An evaluation of Doctoral Thesis submitted by Ing. Tomáš Vomáčka

On 18 Oct, 2019, I was appointed by the University of West Bohemia, Faculty of Applied Sciences, to evaluate a Doctoral Dissertation entitled ***"Construction of Geometric Models for Moving Points"***, which was submitted by **Ing. Tomáš Vomáčka** under the supervision of Prof. Dr. Ing. Ivana Kolingerová. The thesis is from the scientific area Computer Science, more specifically, from Computational Geometry. In the continuation I am giving the evaluation.

The thesis has 101 numbered pages and consists of 12 Chapters, an Appendix, and a List of References.

In the Introduction, the candidate gives the motivation for his research, explains the importance of time-dependent monitoring of changes in geometric data (points). He explains briefly the difference between dynamic and kinetic data structures. The Introduction continues with the problem definition, followed by the summary of the contribution to the science. He did not, however, provide a scientific hypothesis.

Chapter 2 consider a Voronoi diagram and its dual, Delaunay triangulation, together with their formal definitions. The fundamental approaches for Delaunay construction algorithms are given in Chapter 3. The title of Section 2 is somehow misleading. Namely, the phrase "spatial data structure" deals with the organization of geometric data (e.g. quad and octrees, k-d trees, BSP-trees, R-trees and many others) for an efficient search. The candidate should explain clearly the difference between general understanding of the spatial data structures and the meaning in the context of his thesis.

Chapter 3 gives a brief overview of algorithms for Delaunay triangulation construction. It seems that it would be better conceptually, to join Chapter 2 and Chapter 3 and name it, for example, "Voronoi diagram and Delaunay triangulation" to solve the misunderstanding with the spatial data structure.

Chapter 4 introduces the kinetic data structure, certification function, kinetic events, event queue, lifecycle of the kinetic data structure, and its general properties. The Chapter is concluded with the combinatorial analysis, Davenport-Schienzel sequence, and Ackermann function.

Chapter 5 mentions typical examples of kinetic data structures as collision detections, crowd simulation, mathematical simulation, and motion interpolation. This Chapter is rather short (only 2 pages), and would be joined naturally with the previous Chapter, especially as it does not bring any new theoretical information.

The central part of the proposed Dissertation is Chapters 6 and 7. The candidate introduces Kinetic Delaunay Triangulation (KDT) and kinetic locally minimal triangulation. The events and the general properties are given for both considered kinetic triangulations. The most challenging part of kinetic data structures is the calculation of the time events, i.e. when the actual data structures changes their topology, which is considered in Chapter 7. Firstly, the event computation methods are overviewed. Analytics and numerical methods are considered in more detail. Perhaps some very basic maths can be omitted (such as, for example, solving the quadratic equation). An explanation of specialized methods follows for solving polynomials. The Chapter is concluded with the event classification and redundancy.

The last part of the Dissertation considers four very different applications of kinetic data structures. Chapter 8 introduces a method for managing KDT, which contains a specialized method, developed by the candidate, for polynomial roots` finding, and an approach for reduction of the redundant events. In my opinion, it would be better to place this Chapter into section B – Theoretical Research.

Video representation based on KDT is given in Chapter 9. Firstly, a short state-of-the-art is given for video compression. However, although later used for the comparison (DivX), MPEG-4 AVC and H.264 are not mentioned. The approach follows the classical division of I-frames into macroblocks and then performing the motion estimation for them. It would, however, be more interesting to try to code the whole I-frame with DT, and then apply KDT for motion compensation. Artefacts, caused by dividing the frame into macroblocks, would then, probably, be reduced considerably.

Chapter 10 introduces an application of KDT for an early warning system for air traffic control. The candidate shows that using KDT has a great potential in the global control of the air traffic. For the plain trajectories he used the simplest approach. i.e. the linear extrapolation, which gives satisfactory results. However, it would be interesting to try more sophisticated methods for the position prediction, for example, the Kalman filter.

Chapter 11 deals with the corridor selection for virtual pedestrian navigation, where the candidate obtained very promising results.

Chapter 12 concludes the Thesis. Perhaps this Chapter can be extended to highlight the novelties, the results and the potential of kinetic data structures (especially Kinetic Delaunay Triangulation) better.

The Appendix confirms that the research done by Ing. Tomáš Vomáčka is recognized internationally. As the first author, he published the parts of the research presented in this Dissertation in the highly recognized scientific journal *The Visual Computer,* with an Impact Factor. Beside this, his bibliography includes 4 publications on Web of Science and Scopus conferences, four other international conferences, and an unpublished manuscript.

The Dissertation is concluded with a list of references, consisting of 104 relevant entries.

