

**Review of Dissertation Thesis**  
**Sematic Segmentation in Long-term Visual Localization**  
submitted by **Lukáš Bureš**  
at the Faculty of Applied Sciences, ZČU in Pilsen

The thesis was completed in 2022. It is written in English and has 154+ pages.

**Scientific background of the thesis:**

Image processing and pattern recognition is a well-established branch of modern computational science and sematic segmentation is one of its subareas. At present, the automatic keypoint filtering approach based on semantic segmentation information has wide commercial use and Lukáš Bureš decided to focus on developing and testing methods and algorithms which would be applicable in this task.

**Main objectives of the work:**

In his thesis, Lukáš Bureš focuses on five goals: 1) to select a suitable dataset for evaluation of long-term visual localization, 2) to enhance parameter settings to achieve better results for the selected benchmarking dataset, 3) to preprocess images for keypoint masking in the task of long-term visual localization, 4) to make a fusion of training information for boost performance, 5) to remove keypoints that are not valuable and helpful for matching.

The state-of-the art is described well in the thesis. In the introductory part (Chapter 2), the author describes the visual features. The goals of the dissertation thesis are briefly presented in Chapter 3. The Chapter 4 is about detectors and descriptors relevant to this work. In chapter 5, Lukáš Bureš describes several datasets that could be used in the task of sematic segmentation. Chapter 6 deals with the actual task of long-term visual localization analysis. Parameter tuning experiments are describes in Chapter 7 and experiments with semantic segmentation are presented in Chapter 8. Chapter 9 is focused on SuperPoint training experiments. In Chapter 10 is presented keypoint filtering and all achieved results are clearly summarized in Conclusion (Chapter 11). I especially appreciate that chapters 5-10 end with a section Summary or Discussion. This division of the dissertation significantly improves the reading of such a large work.

**Methods and methodology:**

The thesis demonstrates that Lukáš Bureš has become familiar with all the basic concepts and algorithms used in image/signal processing and recognition. All described methods and algorithms are well designed and it is shown from the results that they are useful and robust for sematic segmentation.

**Results and achievements:**

In his thesis, Lukáš Bureš presents results from several experiments for demonstration of his system for semantic segmentation in long-term visual localization. In my opinion, the author of this thesis has done a lot of research work, obtained interesting results and proposed several original methods or ideas, e.g.: 1) The newly achieved results were obtained by carefully fine-tuning parameters of HLoc pipeline. The achieved results outperform all other methods and approaches. 2) The dynamic objects generate only unmatched keypoints and, therefore, can be removed. 3) The new approach of dynamic keypoints filtering is based on semantic segmentation information. The approach outperforms the current state-of-the-art results for selected datasets. It can thus be said that the stated objectives have been well addressed.

The results which are shown in tables and graphs are good enough and it appears that it will be possible to use this system in real conditions. Otherwise the results are presented clearly, with detailed description and discussion, and they are well illustrated by many images, graphs and tables. The only weakness of the whole dissertation thesis is the Bibliography section. I didn't find any single reference to the author's work that would be relevant to the submitted dissertation thesis.

**Scientific contribution of the thesis:**

The algorithms and methods for semantic segmentation (preprocessing etc.) appears useful. The results achieved in this dissertation thesis outperform the current state-of-the-art or they are at least comparable. The text of the thesis is clear, well organized and contains minimum typos.

As to Lukáš Bureš publishing activity: So far, his list of papers (which is not a part of the dissertation, but it was sent to me afterwards) contains 12 already published conference or journal papers more or less relevant to his thesis and 8 other works. Six of them are indexed in the ISI - Web of Knowledge database. Two papers are journal publications, where Lukáš Bureš is the main author of one journal paper. This clearly shows that his research has been known to the community.

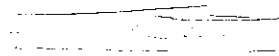
**Conclusion:**

The author of the thesis proved to have an ability to perform research and to achieve original scientific results. I recommend the thesis for presentation with aim of receiving the degree of Ph.D.

**Questions:**

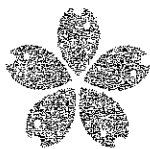
- 1) Page 77: Upsizing smaller images to 1600 pixels on the longer side could detect more robust keypoints. I haven't seen the input data, but isn't it because a non-negligible amount of the images in the dataset are larger than (or the same as) 1600 pixels on the longer side?
- 2) It is written in the dissertation that the tuned HLoc pipeline with tuned parameters yielded new state-of-the-art results and it outperforms the original HLoc by **0.1%** in the most accurate localization threshold. Is it just a coincidence? Has any test of statistical significance been done?

In Liberec, May 9<sup>th</sup>, 2022



doc. Ing. Josef Chaloupka, Ph.D.

