

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
Infotehnoloogia teaduskond

Tanel Kossas 204260IABM

**TEHISLIKEL TUNDLATEL PÕHINEV  
NAVIGATSIOONIALGORITM AUTONOOMSETELE  
MAA-ALUSTELE KAEVANDUSROBOTITELE**

Magistritöö

Juhendaja: Mohamed Walid Remmas  
MSc

Kaasjuhendaja: Roza Gkliva  
PhD

Kaasjuhendaja: Asko Ristolainen  
PhD

Tallinn 2023

## **Author's Declaration of Originality**

I hereby certify that I am the sole author of this thesis. All the used materials, references to the literature and the work of others have been referred to. This thesis has not been presented for examination anywhere else.

Author: Tanel Kossas

09.05.2023

# Abstract

State-of-the-art robot vision techniques have recently enabled outstanding results in the navigation of autonomous robotics. However, these are not suitable for use in caves and mining environments due to the large amount of dust and mud present, in addition to a dark and locally self-similar environment. This prohibits mining from being automated with the help of robots, which is a key goal for the EU-funded ROBOMINERS project. In order to perform navigation in caves and mines, using artificial whiskers as tactile sensors was explored in the thesis. In order to validate their performance for navigation, three algorithms were developed: a wall-follower, a navigation algorithm based on Theta\* and an algorithm combining the two for increased navigating efficiency in unknown areas. During tests in both simulation and real-world experiments involving the RM3 robot, it was shown that tactile sensing worked well in complex environments in the case of wall-following, and also when aiding navigation, if a method to estimate pose was also present. In addition, the third algorithm (that combined navigation and wall-following) could improve the traversal time of an unknown map by between 26 – 43% compared to regular navigation without wall-following. This thesis thus lays part of the groundwork for navigation in an autonomous mine as part of the ROBOMINERS project, utilising tactile navigation. In addition, the thesis opens up a plethora of potential research avenues, including optimisations to the simulator, the navigation algorithms, the locomotion system and the whisker configurations, as well as in unifying the robot with external systems.

The thesis is written in English and is 69 pages long, including 5 chapters, 47 figures and 14 tables.

## **Annotatsioon**

### **Tehislikel tundlatel põhinev navigatsioonialgoritm autonoomsetele maa-alustele kaevandusrobotitele**

Kaasaegsed masinnägemise tehnoloogiad on võimaldanud robotitel saavutada märkimisväärsed tulemused autonoomsel liikumisel. Enamasti kasutavad antud tehnoloogiad kaameraid ja LiDAR-ite. Samas on keskkondi, kuhu antud tehnoloogiad ei sobi. Näited sellistest keskkondadest on koopad ja kaevandused, kus kaamerate ja LiDAR-ite töö on häiritud tolmu, muda ja pimeduse tõttu. Lisaks on need keskkonnad tihti ka lokaalselt väga sarnased, st ühe koha eristamine teisest visuaalselt on raske.

Eelnevad asjaolud muudavad robotite abil kaevanduste automatiseerise keeruliseks. See on aga EL poolt rahastatava ROBOMINERS-i projekti üks olulisemaid eesmärke. Selleks, et võimaldada navigeerimist koobastes ja kaevandustes, uuriti antud töös kunstlike tundlate kasutamise efektiivsust taktiliste sensoritena. Selleks arendati lisaks juhtimisrakendusele välja kolm erinevat algoritmi: seinajärgija, navigatsioonialgoritm Theta\* baasil ning algoritm, mis ühendab kaks eelnevat algoritmi, et suurendada navigeerimise kiirust keskkonnas, mida pole kaardistatud.

Simulatsioonis ja RM3 robotiga läbi viidud katsetes oli näha, et taktiline tajumine töötas ka keerulistes keskkondades seina järgimisel. Lisaks aitas taktiline tajumine ka märkimisväärselt navigeerimisel, kui oli olemas väline viis roboti asendi määramiseks. Lisaks sellele kiirendas kolmas (st navigeerimist ja seina järgimist ühendav) algoritm navigatsiooni 26 – 43% võrreldes tavalise Theta\*-l põhineva navigatsioonialgoritmiga.

Antud töö loob seega osa alusest ROBOMINERS-i projekti raames loodavale autonoomsele kaevandusele, mille tarvis uuritakse hetkel taktiliste sensorite kasutamist kaevandusrobotitel. Antud töö võimaldab järgnevat teadustööd, mis hõlmab loodud algoritmide optimeerimist, süsteemide omavahelist ühendamist, simulatsiooni realismi edendamist ja taktiliste sensorite asetuse optimeerimist.

Lõputöö on kirjutatud inglise keeles ning sisaldab teksti 69 leheküljel, 5 peatükki, 47 joonist, 14 tabelit.