The Dissertation is written very carefully in English, I have found just a few typos. The most important, however, is on page 67, where the reference to Table 8.2 should be replaced with the reference to Figure 8.2. In addition, I would suggest reducing the number of subsections, as some of them are extremely short.

Summary: The submitted Doctoral Thesis of candidate **Ing. Tomáš Vomáčka** represents an important work in Kinetic Data Structures, especially on kinetic Delaunay Triangulation, and generally in Computer Science. His work opens many new challenges for further research, and some of them are mentioned in the Experimental section. The ideas proposed in this Thesis were presented at scientific conferences and in a scientific journal with an Impact Factor. Therefore, **I evaluate the submitted Doctoral Dissertation, entitled *"Construction of Geometric Models for Moving Points"*, positively. I do propose its defense, with the aim that the candidate, Ing. Tomáš Vomáčka, receives a PhD degree in Computer Science.**

Prof. Dr. Borut Žalik, univ. dipl. ing.

B. Žalik

Ing. Tomáš Vomáčka: **Konstrukce geometrických modelů pro pohybující se body**

Posudek oponenta disertační práce

Předložená práce je věnována algoritmickým aspektům vybraných geometrických úloh souvisejících s pohybujícími se body; jedná se především o tzv. kinetickou Delaunayovu triangulaci, což je dynamická verze Delaunayovy triangulace s pohyblivými vrcholy. Téma práce je podle mého názoru atraktivní a lze je zařadit na pomezí výpočetní geometrie, numerické matematiky a teoretické informatiky. Použitelnost teoretických výsledků je dobře ilustrována pestrou škálou aplikací (např. kódování videa nebo detekce kolizí letadel).

Práce vychází z publikací, jejichž seznam je uveden v příloze A. Domnívám se, že počet publikací je dostačující. Téměř ve všech případech se jedná o publikace se spoluautory, proto bych uvítal informaci o tom, jaký byl autorský podíl jednotlivých autorů.

Část 1 se poměrně zeširoka zabývá kinetickými datovými strukturami a jejich využitím. Ukazuje, že k analýze efektivity je potřeba přistupovat jiným způsobem, než je tomu u klasických statických datových struktur. Část 2 podrobně rozebírá kinetickou Delaunayovu triangulaci a související tzv. kinetickou lokálně minimální triangulaci. Pozornost je věnována detekci událostí, kdy dochází k topologickým změnám triangulace. Problematika úzce souvisí i s numerickým řešením algebraických rovnic. Část 3 představuje vybrané aplikace.

Disertace je přehledně a systematicky strukturována. Text je psán přístupnou formou, nevyžaduje od čtenáře hlubší znalosti matematiky ani informatiky. Čtivost výrazně zvyšuje velké množství ilustrací. Angličtina je místy poněkud kostrbatá a množství jazykových chyb není zcela zanedbatelné (namátkou např. 10^3: include → includes, 14_6: points of conjunction → intersection points, 23^{11}: simillar → similar, 27^{12}: correctnes → correctness, 28^8 a na mnoha jiných místech: topologic → topological, 28^{15}: perturbated → perturbed, 29^9: eveluate → evaluate, 39^3: requires → require, 39^4: practise → practice, 40_1: extraordinal → extraordinary, 51_2: a more → more, 69_2: relativelly → relatively, 69, algoritmus 4, řádek 13: distinctive → distinct, 86_8: prefered → preferred, 91^{10}: asses → assess), není to však na úkor srozumitelnosti.

Za podstatnější považuji některé věcné chyby a nejasnosti:

(1) 15: třetí podmínka v definici 3 je nesrozumitelná – co je myšleno slovem „maximální“?
(2) Delaunayova triangulace je na straně 15 definována pouze v dimenzi 2. Na str. 17 v obrázku 2.3 proto není jasné, co je myšleno triangulací v dimenzi 1.
(3) 26: je zaručeno, že rekurze v algoritmu 2 se nezacyklí a výpočet skončí v konečném čase?
(4) 31: při čtení algoritmu 3 čtenáře přirozeně napadne, že zpracování jedné události může vést ke změnám v datové struktuře, které způsobí, že některé další původně plánované události již nebudou aktuální. Toto je diskutováno na s. 43 a s. 61–63, považoval bych však za vhodnější zmínit to již na s. 30 v sekci „Lifecycle of Kinetic Data Structures“.
(5) 33: Bylo by vhodné upřesnit, že v definici 8 jde o konečný systém funkcí.
(6) 35, sekce 4.5.3: jak přesně z věty 1 plyne, že počet vrcholů minimalizačního diagramu je $O(n^2)$?
(7) 36^6: Takto definovaný izomorfismus grafů neznamená nic jiného než rovnost grafů. Proč se zavádí pojem izomorfismu?
(8) 40_7: místo odkazu na Chapter 4 asi má být Chapter 7
(9) 44_1: asi chybný odkaz na (6.2), má být (2.8)?
(10) 47, vztah (6.2): Proč nebyl tento certifikát pro testování konvexity uveden již ve vztahu (2.8) na s. 19, kde je to „úmyslně chybně“? Je zjednodušená verze (2.8) za nějakých okolností postačující?
(11) 53, definice 12: polynom není rovnice, ale funkce.
(12) 54, rovnice (7.3) neplatí – pravá strana není absolutní hodnota kořene, ale její horní odhad.
(13) 55, rovnice (7.5): co je b?
(14) 57: obrázek 7.1 se zdá být chybný, x_3 by měl ležet mezi x_1 a x_2.
(15) 58: definice Sturmovy posloupnosti je obtížně srozumitelná. Není zřejmé, zda posloupnost vždy existuje a je určena jednoznačně. Proč nedefinovat Sturmovu posloupnost přímo vztahy (7.8)? V definici 15 se hovoří o Sturmově posloupnosti na intervalu, zatímco před vztahem (7.8) o Sturmově posloupnosti polynomu, aniž by bylo vysvětleno, co to znamená.
(16) 59^2: Mělo by být upřesněno, že jde o počet změn znamének Sturmovy posloupnosti v daném bodě x, nikoliv v celém uvažovaném intervalu.

(17) 59, 2. odstavec: Zde se mluví o kořenech, resp. lichém stupni polynomu f_m. Jak se to slučuje s požadavkem 1 na předchozí straně, že f_m má být nenulový? Tento požadavek je zjevně chybný. Stejný problém se vyskytuje v tab. 8.1 na s. 67.

(18) Na s. 59 by mohlo být lépe vysvětleno, proč lze pomocí f_m najít hodnoty a násobnosti vícenásobných kořenů – stačilo by zmínit, že f_m je největší společný dělitel f_0, f_1.

(19) 65–66: není řádně vysvětleno, jak experiment s 2.5D vlnou souvisí s Delaunayovou triangulací. Jaký je vztah mezi modrou a zelenou triangulací na obr. 8.1?

(20) 69, algoritmus 4: Není vysvětleno, jak se hledají kořeny f_m. Stačilo by uvést, že jde o polynom stupně nejvýše 2. Jak by se ale postupovalo v případě, kdy f má stupeň 4 nebo vyšší? Předpokládám, že by byla použita vhodná numerická metoda. Jak by byla zjišťována násobnost kořenů?

(21) 71, poslední věta: Nerozumím zmínce o numerické nestabilitě. Co je příčinou této nestability?

(22) 78–79: lze nějak jednoduše vysvětlit, proč XviD poskytuje vyšší kvalitu snímků?

(23) 84: Jak se odhaduje vektor rychlosti v_q ve vzorci (10.1) – z diference dvou po sobě jdoucích poloh?

(24) 86–90: Na první pohled se zdá, že kapitola 11 vůbec nesouvisí s kinetickými strukturami. Kde jsou využity – k detekci kolizí?

(25) 89^3: místo odkazu na obr. 11.2 (a) asi má být 11.2 (b).

(26) Obr. 11.4 (b) je chybný, jde o kopii obr. 11.3 (b). Ve zdroji [97] je nicméně správný obrázek.

(27) 91, poslední věta 3. odstavce nedává smysl (kinetic data structures have been compared with kinetic data structures).

Uvítal bych, kdyby se autor během obhajoby vyjádřil k výše zmíněným problémům a otázkám, zejména k bodům 3, 7, 10, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 24. Dále by mě zajímalo, zda je možné výsledky práce aplikovat i na případ, kdy trajektorie bodů nejsou polynomiální, ale jen po částech polynomiální (např. splajny). Takové trajektorie vznikají např. při numerickém řešení diferenciálních rovnic.

Závěr: Disertační práce obsahuje nové výsledky využitelné v praxi. Domnívám se, že její cíle byly splněny. Rozsah práce není velký a výsledky příliš hluboké, autor však prokázal schopnost samostatné tvůrčí práce a orientaci v problematice, která propojuje několik disciplín teoretické informatiky a matematiky. Podle mého názoru lze práci uznat jako disertační za předpokladu, že se autor během obhajoby uspokojivě vyjádří k výše zmíněným nedostatkům.

V Praze dne 28. listopadu 2019

doc. RNDr. Antonín Slavík, Ph.D.
Matematicko-fyzikální fakulta UK