

## Oponentský posudek

na disertační práci pana Michala Šmolíka nazvanou

### Vector field approximation methods

Disertační práce Michala Šmolíka obsahuje v souladu se zákonem o vysokých školách č. 111/1998 Sb., ve znění pozdějších předpisů, původní a uveřejněné výsledky nebo výsledky přijaté k uveřejnění. Práce se zabývá vybranými aktuálními problémy aproximace a komprese vektorových dat pomocí bezsíťových technik.

Rozsáhlé dílo se skládá z úvodního přehledu základních poznatků a z 12 publikací doplněných komentáři. Všechny se týkají výše uvedených technik používajících radiální bázové funkce.

Práce má 167 stran a je rozdělena do pěti kapitol. První kapitola je stručným úvodem a shrnuje také cíle disertační práce. Kapitola druhá je věnována stručnému a přehlednému shrnutí základních poznatků (vektorové pole a jeho linearizace, kritické body, radiální bázové funkce). Ve třetí kapitole jsou stručně diskutovány tématicky související práce od jiných autorů. V kapitole čtvrté jsou pak zařazeny autorovy publikace opatřené krátkými úvodními shrnutími. V závěrečné kapitole jsou shrnuty získané poznatky a nastíněny směry dalšího výzkumu v dané oblasti.

Základním cílem disertační práce je, jak již bylo zmíněno, studium bezsíťových technik založených na aproximaci pomocí radiálních bázových funkcí. První z prací uvedených v disertaci (Vector field radial basis function approximation) se zabývá metodou výběru kritických bodů, které je vhodné zahrnout do aproximace vektorového pole. Druhý článek (3D Vector Field Approximation and Critical Points Reduction Using Radial Basis Functions) navazuje na předchozí uvedený text a je v něm provedeno rozšíření na třídimenzionální případ (na příkladu dat popisujících tornádo) za použití lokálních radiálních bázových funkcí. Autorem studované postupy vedou na řešení velkých soustav lineárních algebraických rovnic. Třetí článek (Large scattered data interpolation with radial basis functions and space subdivision) se proto zabývá technikou dělení prostoru (s překrýváním), která vede k výraznému zefektivnění postupu. Následující článek (Efficient Simple Large Scattered 3D Vector Fields Radial Basis Functions Approximation Using

Space Subdivision) využívá techniky dělení prostoru na třídimezionální data (opět týkajících se tornád). Pátý text (Vector Field Radial Basis Functions Approximation with Streamlines Curvature) je zaměřen na využití vážených radiálních bázových funkcí s cílem snížit chybu aproximace v důležitých bodech vektorového pole (hustota umístění RBF je úměrná křivosti proudnic). Šestá práce (Radial Basis Function and Multi-level 2D Vector Field Approximation) se zabývá víceúrovňovým přístupem, který umožňuje zvýšit kompresní poměr. Další text (Classification of Critical Points Using a Second Order Derivative) je zaměřen na klasifikaci kritických bodů založenou na Hessově matici (nikoliv na Jacobiho matici). V pořadí osmá práce (Vector Field Second Order Derivative Approximation and Geometrical Characteristics) využívá třídění založené na kuželosečkách. Desátý a jedenáctý text jsou zaměřeny na interpolaci na kulové ploše. Poslední článek je věnován srovnání aproximací RBF a LOWESS.

Předložená disertační práce splnila cíle uvedené v úvodu práce, splňuje požadovaná kritéria i po stránce grafického zpracování. Jsem toho názoru, že Michal Šmolík v práci prokázal svoje znalosti jak v oblasti informatiky, tak i v oblasti návrhu numerických algoritmů a jejich efektivní implementace. Je evidentní, že má předpoklady k tvůrčí práci v oboru.

Mám následující otázky:

Z textů není vždy zřejmé, jak je zadáno původní vektorové pole, které je pak aproximováno. (Jde např. o po částech lineární aproximaci na trojúhelníkové síti?) Není také úplně jasné, jak je např. z těchto dat stanovována křivost. Je možné tyto informace stručně doplnit?

