

Posudek na doktorskou práci Ing. Lukáše Hrudy

Symmetry detections in Geometric Models

Předložená doktorská práce se zabývá přibližnými a numerickými metodami pro hledání symetrií v rozmanitých souborech geometrických dat. Znalost symetrie vyšetřovaného objektu má řadu praktických aplikací v počítačové grafice, umožňuje např. rekonstrukci neúplných původně symetrických objektů, kompresi dat či symetrickou editaci. Ing. Lukáš Hruďa vyvinul zejména takové numerické algoritmy, které hledají předpokládanou symetrii. Témata, jimiž se doktorská práce zabývá, rozhodně patří mezi aktuální problémy současné aplikované matematiky a informatiky. Vytčený cíl byl jednoznačně splněn.

Vlastní dizertace je dosti obsáhlá. Má 184 stran, které jsou rozděleny do devíti kapitol. Jejich obsah lze velice stručně charakterizovat takto:

Na začátku doktorské práce je podrobný úvod do vyšetřované problematiky a též jsou zde popsány její rozličné technické aplikace. Druhá kapitola je věnována především definicím různých typů symetrií (např. translační symetrie a její kombinace s dalšími symetriemi). Třetí kapitola se zabývá zrcadlovou a rotační symetrií a jejich zobecněními. Čtvrtá kapitola pojednává o metodách pro hledání symetrií povrchu vyšetřovaných objektů. V páté kapitole se Ing. Hruďa zabývá mj. duálními reprezentacemi v trojrozměrném eukleidovském prostoru. Šestá kapitola je věnována velice důležitým otázkám míry symetrie, tj. jak odchylky od přesné symetrie měřit. Sedmá kapitola se zabývá detekcí rotační symetrie pomocí tělesa kvaternionů a zrcadlové symetrie. Tato kapitola obsahuje nejvíce původních výsledků a považuji ji za nejzdařilejší. V osmé kapitole se probírají některá speciální témata, jako například detekce lokální zrcadlové symetrie. Devátá kapitola je věnována závěrům.

Následují přílohy zaměřené na zhodnocení vlastního přínosu ke třem publikacím příspěvků z mezinárodních konferencí a třem publikacím v impaktovaných časopisech. Na ně dizertant získal již několik citací (bez autocitací spoluautorů). Dále je popsána účast ve vědeckých projektech, přednášková činnost na konferencích, je uveden h -index 2 aj.

V americké databázi Mathematical Reviews je evidován článek Ing. Hrudy publikovaný se třemi spoluautory v prestižním časopise Computer Aided Geometric Design z roku 2022. Eviduje jej i evropská databáze Zentralblatt für Mathematik a databáze Scopus.

Efektivita navrhovaných metod je v dizertaci ilustrována na řadě numerických testů, které jsou doplněny názornými grafy, tabulkami a obrázky. Sestavení příslušných programů si jistě vyžádalo obrovské úsilí a svědčí o výborné programátorské zručnosti Ing. Hrudy.

Doktorská práce je napsána velice srozumitelně, mimořádně pečlivě a má logické řazení. Překvapilo mě však, že jsem v ní nenalezl pojem grupa, protože symetrie ve fyzice, v přírodě i matematice jsou popsány právě pomocí teorie grup. Na str. 38 se přesto objevuje symbol Lieovy grupy $SE(3)$, ale není zde řečeno, co tento symbol znamená. Dizertační práce je napsána velice dobrou angličtinou a neobjevil jsem v ní žádné překlepy.

Mám jen několik drobných a terminologických připomínek. Namísto „whole number“ (viz str. 6) by bylo vhodnější použít termín „integer number“. Pro transpozici matice R na str. 44 by se měl používat zavedený příkaz `\top` místo horního indexu T , aby nedocházelo ke kolizi značení s transformací T . Funkce \sin , \cos , \arccos , \min , diag ,... se standardně píší stojatým fontem (srov. např. str. 80 a 131). Čísla se obvykle píší stojatě (antikvou) a proměnné kurzívou. Proto je vhodnější psát imaginární jednotku i na str. 128 stojatě, aby se odlišila od sčítacích indexů i . Totéž platí i pro další jednotky v tělese kvaternionů. Tyto víceméně technické připomínky ale nemají žádný vliv na kvalitu posuzované práce.

