

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Evidenčné číslo: FEI-104376-111133

**SIMULTÁNNÁ LOKALIZÁCIA A MAPOVANIE PRE**  
**ŠTVORNOHÉHO ROBOTA**  
**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

**2025**

**Bc. Timotej Polc**

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

Evidenčné číslo: FEI-104376-111133

**SIMULTÁNNÁ LOKALIZÁCIA A MAPOVANIE PRE**  
**ŠTVORNOHÉHO ROBOTA**  
**DIPLOMOVÁ PRÁCA**

Študijný program:	Robotika a kybernetika
Názov študijného odboru:	Kybernetika
Školiace pracovisko:	Ústav robotiky a kybernetiky
Vedúci záverečnej práce:	prof. Ing. František Duchoň, PhD.
Konzultant:	Ing. Rastislav Marko

**Bratislava 2025**

**Bc. Timotej Polc**



## ZADANIE DIPLOMOVEJ PRÁCE

Študent: **Bc. Timotej Polc**  
ID študenta: 111133  
Študijný program: robotika a kybernetika  
Študijný odbor: kybernetika  
Vedúci práce: prof. Ing. František Duchoň, PhD.  
Vedúci pracoviska: prof. Ing. František Duchoň, PhD.  
Konzultant: Ing. Rastislav Marko  
Miesto vypracovania: Ústav robotiky a kybernetiky

Názov práce: **Simultánna lokalizácia a mapovanie pre štvornohého robota**

Jazyk, v ktorom sa práca vypracuje: slovenský jazyk

### Špecifikácia zadania:

Pre úspešnú prevádzku autonómnych robotov v neznámom prostredí je nevyhnutná schopnosť tvorby mapy prostredia a súčasného odhadu polohy vo vytváranej mape. Robot Artaban je vybavený niekoľkými snímačmi, ktoré poskytujú kvalitné zdroje údajov pre lokalizáciu, či vytváranie reprezentácie okolia robota. Cieľom práce je navrhnúť a implementovať riešenie problému SLAM s ohľadom na kinematiku robota a charakteristiku prostredia. Vytvorená 2.5D/3D mapa bude ďalej slúžiť pre detekcie priechodnosti prostredia a navigáciu robota. Táto téma bude vypracovaná v spolupráci s firmou Panza Robotics s.r.o.

#### Úlohy:

1. Naštudujte princípy simultánnej lokalizácie a mapovania v kontexte mobilnej robotiky.
2. Analyzujte možnosti využitia údajov zo snímačov robota Artaban.
3. Analyzujte vhodné dostupné SLAM algoritmy a ich prípadnú modifikáciu.
4. Navrhňte riešenie simultánnej lokalizácie a mapovania.
5. Realizujte a verifikujte algoritmus v simulácii a na reálnom hardvéri.
6. Vypracujte dokumentáciu.

Termín odovzdania diplomovej práce: 16. 05. 2025  
Dátum schválenia zadania diplomovej práce: 16. 10. 2024  
Zadanie diplomovej práce schválil: prof. Ing. Jarmila Pavlovičová, PhD. – garantka študijného programu

# SÚHRN

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Študijný program:	Robotika a kybernetika
Autor:	Bc. Timotej Polc
Diplomová práca:	Simultánna lokalizácia a mapovanie pre štvornohého robota
Vedúci záverečnej práce:	prof. Ing. František Duchoň, PhD.
Konzultant:	Ing. Rastislav Marko
Miesto a rok predloženia práce:	Bratislava 2025

Práca skúma aplikáciu SLAM využívajúcich kamerové systémy, pre aplikáciu na štvornohom robote. Konkrétne ORB SLAM a Isaac SLAM. Počas práce sa overuje existujúci model robota pomocou systému Optitrack.