Součástí problému je řešení soustav lineárních algebraických rovnic (v některých případech s řídkou maticí, v některých případech s plnou maticí). Jakým způsobem jsou tyto soustavy řešeny? Lze shrnout získané poznatky v této oblasti?

Lze (v souvislosti s předchozí otázkou) popsat, jaký je vliv volby radiálních bázových funkcí na číslo podmíněnosti matice a na přesnost aproximace?

Lze porovnat časovou náročnost studovaných postupů s jinými uvedenými v literatuře (např. v případě využití pro kompresi dat)?

Hlavní přínos autora spočívá v rozvoji metod aproximace a komprese vektorových dat. Autor navrhl v rámci publikací řadu nových postupů a rea-

lizoval řadu výpočetních experimentů. Konstatuji, že autor ve své práci splnil stanovené cíle. Výsledky, které autor získal, mají velký aplikační potenciál a jsou přínosem v řadě oblastí. Mezi podklady jsem obdržel seznam publikovaných prací: jde o pět textů v mezinárodních odborných časopisech a 22 publikací v rámci mezinárodních odborných konferencí. Z toho je zřejmé, že autor disertační práce prezentoval své výsledky také na řadě odborných akcí. Michal Šmolík se také podílel na šesti projektech.

**Závěr:**

**Disertační práci doporučuji k obhajobě v rámci doktorského studijního programu Inženýrská informatika (obor Informatika a výpočetní technika) na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni. Za předpokladu úspěšné obhajoby disertační práce doporučuji, aby panu Michalu Šmolíkovi byl udělen akademický titul „doktor“ ve výše uvedeném studijním programu.**

V Plzni dne 2. ledna 2020

Doc. Ing. Marek Brandner, Ph.D.



## **Review of PhD. thesis of Ing. Michal Šmolík**

This thesis deals with problems of approximation of 2D and 3D vector fields. The main contribution of this thesis is the use of Radial basis functions for this approximation. This approach is innovative one. This fact has been reflected in a large number of papers published by the author. These papers were published either in the framework of good conferences or published in journals with impressive impact factor. As these papers underwent demanding review processes before publication I should consider this fact as an evidence of high quality of research performed by the author.

The problem investigated in thesis is very important and the solution to this problem developed in the thesis will find application in many industrial applications (where compressed vector fields can be used – like in various mobile applications etc.). This means that the topic investigated in thesis (vector field approximation) is of interest in many research institutions abroad. The quality of results achieved is demonstrated by a number of citations in citation databases (what is not always the case in PhD thesis in general).

At the beginning of this review I should stress few moments that attracted my attention when I read the thesis. I was really impressed by the theoretical quality of the thesis – mathematics used in thesis. Moreover I have to stress excellent work with literature (references) – it is obvious that the author had to study very extensive set of literature sources. I appreciate that the references mentioned in individual chapters of his thesis are both older ones (thus representing a sort of fundamental knowledge in the field investigated) and new ones (reflecting the current state of art).

This thesis is written as a set of papers already published. This results in the fact that the thesis is written in English level of which is really good. Also from the aesthetic point of view this thesis fulfils generally defined requirements for PhD thesis.

My comments to this thesis are divided into two parts: the formal comments and comments that deal with some issues mentioned in thesis (these comments have mostly form of questions that should be answered during the thesis defense)

From the formal point I have an objection to the fact that among papers included into thesis are also papers that were neither published nor accepted for publication (they were only submitted). The requirement for this sort of publication (published or accepted) is given in law dealing with university education. And also in the Study and Examination Rules for ZCU students this requirement is given. In accordance with interpretation of this rule at CTU I would recommend to avoid inclusion of unpublished papers in dissertations. Personally I have not a real problem with this fact because after potential omission of these papers that do not fulfill these requirements many other papers that contribute to this thesis are presented (it is just a formal comment that does not influence the quality of thesis).

Another formal aspect of thesis attracted my attention – errors and mistakes in English. In my assessment above I appreciated good quality of thesis text in general but the number of typing errors (mostly errors that could be identified by spellchecker) is unnecessarily high. Surprisingly also texts published in respected journals suffer from this problem.

