



ÚSTAV TEORIE INFORMACE A AUTOMATIZACE AV ČR, v.v.i.
Pod Vodárenskou věží 4, 182 00 Praha 8

Oponentní posudek na dizertační práci

Ing. Bc. Zuzany Majdišové

Interpolační a aproximační techniky pro rozsáhlá geometrická data

Dizertační práce se zabývá použitím radiálních bázových funkcí (RBF) pro interpolaci a aproximaci dat na nepravidelných sítích. Aplikačně je práce zaměřena do počítačové grafiky, speciálně pak na rekonstrukce 3D povrchů z hloubkových map. Práce je souborem sedmi publikovaných článků, doplněných krátkým úvodem.

Volba tématu

RBF se jako interpolační a aproximační nástroj v matematice studují minimálně od 70. let minulého století. V grafických oborech se objevily v 80. letech zejména díky článkům Booksteina a Goshtasbyho. Byly úspěšně aplikovány v mnoha inženýrských oborech. V grafice a zpracování obrazu se používají zejména na rekonstrukce 3D povrchů z hloubkové mapy a na elastické transformace obrazů. Přestože existuje poměrně rozsáhlá literatura (v širším kontextu jde o stovky článků), stále nacházíme i otevřené problémy. V oboru se aktivně pracuje a publikuje. Proto považuji volbu tématu za aktuální, adekvátní zaměření studentky a vhodnou pro dizertační práci.

Komentář k úvodu práce

Úvodní část tvoří kapitoly 1 – 3. Je zamýšlena jako úvod do problematiky pro méně zasvěceného čtenáře (kapitola 1), shrnutí článků, které tvoří jádro dizertace (kapitola 2) a krátký výhled do budoucnosti (kapitola 3. Samostatně nebyla nikdy publikována. Kapitola 1 zůstala daleko za tím, co bych si jako úvod do problematiky RBF představoval. Autorka se na pouhých sedmi stránkách omezila na příklady některých RBF a na vysvětlení jejich použití pro aproximaci dat. Zcela chybí širší matematický pohled. RBF, a zejména pak TPS, které studentka hojně využívá, byly odvozeny jako funkce, které minimalizují jisté funkcionály energie. Z této minimalizační podmínky pak automaticky vyplývá řada dalších vlastností i způsoby, jakými se RBF používají. Toto autorka vůbec nezmiňuje. Jak se zmíním dále, absence tohoto pohledu vedla k vážným chybám v některých částech. Způsob, jakým autorka používá RBF pro aproximaci (tj. pomocí virtuálních uzlů), je sice možný, ale v literatuře je zcela minoritní. Tradiční způsob aproximace vychází opět z minimalizace energetického funkcionálu, který je složen z datových a regularizačních členů. Je pro mne nepochopitelné, že tento způsob autorka nezmiňuje ani v úvodu, ani v žádném z článků, a tudíž s ním ani nesrovnává metodiku, kterou používá.

Komentář k článkům B – E

Tyto čtyři články mají veliký překryv (včetně ilustračního obrázku, který se v dizertaci objevuje 5x), shrnu tedy vyjádření k nim do jedné sekce. Základní idea zde použité aproximace spočívá v tom, že jednotlivé RBF se neumísťují do datových bodů jako v klasickém přístupu, ale do virtuálních bodů, kterých se typicky volí mnohem méně. Tato idea je zajímavá, není ovšem původní. Objevuje se jak v nedávných člancích školitele, tak i ve známé třináct let staré knize [FAS07] (pravděpodobně ani tam nejde o původní myšlenku). Bohužel, bez srovnání s klasickým aproximačním přístupem vůbec nelze objektivně posoudit výhody a nevýhody použitého postupu.

Zásadní komentář mám k článku B. Autorka kritizuje okrajové podmínky (3) použité pro výpočet koeficientů aproximační RBF. Tyto podmínky jsou na první pohled podezřelé a po krátké analýze se jeví jako neopodstatněné a nezdůvodněné. Podle autorky byly použity v knize [FAS07]. Knihu jsem si opatřil a prohlédl, ale nic takového jsem v ní nenašel (mohl jsem to ovšem přehlédnout). Nenašel jsem podmínky (3) ani v jiných člancích na toto téma. Tyto okrajové podmínky se standardně používají pro datové body, kde mají svoji konkrétní interpretaci (zajímalo by mne, zda studentka ví jakou). V aproximační úloze pro virtuální uzly je jejich použití nesmyslné. Prosím autorku, aby na obhajobě konkrétně ukázala, kde konkrétně byly použity v knize [FAS07], nebo aby ukázala alespoň jednu jakoukoliv publikaci, mimo její vlastní skupinu, která tyto podmínky používá. Pokud taková publikace neexistuje, pak to vypadá tak, že autorka buď z nepochopení, nebo dokonce úmyslně, „vytvořila“ chybu, kterou přiřkla jinému autorovi, a následně ji ve svém článku „opravila“. Mimochodem, tato „oprava“ vede na klasické least square řešení, které by zřejmě většinu matematiků napadlo jako první volba. Domnívám se, že řešení uvedené v knize [FAS07] str. 168 přesně odpovídá „opravě“, kterou popisuje doktorandka. Udivuje mne, že recenzenti časopisu se nad tímto rozparem nepozastavili. Články C – E rozvíjejí tuto myšlenku a aplikují ji na konkrétní data.