Velice bych uvítal, kdyby Ing. Hruďa mohl během obhajoby doktorské práce zodpovědět následující tři dotazy:

- a) *Jaký postup zvolit pro detekci jiných symetrií, například šroubovicovou symetrii či určení všech symetrií pěti platónských pravidelných mnohostěnů?*
- b) *Jaký je vlastní přínos dizertanta k definici míry symetrie probírané v podkapitole 6.1?*
- c) *Podrobněji uvést podíl dizertanta na článku (viz str. 162): L. Hruďa, I. Kolingerová, M. Lávička, M. Maňák, Rotational symmetry detection in 3D using reflectional symmetry candidates and quaternion-based rotation parametrization, Comput. Aided Geom. Design 98 (2022), Article ID 102138.*

Ing. Hruďa je vyhraněnou vědeckou osobností. Má výborný přehled o existující literatuře k vyšetřované problematice a jeho práce má skutečně vynikající úroveň. Dizertant jednoznačně prokázal, že je erudovanou osobností a je schopen vlastní vědecké práce.

Na základě výše uvedených skutečností doporučuji, aby Ing. Lukáš Hruďa byl připuštěn k obhajobě své doktorské dizertace a byla mu udělena vědecká hodnost PhD.

V Praze dne 26. dubna 2023

prof. RNDr. Michal Křížek, DrSc.
Matematický ústav AV ČR
Žitná 25, 115 67 Praha 1
tel. 222 090 712

Dissertation thesis review

Ing. Lukáš HRUDA

Symmetry Detection in Geometric Models

Pilsen: WBU 2023, 176+8 pages

Work Identification

The English text (with a Czech Abstract at page v) of the dissertation consists of 8 introductory pages (i-viii, pagination not given), and (at numbered pages) **1 Introduction**, pp. 1-5, **2 Background**, pp. 6n, **3 Related Work**, pp. 15n, **4 Consensus Evaluation in RANSAC Surface Registration**, pp. 36n, **5 Plane Space Representation in Mode-based Symmetry Plane Detection**, pp. 70n, **6 Symmetry Plane Detection Using Differentiable Symmetry Measure**, pp. 89n, **7 Rotational Symmetry Detection Using Reflectional Symmetries and Quaternions**, pp. 122n, **8 Additional Contributions**, pp. 147n, **9 Conclusion**, pp. 158n, **A Activities**, pp. 161n, **Bibliography**, pp. 165n (130 items). The reference software implementation is referenced in Ref. 52. The text is illustrated by 68 figures and 16 tables.

a) Thesis importance

In visual computing, there are still many problems open, especially the automated geometry processing. Let us quote from the project Abstract (p. v) „*Most importantly, we present our own contribution in these fields, namely in rigid surface registration, reflectional and rotational symmetry detection and plane space representation.*“ These contributions taken as problem types belong to hot research topics, what is supported by an excellent bibliography (130 items) and publishing of the results.

The meaning of the doctoral thesis theme and its subproblems solved is very important and highly actual not only for scientists but for practical use, as well. (In one case the solution helped to win another project and multiple direct applications are mentioned by the author, e.g. in Chapter 8.)

b) Methodology, used methods and goal(s) fulfilment

The author – under the supervision of prof. Ing. Ivana Kolingerová, PhD. within the PhD study program Applied Informatics – focuses on the following research goal, page 2: „***The main goal of this work is to enrich the field of symmetry detection by designing new more reliable and efficient methods or improving the existing ones to tackle the challenges of detecting weak or partial symmetries efficiently and reliably and to make symmetry detection an easier task to solve in general. In some parts of this text we will also talk about the problem of registration which is strongly related to symmetry detection as it can be simply described as the problem of finding symmetry between two objects. Symmetry detection can also be perceived as the process of registering an object onto itself, i.e. symmetry detection can be seen as special case of registration***“

in a way. Therefore, the registration problem also fits well into the symmetry detection topic. Based on the literature review and own original ideas, the methodology enriches the standard algorithmic paradigm Prune and Search by another step, named Best. The proposed methods include the classic RANSAC framework, modified by the novel quality measure (Chapter 4), theoretical comparison of Plane Space Representation (Chapter 5), Differentiable Symmetry Measure, which allows for informed search in parametric space of solutions (Chapter 6), with alternative application (6.5), Rotational Symmetry Detection Using Reflectional Symmetries and Quaternions (Chapter 7) and some additional contributions.

The goals of the dissertation are fulfilled, in my opinion.

c) Contribution evaluation

The research and written work is completed in a professional quality. Following well proposed testing scenarios, all novel methods are carefully compared against state-of-the art. (Below are listed some minor possible improvements.)