My comments to specific problems in thesis are both principal (I will write them on the beginning of this text block) and comments that are of smaller importance.

In my opinion the most important issue is the approach that is based on the meshless approximation of vector fields. In thesis a statement can be found (in different places) that this approach brings better results (than the approach based on meshes) but on the other hand it is slower than this “traditional” approach. I could not find in thesis any comparison that could give a clue about the time difference between these two approaches.

Another problem I see concerns evaluation of approximated (compressed) vector field. The main method used in thesis compares corresponding vectors in the original and in the compressed vector field. From their difference a conclusion is made about the quality of compression (how much information has been lost). In my opinion such an approach is of “static” nature. This evaluation method (comparison of two images - roughly speaking) does not take into account dynamic nature of the flow – the method used can be justified in case of steady flow. Examples of vector fields (in general) are usually of non-steady flow type (e.g. tornado as given in thesis). Question arises if the dynamic behavior of vector fields (both the original one and the compressed one) should not be investigated by means of timelines or pathlines (trajectories of injected particles etc.). In such a case behavior of both vector fields can be investigated in certain period of time (what may give insight into dynamic of the flow – e.g. how pathlines differ).

As given above some kind of comparison between mesh based methods and meshless methods should be done in terms of speed. Another point of view is the compression ratio. In thesis is an example where compression ratio is about 1:80. In the paper **Compression of 2D Vector Fields Under Guaranteed Topology Preservation** (Theisel et. al.) is given compression ratio for mesh based method 1:95 (of course there are also compression ratios in thesis that are much higher – nevertheless some comparison of results achieved with some older method is not sufficient – in my opinion). Also in this respect some comparison of traditional methods and methods developed should be done.

One of possible applications where the results achieved (compression of vector fields) could be used are mobile applications where reduction of volume of transmitted data should be reduced. On the page 93 is stated that the user usually starts with a sort of coarse preview and more and more details are gradually added - what results in more detailed view. In many applications (including mobile ones) we may be faced with situation when we would like to get coarser visualization (in order to get some context). It is not quite clear whether the approach described allows such kind of work. E.g. the approach described in H. Theisel, C. Ross, and H. Seidel. **Compression of 2d vector fields under guaranteed topology preservation**. Computer Graphics Forum (Eurographics2003), 22(3), 2003.

where mesh based technique is used may allow such an approach – the technique used is based on edge collapsing what may lead to the use of progressive meshes method (developed by Hugues Hoppe in the classical paper **Progressive Meshes**).

An interesting question may be if the RBF based methods can be used in situations where RoI (Region of Interest) should be used. This means that different levels of compression should be used in the investigated space where vector fields are present.

As for some minor errors – my attention has been drawn by data dealing with tornado simulation on the page 43. The approximation error has been calculated from the average in the vector field. Average speed (and average error) does not represent (in my opinion) the dynamics of the flow in tornado. I read in thesis that the average speed may be something like 70 km/hour, but the maximum speed may reach up to 450 km/hour. It may be interesting to know how this fact could be taken into account when assessing the error. In the Fig. 5 on the page 44 no units are given (absence of units and extent of values visualized is a more frequent lack in this thesis).

On the page 135 term “visual identity” was mentioned. It is not clear whether this type of identity was tested by means of user tests or if some computer vision methods were used.

Because of high number of papers that constitute the thesis it was rather difficult to maintain consistency in terminology. As an example I can give double denotation of one “phenomena”: field line (used at the beginning of thesis) and streamline used later on.

To conclude my assessment:

This thesis represents very solid scientific work and the results achieved can be considered as excellent. The contribution to the knowledge in the field (visualization of flow) is without any doubt of very substantial nature (this fact can be proven by a nice number of citations). It should be stressed that these results have large potential for practical use in industry and also in other scientific disciplines. In my opinion the thesis fulfills all requirements for PhD thesis and that is why I do recommend the thesis for defense (and after successful defense the award of PhD degree).

prof. ing. Pavel Slavik, CSc.

Praha 25.2.2020

