    | 3. Teorinės disertacijos dalies parengimas.<br>4. Eksperimentinės disertacijos dalies parengimas.<br>5. Bendrųjų išvadų formulavimas.                                                                                                      | 2026 m. kovo mėn. - 2026 m. gegužės mėn. | 1. Teorinės disertacijos dalies rengimas.<br>2. Eksperimentinės disertacijos dalies rengimas.<br>3. Antrojo straipsnio rašymas.                                               |
| 4. | Daktaro disertacijos parengimas ir svarstymas padalinyje                                                                                                                                                                                   | 2026 m. birželio-rugpjūčio mėn.          | 1. Teorinės disertacijos dalies rengimas.<br>2. Eksperimentinės disertacijos dalies rengimas.<br>3. Bendrųjų išvadų formulavimas.<br>4. Antrojo straipsnio įteikimas.         |
| 5  | Daktaro disertacijos gynimas                                                                                                                                                                                                               | 2026 m. rugsėjo mėn.                     |                                                                                                                                                                               |

# 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:

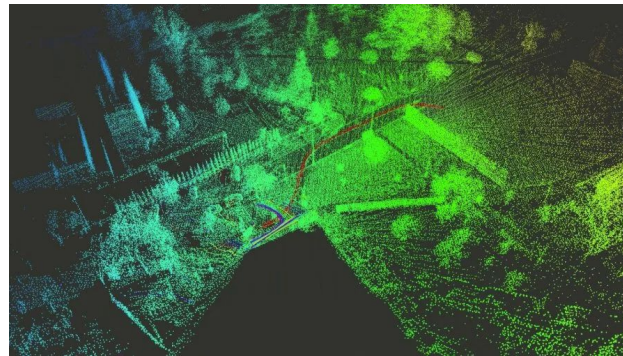
- pažangiausių autonominio nežinomos patalpų aplinkos-terpės išžvalgymo algoritmų skirtų mažiems bepiločiams orlaiviams panaudojant skatinamąjį mokymą apžvalga ir palyginimas;
- naujo mažojo bepiločio orlaivio stabilizavimo mažame aukštyje metodo pasiūlymas ir įvertinimas;
- skatinamajam mokymui skirtų duomenų rinkinio sudarymas iš mažojo bepiločio orlaiviu surinktų aktyviojo SLAM trajektorijų;
- naujo modeliu grįsto skatinamojo mokymo metodo, kuris naudoja anksčiau surinktus retųjų taškų debesų duomenis ir registravimu grįstą atlygį, pasiūlymas ir įvertinimas.

# SLAM

Angl. *Simultaneous Localization and Mapping*

Tikslas - sudaryti aplinkos žemėlapij ir nustatyti roboto lokaciją jame, robotui judant nežinomoje erdvėje:

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



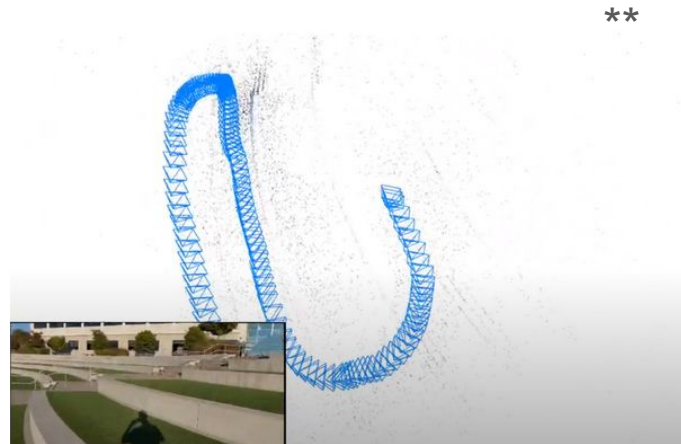
## Deep Patch Visual Odometry \*

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

Vilniaus  
universitetas

SLAM + automatinis tinklo parinkimas ir navigacija.

Duota: drono ir orientyrų pozicijos.