Institute of Information Technology and Electronics  
Technical University of Liberec



Fakulta rybnářství  
a ochrany vod  
Faculty of Fisheries  
and Protection  
of Waters

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice  
Czech Republic

**Oponentní posudek na disertační práci s názvem: Sémantická segmentace v dlouhodobé vizuální lokalizaci vypracovanou Ing. Lukášem Burešem.**

Disertační práce popisuje práci studenta v oblasti vizuální lokalizace obrazu. Motivace a cíle práce jsou stanoveny logicky a vychází z mezer v současném stavu poznání. Práce srozumitelně a přehledně popisuje hlavní metody využívané pro vizuální lokalizaci a všechny jednotlivé kroky, jako třeba detekci klíčových bodů. Obecným cílem práce bylo aplikování sémantické segmentace pro detekci dynamických objektů (vozidel a osob) k filtraci klíčových bodů použitých pro samotnou lokalizaci. Tohoto cíle bylo prokazatelně dosaženo a metody byly otestovány na standardizovaných datových sadách. Práce je významná pro obor vizuální lokalizace, neboť přináší aplikaci vlastní myšlenky, snadno využitelné v již víceméně standardizovaném procesu vizuální lokalizace.

**Přínos práce vidím především v aplikaci sémantické segmentace při detekci klíčových bodů v obraze.** Metoda sémantické segmentace byla aplikována jako filtrace klíčových bodů, které detektor nachází na dynamických objektech ve scéně. Student prokázal, že aplikováním metody na obrazy, které obsahují větší množství dynamických objektů dojde ke statisticky významnému zlepšení výsledků vizuální lokalizace. Současně bylo prokázáno, že na obrázcích s nízkým zastoupením dynamických objektů nedochází při aplikaci metody ke zhoršení výsledků.

Ladění parametrů implementací jednotlivých dílčích řešení (neuronových sítí) považuji za přínosné, ale spíše za standardní proces vývoje související s implementací hlavní myšlenky autora.

Metodika použitá pro dosažení řešení vybraného problému odráží aktuální poznatky v oblasti vizuální lokalizace. Z pohledu zpracování dat se jedná o aplikovaný přístup, kdy student využívá existujících řešení, ovšem pro dosažení jeho vlastní inovativní aplikace. Student prokázal znalosti ze sémantické segmentace, detekce klíčových bodů a samotných hlubokých neuronových sítí.

Práce samotná je přehledně členěna a popis jednotlivých částí je dostačující. Student zvolil logickou strukturu a vhodnou úroveň detailů při popisu aktuálních metod. Odstavce s diskusí, které jsou zařazeny po každé logické části práce se zdálo být v počátku velmi dobré řešení, ovšem na konci práce bych ocenil jeden ucelený odstavec obsahující celkovou diskusi práce. V rámci diskuse postrádám informaci o časové náročnosti metody. Autor sice uvádí, že vizuální lokalizace typicky nepracuje v reálném čase ovšem časovou náročnost výpočtu je určitě vhodné komentovat.

V práci bohužel není uveden přehled publikační činnosti studenta. Na WOS jsem našel pět záznamů pro vyhledávání Lukáš Bureš. Tři z nich jsou relevantní k předkládané disertační práci studenta. Ve všech třech je student prvním autorem. Články jsou publikovány jako příspěvky na konferencích SPECOM a ICR. Na WOS spadají příspěvky do kategorie Q4. Dále jsem našel tři další práce, na kterých se student podílel, a které byly také publikovány jako konferenční příspěvky. Vzhledem k formátu publikovaných článků a účasti na zahraničních konferencích student splňuje požadavky kladené na vědeckou činnost. Bylo by vhodné uvést seznam publikací v samotné disertační práci.

Student disertační práci a ostatními publikacemi prokázal schopnost vědecké práce, její prezentace a publikování. Oceňuji, že student nejen že otestoval svou vlastní myšlenku, která vedla k překonání výsledků stávajícího poznání, ale že implementoval postup jako softwarové nástroje využitelné



Fakulta rybnářství  
a ochrany vod  
Faculty of Fisheries  
and Protection  
of Waters

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice  
Czech Republic

odbornou veřejností. Cíle disertační práce shledáván jako splněné. Z tohoto důvodu doporučuji disertační práci k obhajobě.

Otázky:

- 1) Uvedte informaci o časové náročnosti implementovaného postupu. Především v porovnání s postupem bez sémantické segmentace.
- 2) Při přípravě posudku jsem narazil na tento článek (Erik Stenborg, Carl Toft, Lars Hammarstrand, Long-term Visual Localization using Semantically Segmented Image <https://arxiv.org/abs/1801.05269>). Jak práce studenta souvisí nebo se odlišuje od této práce?
- 3) Za dynamické objekty jsou v práci považováni lidé a automobily. Pokud jsem z popisu dobře pochopil, bylo experimentováno i s využitím detekce stromů. Z jakého důvodu není zeleň zařazena do dynamických objektů?

České Velenice 28.6.2022

Ing. Petr Císař Ph.D.