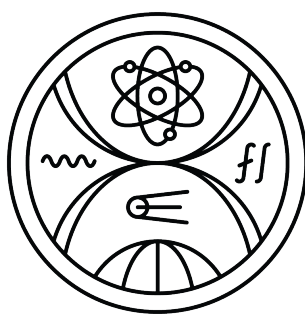


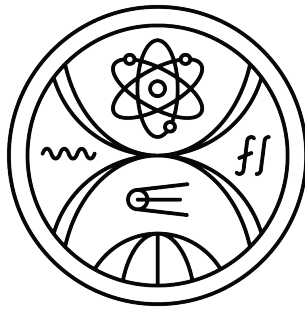
COMENIUS UNIVERSITY IN BRATISLAVA
FACULTY OF MATHEMATICS PHYSICS AND INFORMATICS



3D POSITION RECONSTRUCTION OF REENTRY OBJECTS FRAGMENTS USING TWO VIDEO RECORDINGS.

Master thesis

COMENIUS UNIVERSITY IN BRATISLAVA
FACULTY OF MATHEMATICS PHYSICS AND INFORMATICS



3D POSITION RECONSTRUCTION OF REENTRY OBJECTS FRAGMENTS USING TWO VIDEO RECORDINGS.

Master thesis

Study program: Applied informatics
Branch of study: Applied informatics
Department: Department of Applied Informatics
Supervisor: Mgr. Daniel Kyselica
Consultant: Mgr. Jiří Šilha, PhD.



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Damián Gorčák
Študijný program: aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, magisterský II. st., denná forma)
Študijný odbor: informatika
Typ záverečnej práce: diplomová
Jazyk záverečnej práce: anglický
Sekundárny jazyk: slovenský

Názov: 3D position reconstruction of reentry objects fragments using two video recordings.
3D rekonštrukcia polohy fragmentov vtupujúcich objektov pomocou dvoch videozáznamov.

Anotácia: Na obmedzenie vesmírneho odpadu na obežnej dráhe Zeme by sa mali odstrániť nefunkčné satelity a telesá rakiet.
Jedným z mechanizmov, ako to urobiť, je manévrovanie objektu do zemskej atmosféry, keď pomaly klesá. Tento pád sa nazýva reentry a pozostáva zo svetelnej fázy, ktorú môžu astronómovia pozorovať. Účinok veľmi podobný meteoru/ohnivej guli často pozorovateľný voľným okom. Videozáznamy tej istej udalosti z viacerých observatórií poskytujú informácie o 3D polohe jednotlivých fragmentov objektu. Takéto informácie môžu astronómovia použiť na určenie mnohých informácií o padajúcom objekte: dynamické vlastnosti, štartovacia dráha atď. Naša fakulta disponuje záznamami viacerých udalostí opätovného vstupu asteroidov a umelých objektov. V minulosti bola vyvinutá experimentálna metóda na nájdenie párov segmentov medzi dvoma videonahrávkami. Tento postup využíva klasické metódy na sledovanie a párovanie prvkov. Grafové neurónové siete ukázali dobrý výkon na dátach so silnou priestorovou štruktúrou, ktorá dobre vyhovuje nášmu problému so zhlukom pohyblivých segmentov.

Cieľ: Študovať literatúru o 3D mapovaní, grafových neurónových sieťach, 3D rekonštrukcii z videa. Nájdite a implementujte nové metódy rekonštruovať 3D pozície pohyblivých segmentov vrátane generovania tréningových dát.

Literatúra: Reliable Feature Matching Across Widely Separated Views (<https://ieeexplore.ieee.org/document/855899>)
StickyPillars: Robust and Efficient Feature Matching on Point Clouds using Graph Neural Networks (<https://arxiv.org/abs/2002.03983>)

Kľúčové slová: Graph neural networks, space debris

Vedúci: Mgr. Daniel Kyselica
Konzultant: Mgr. Jiří Šilha, PhD.
Katedra: FMFI.KAI - Katedra aplikovanej informatiky
Vedúci katedry: doc. RNDr. Tatiana Jajcayová, PhD.