Quality measurement was systematically identified to compare against the closest competing state-of-the-art projects. The author analyzed, so to say, four approaches by processing huge volume of relevant datasets. He discusses several sub-problems in many pages, which resulted in extraordinary length of the dissertation (doubling the usual page count). The novelty I see in better mathematical models and using excellent discussion of model properties and implemented methods.

These contributions led to international recognition of a creative research personality and valuable publications and citations. The dissertation project fulfills the level, novelty and extent expectations at Central European universities. All stated hypotheses were practically verified and seem promising for (future) research community and for practice, as well.

d) Evaluation of systematics, structuring, formal layout and language of the dissertation

The methodology of this research project combines several advantages of well-studied and understood areas: computational mathematics and applied computational geometry. The written presentation of submitted dissertation can eventually profit from separating explicitly the real world, mathematic model, computer representation, and a particular implementation (four universes in Computational Mathematics).

However, the computational geometry approach could be improved slightly more. The Introduction in p. 1 states three general problems, symmetry detection, how much symmetry there is and approximating symmetry, but these three are not identified in terms of input, output, numbered steps, lower bound (if known), known upper bounds using Knuth notation for asymptotic time and memory consumption estimations. This applies for all problems and algorithms in the following chapters. Even the explicit List of Algorithms (Figures, Tables, Notation...) is missing. The only systematic complexity evaluation documents the observed time measurements, the number of operations can be eventually found and counted by an interested reader in software, ref. 52 points to meshcompression.org. The first occurrence of $O(N)$ is in page 20, in page 33 "computational complexity is high".

"An intrinsic property of a mathematical object which causes it to remain invariant under certain classes of transformations (such as rotation, reflection, inversion, or more abstract operations). The mathematical study of symmetry is systematized and formalized in the extremely powerful

and beautiful area of mathematics called "group theory" [Wolfram]. At least, group of rotations $SO(3)$, symmetry group of an object X denoted usually $G = \text{Sym}(X)$ etc. would be desirable to define explicitly, e.g. in parts 3.1, 3.2. An alternative offers the paper by Ovsjanikov et al., SGP 2008.

As already said, the work is done and written in a professional quality. This holds for the global level and the majority of text. However, there occurred minor typographic or stylistic problems.

In References, there are missing certain standard metadata (year, pages) in Refs. 5, 6, 9, 43, 63, 64, 66, 85, 101, 116, 118 or there are typos in the names of doc. Váša and prof. Lávička, „ed ed.“, „T., T., and Rieke-Zapp, D.“, missing capital letters in multiple qualification theses from Czech universities. Ref. 116 paper seems not being published online or it is withdrawn.

The five key chapters could be enriched by the visual abstracts or schematized workflows.

Rarely the formulations are too strong, e.g. in page 2: „No method exists...“ >> In given literature, no method exists. $SE(3)$ is undefined in page 38, sending the reader to consult ref. 8.

These remarks do not decrease the valuable research contribution of the work.

In the discussion, it would be desirable to discuss the following two questions:

- Can you imagine a systematic theory for the measures of quality in symmetry detection?
- How the computational complexity is evaluated in the field in general?

e) Evaluation of candidate's publications

The author published 3 conference papers at ICCS, ASPAT and GRAPP with 80, 10, and 90 percent of coauthoring. Another 3 papers appeared in impacted journals CGF, Visual Computer and CAGD with 50, 80 and 80 percentage of contributing. In addition, there are 2 topic-related publications and 2 non-related ones. A part of these 10 papers were supported by 3 projects. There are 5 oral presentations (two in Czech), second place in IT SPY 2018, GRAPP best paper award and h-index 2 achievements. The impacted journal papers were cited four times up to now at WoS/Scopus level. Within DBLP, there are seven papers included in the years 2018-2023. In the meantime, Scopus (and ORCID) documents 6 papers and 17 citations. Google Scholar displays 12 items, 41 citations and h-index 4. WoS reports on 3 papers and 9 citations.

The quality and quantity of publications is clearly over the typical requirements at multiple Central Europe universities.

Conclusion

The author of the Dissertation thesis *Symmetry Detection in Geometric Models* Ing. **Lukáš HRUDA** presented the excellent ability to perform research and to achieve scientific results and superb feedback at international level. In accordance with the law 111/98 Sb., I do recommend the project for the defense (and I propose the A level of evaluation, if this is relevant). Moreover, I propose to honor the dissertation by rector's award for extraordinary citations and publish it in appropriate form, e.g. in Springer briefs (shortened to 125 pages) as a valuable compact scientific monograph.

Bratislava, June 15, 2023