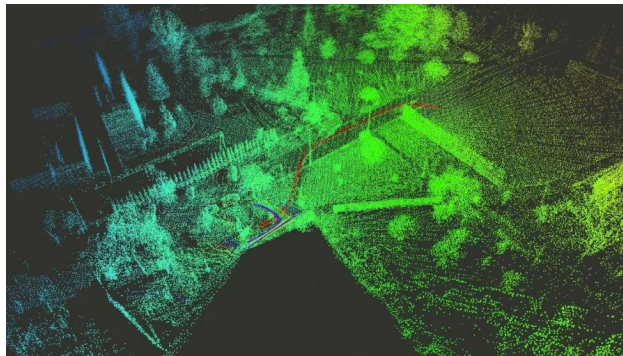
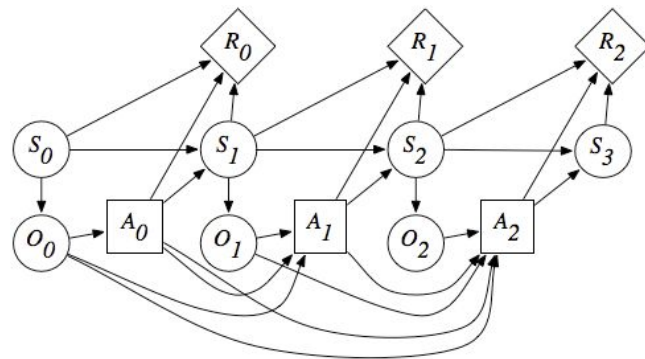
Active SLAM:

1. tikslų-kandidatų parinkimas;
2. tikslų-kandidatų įvertinimas;
3. tikslo parinkimas;
4. planavimas ir navigacija.

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.



# Duomenų rinkiniu pagrįstas RL

Angl. *offline RL*

## 1. Duomenų rinkinio paruošimas vykdant strategiją $\beta$

Simuliuojant ir vykdant strategiją  $\beta$ :

$$\mathbf{D}_\beta = \{\tau_i\}_k$$

$$\tau_i = \{s_0, a_0, r_0, s_1, a_1, \dots, a_{t-1}, r_{t-1}, s_t\}_{\tau_i}$$

$$a_t \sim \beta(s_t)$$

## 2. $\alpha$ strategijos mokymas

Duota:  $\mathbf{D}_\beta$

Rasti:  $\alpha = \operatorname{argmax}_\pi \mathbb{E}_{a \sim \pi} G$

Su tikslu:  $\mathbb{E}_{a \sim \alpha} G > \mathbb{E}_{a \sim \beta} G$

Mokymas - be simuliacijos

# Apdovanojimo funkcija pagal retojo taškų debesies registraciją

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, precision).

**Pasiūlytas pilnas ir sutrumpintas metodai** reto taškų debesies registracijai:

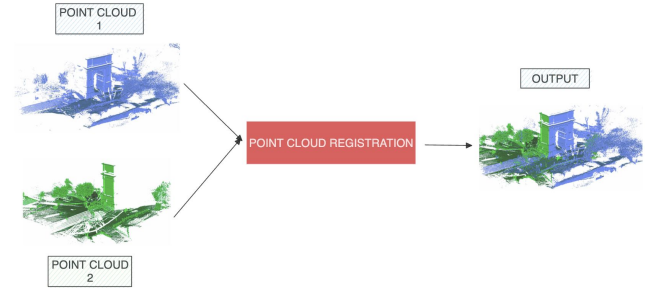
1. DPVO ašių atstatymas;
2. Išskirčių pašalinimas;
3. Centravimas;
4. Pirminis mastelio keitimas;
5. ICP\*\*,
6. CPD\*\*\*.