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

Dátum zadania: 20.09.2022

Dátum schválenia: 20.09.2022

prof. RNDr. Roman Ďurikovič, PhD.
garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce

I hereby declare that I have written this thesis by myself, only with help of referenced literature, under the careful supervision of my thesis advisor.

Bratislava, 2024

.....
Bc. Damián Gorčák

Acknowledgement

First, I would like to express my gratitude to Mgr. Jiří Šilha, PhD. for his guidance during the whole thesis and invaluable expertise in astronomy that made this thesis possible. I'd also like to thank my supervisor prof. RNDr. Roman Ďurikovič, PhD. for his insightful feedback and organization of YACGS seminars. A special thanks to Mgr. Stanislav Krajčovič and Mgr. Daniel Kyselica for their valuable advice and assistance. And lastly, I'd like to express my deepest thanks to my partner and my family for supporting me during my academic years.

Abstract

Keywords: space debris, machine learning, space object classification

Abstrakt

Kľúčové slová: vesmírny odpad, strojové učenie, klasifikácia vesmírnych objektov

Contents

1	Introduction	1
2	Research	2
3	Astronomical data	3
4	Implementation	4
5	Data generation	5
6	Results	6

List of Figures

List of Tables

Terminology

Terms

- **Star field tracking (sidereal)**
Ground-based tracking mode in which, telescope is moving in the same direction and speed as the apparent motion of stars.
- **Object tracking**
Tracking mode, where the focus is aimed at the moving object of interest and the telescope is moving in the same way.
- **Survey**
Observation of a region of the sky when no specific target is defined.
- **Star catalog**
A list of stars with its positions and magnitude.
- **Star tracker**
An optical device usually used to determine the orientation of satellite using positions of the stars.
- **Deblending**
The process of separating overlapping objects.

Abbreviations

- **CCD** - Charge-Coupled Device.
- **IAA** - International Academy of Astronautics.
- **USSSN** - US Space Surveillance Network.
- **CNN** - Convolutional Neural Network.
- **FC** - Fully-Connected.
- **RSO** - Resident Space Object.
- **ML** - Machine Learning.

- **SDSS** - Sloan Digital Sky Survey.
- **PCA** - Principal Component Analysis.
- **ANN** - Artificial Neural Network.
- **NN** - Neural Network.
- **MLP** - Multi-Layer Perceptron.
- **R-CNN** - Region-based Neural Network.
- **MS COCO** - Microsoft Common Objects in Context.
- **AGO** - Astronomical and Geophysical Observatory in Modra.
- **AGO70** - The Newtonian telescope at AGO, with 70 cm parabolic mirror.
- **ESA** - European Space Agency.
- **PECS** - Plan for the European Cooperating States.
- **FMPI** - Faculty of Mathematics, Physics and Informatics.
- **FITS** - Flexible Image Transform System.
- **RADEC** - Right Ascension and Declination.
- **FOV** - Field Of View.
- **PSF** - Point-Spread Function.
- **FWHM** - Full Width at Half Maximum.
- **ADU** - Analogue-to-Digital Unit.
- **ADC** - Analog to Digital Converter.
- **SVM** - Support-Vector Machine.
- **ResNet** - Residual Neural Network.
- **ILSVRC** - ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge.
- **RELU** - Rectified Linear Unit.
- **TSV** - Tab-Separated Values.
- **CLI** - Command Line Interface.
- **YAML** - YAML Ain't Markup Language.

Chapter 1

Introduction

Chapter 2

Research

Chapter 3

Astronomical data

Chapter 4

Implementation

Chapter 5

Data generation

Chapter 6

Results

Conclusion

Bibliography

- [1] F Alghadari, Turmudi, and T Herman. The application of vector concepts on two skew lines. *Journal of Physics: Conference Series*, 948(1):012030, jan 2018.
- [2] Andrea Cavagna, Massimo Cencini, Stefania Melillo, Leonardo Parisi, Fabrizio Piergentili, Fabio Santoni, and Alessandro Sozza. Stereovision for surveillance of earth orbiting objects: Two methods and their validation with synthetic data. *Acta Astronautica*, 190:273–282, 2022.