Kľúčové slová: SLAM, Simultánna lokalizácia a mapovanie, mobilná robotika

# ABSTRACT

SLOVAK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY IN BRATISLAVA

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

Study Programme:	Robotics and cybernetics
Author:	Bc. Timotej Polc
Master's thesis:	Simultaneous localisation and mapping for a quadrupedal robot
Supervisor:	prof. Ing. František Duchoň, PhD.
Consultant:	Ing. Rastislav Marko
Place and year of submission:	Bratislava 2025

On the other hand, we denounce with righteous indignation and dislike men who are so beguiled and demoralized by the charms of pleasure of the moment, so blinded by desire, that they cannot foresee the pain and trouble that are bound to ensue; and equal blame belongs to those who fail in their duty through weakness of will, which is the same as saying through shrinking from toil and pain. These cases are perfectly simple and easy to distinguish. In a free hour, when our power of choice is untrammelled and when nothing prevents our being able to do what we like best, every pleasure is to be welcomed and every pain avoided. But in certain circumstances and owing to the claims of duty or the obligations of business it will frequently occur that pleasures have to be repudiated and annoyances accepted. The wise man therefore always holds in these matters to this principle of selection: he rejects pleasures to secure other greater pleasures, or else he endures pains to avoid worse pains.

Keywords: SLAM, Simultaneous localisation and mapping, mobile robotics

## **Pod'akovanie**

I would like to express a gratitude to my thesis supervisor.

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Artaban</b>	<b>2</b>
<b>2 Artaban a SLAM</b>	<b>3</b>
2.1 Model systému . . . . .	4
<b>Záver</b>	<b>5</b>
<b>Zoznam použitej literatúry</b>	<b>6</b>
<b>Prílohy</b>	<b>7</b>
<b>A Štruktúra elektronického nosiča</b>	<b>8</b>
<b>B Algoritmus</b>	<b>9</b>
<b>C Výpis subline</b>	<b>10</b>

# **Zoznam obrázkov a tabuliek**



# Zoznam skratiek

**SLAM** Simultánna lokalizácia a mapovanie

# Zoznam algoritmov

B.1	Vypočítaj $y = x^n$ . . . . .	9
-----	-------------------------------	---

# Zoznam výpisov

C.1 Ukážka sublime-project . . . . .	10
--------------------------------------	----

# Úvod

Štvornohé roboty, sú trieda mobilných robotických zariadení využívajúce aproximácie biologických končatín pre pohyb v priestore.

Oproti kolesovým či pásovým podvozkom je ich spôsob pohybu o mnoho viac flexibilný v terénoch skutočného sveta, čo im umožňuje prekonať zložitejšie prekážky, za ceny vyššej zložitosti kinematiky pohybových členov.

Štvornohý robot Artaban od spoločnosti Panza Robotics využíva túto výhodu pre vonkajšie alebo komplexné priemyslené priestory.(W.I.P)

Ako všetky mobilné roboty, aj tento musí pri autonómnych aplikáciach riešiť otázku “ Kde som? ”.

Riešením tejto otázky vzniká koncept lokalizácie, ktorá v každom snímanom časovom okamihu určuje pozíciu robota. Lokalizovať robot je možné pomocou snímačov veľčín vedúcim ku zmene polohy robota (napr. akcelerometer, gyroskop, enkóder uhlovej rýchlosti motora, kamera).

Ak sa v prostredí nachádzajú prekážky, ktoré sú senzory schopné zachytiť, dokážeme túto informáciu uložiť, čím vytvárame mapu prostredia.

SLAM je zlúčenie lokalizácie a mapovania, kde sa obe operácie vykonávajú naraz.

# 1 Artaban

W.I.P

## 2 Artaban a SLAM

Algoritmy SLAM vychádzajú zo známeho kinematického modelu mobilného robota, ktorý začína obvykle v neznámej polohe a pohybuje sa v prostredí, ktoré môže obsahovať prirodzené alebo umelé značky prostredia. Úlohou SLAMu teda je zostaviť mapu prostredia a zároveň ju použiť na výpočet mobilného robota v reálnom čase.[1]

Všeobecne sa dá SLAM matematicky opísať ako výpočet distribúcie pravdepodobností:

$$P(x_k, m_k | Z_{0:k}, U_{0:k}, x_0) \quad (2.1)$$

Kde:

- $x_k$  je aktuálna poloha robota
- $m_k$  je aktuálna mapa prostredia
- $Z_{0:k}$  sú značky prostredia detekované snímačom
- $U_{0:k}$  je priebeh akčných zásahov
- $x_0$  je predchádzajúca (apriórna) poloha robota

Všeobecné riešenie SLAMu je založené na rekurzívnom Bayersovskom odhade s využitím akčného zásahu  $u_k$  a pozorovania  $z_k$  pomocou ktorého sa aktualizuje aposteriórna pravdepodobnosť s apriórnym odhadom z kroku k-1.

$$P(x_{k-1}, m_k | Z_{0:k-1}, U_{0:k-1}, x_0) \quad (2.2)$$

Za predpokladu, že proces prechodu stavov je Markovov proces, je možné SLAM určiť Bayer-sovským odhadom pozostávajúcim z krokov predikcie a korekcie.[2]

$$\begin{aligned} P(x_k, m_k | Z_{0:k-1}, U_{0:k}, x_0) &= \int P(x_k | x_{k-1}, u_k) \cdot P(x_{k-1}, m_k | Z_{0:k-1}, U_{0:k-1}, x_0) dx_{k-1} \\ P(x_k, m_k | Z_{0:k}, U_{0:k}, x_0) &= \frac{P(z_k | x_k, m_k) \cdot P(x_k, m_k | Z_{0:k-1}, U_{0:k}, x_0)}{P(z_k | Z_{0:k-1}, U_{0:k})} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Kde:

- $P(x_k | x_{k-1}, u_k)$  je model systému
- $P(z_k | x_k, m_k)$  je model merania

## **2.1 Model systému**

# **Záver**

Conclusion is going to be where?

Here.



## Zoznam použitej literatúry

1. DUCHOŇ, František a kolektív. SLAM a jeho základné princípy. In: DUCHOŇ, František a kolektív. *Riadenie mobilných robotov*. 1. vyd. Bratislava: FELIA s.r.o, 2023, kap. 8.6, s. 201. ISBN 978-80-89824-14-4.
2. DUCHOŇ, František a kolektív. SLAM a jeho základné princípy. In: DUCHOŇ, František a kolektív. *Riadenie mobilných robotov*. 1. vyd. Bratislava: FELIA s.r.o, 2023, kap. 8.6, s. 202–203. ISBN 978-80-89824-14-4.
3. DUCHOŇ, František a kolektív. *Riadenie mobilných robotov*. 1. vyd. Bratislava: FELIA s.r.o, 2023. ISBN 978-80-89824-14-4.

# Prílohy

A	Štruktúra elektronického nosiča . . . . .	8
B	Algoritmus . . . . .	9
C	Výpis subline . . . . .	10

# A Štruktúra elektronického nosiča

*/CHANGELOG.md*

- file describing changes made to FEIstyle

*/example.tex*

- main example *.tex* file for diploma thesis

*/example\_paper.tex*

- example *.tex* file for seminar paper

*/Makefile*

- simply Makefile – build system

*/fei.sublime-project*

- is project file with build in Build System for Sublime Text 3

**/img**

- folder with images

**/includes**

- files with content

*/bibliography.bib*

- bibliography file

*/attachmentA.tex*

- this very file

## B Algoritmus

---

**Algoritmus B.1** Vypočítaj  $y = x^n$

---

**Require:**  $n \geq 0 \vee x \neq 0$

**Ensure:**  $y = x^n$

$y \leftarrow 1$

**if**  $n < 0$  **then**

$X \leftarrow 1/x$

$N \leftarrow -n$

**else**

$X \leftarrow x$

$N \leftarrow n$

**end if**

**while**  $N \neq 0$  **do**

**if**  $N$  is even **then**

$X \leftarrow X \times X$

$N \leftarrow N/2$

**else** {  $N$  is odd }

$y \leftarrow y \times X$

$N \leftarrow N - 1$

**end if**

**end while**

---

## C Výpis sublime

```
../.. ./ fei .sublime-project
```

Výpis C.1: Ukážka sublime-project