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>



\*/\*\*

# Modeliu-Grįstas Skatinamasis Mokymas

## 1. RL aplinkos modeliavimas

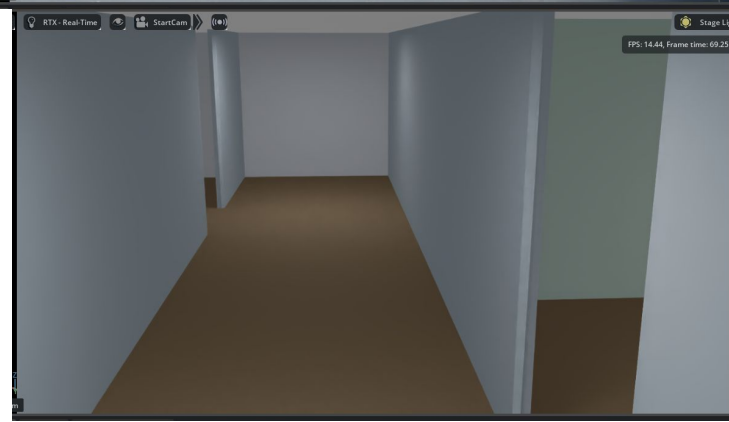
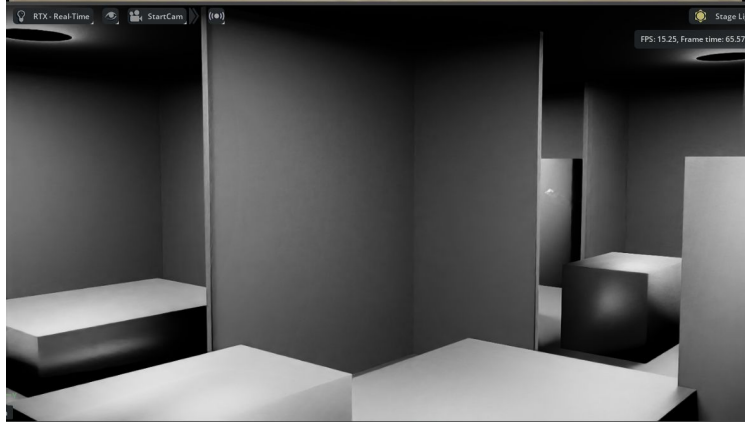
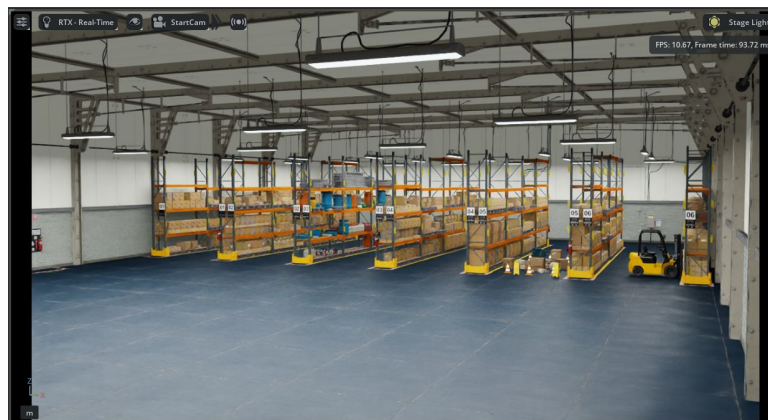
- 1) Išmokstamas pasaulio modelis latentinėje erdvėje:
  - $z_t = \text{enc}(s_t)$ ;
  - $z_{t+1} = \text{dyn}(z_t, a_t)$ ;
  - $r_{t+1} = \text{rew}(z_t, a_t, z_{t+1})$ .
- 2) Mažiau tikrų sąveikų su aplinka.

## 2. Planavimas latentinėje erdvėje

- 1) Ieškoma trajektorija su didžiausia numatoma grąža.
- 2) “Slenkančio horizonto” metodas:
  - įvykdomas tik pirmasis veiksmas.

# 4 aplinkos

Vilniaus  
universitetas

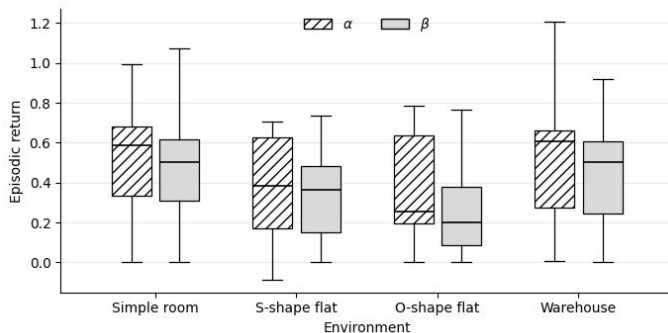


# Rezultatai

Duomenų rinkinys: 4468-34662 žingsniai per aplinką

Pagerinimas:

nuo **+12.8%** iki **+62.9%**, vid. **+22.7%** per visas testuotas aplinkas



Ačiū už dėmesį.