Autorka používá převzatý termín „approximation with reproduction“, což v původní literatuře znamená, že aproximující funkce přesně reprodukuje polynomy do určitého stupně. Matematicky to souvisí s tím, že nulový prostor energetického funkcionálu je tvořen právě těmito polynomy (tuto souvislost ale pravděpodobně autorka nezná). Zajímalo by mne, zda při jí použitím způsobu aproximace se opravdu polynomy „reprodukují“.

U článku D jsem nepochopil, co je vlastně jeho hlavním přínosem. Popsaná metoda mi připadá jako výpočetní postup z elementární lineární algebry, ale možná jsem něco přehlédl.

Komentář k článkům F – H

Článek F se zabývá volbou tvarového parametru a rozmístěním centrálních bodů RBF. Článek bohužel obsahuje závažnou matematickou chybu, která ho v mých očích podstatně devaluje. Autorka zde používá „jednodimenzionální TPS“, viz eq (19). TPS v jedné dimenzi ale takhle nevypadají. Je obecně známo, že logaritmický člen se v TPS vyskytuje pouze v sudých dimenzích, v lichých dimenzích jsou bázovými funkcemi TPS polynomy. V 1D případě jde o kubické polynomy. Zde autorka doplatila na nedostatečnou rešerši a příliš stručnou úvodní kapitolu. Funkce (19) je sice i v 1D jakousi RBF, ovšem nemá minimalizující vlastnost splajnů a její použití je zcela

neopodstatněné. Zbytek článku je v podstatě heuristická konstrukce, která zjevně nějak funguje. Je otázkou, jak by se výsledky změnilly při použití správné TPS.

Zdá se mi, že problém volby tvarových parametrů, počtu a rozmístění virtuálních center je analogický s problémem shlukování dat pomocí Gaussovských směsí. Tato technika se ve vícerozměrné statistice studuje dlouho a je poměrně dobře propracována. Dokonce se tam běžně optimalizují plné kovarianční matice jednotlivých komponent, což jsou právě tvarové parametry, zatímco zde autorka optimalizuje jen jeden parametr. Je si autorka vědoma této analogie? Bylo by možné převzít některé metody ze shlukové analýzy a použít je zde, nebo s nimi alespoň navržený postup srovnat?

Shrnutí

Celkově ve mně práce nezanechala dobrý dojem. Byl bych ochoten tolerovat nízkou originalitu, neboť je mi jasné, že pouze zlomek doktorandů může napsat dizertace s významným dopadem pro obor. Autorka se ale nedržela zásad správné vědecké práce. Ta musí vycházet z důkladných znalostí problematiky, a to i v širším kontextu. Tato znalost musí být čtenáři srozumitelně prezentována v úvodu (rozumím tomu, že na to není prostor v úvodu každého jednotlivého článku, ovšem způsob, jak autorka naložila s úvodem celé dizertace, je velmi nešťastný). Neuspokojily mne ani experimenty, které jsou významnou složkou každého článku. I když jsou provedeny pečlivě, často na unikátních datech, a jsou srozumitelně popsány, většinou pouze na velmi omezeném počtu dat ukazují, že metoda nějak funguje. Je v podstatě nemožné učinit nějaké statisticky signifikantní závěry. Případné srovnání není provedeno s jinými aproximačními postupy (zde znovu připomínám, že rozhodně mělo být provedeno minimálně s klasickou RBF aproximací), ale pouze s jinou volbou RBF, nebo jinak nastavenými parametry autorčiny metody. Za mimořádně důležité považují, aby autorka u obhajoby nějak objasnila situaci s článkem B (viz můj komentář výše), neboť ze zde může jednat o hrubou dezinterpretaci citovaného zdroje.

Vzhledem k výše zmíněným metodickým i faktickým nedostatkům **nedoporučuji** práci k obhajobě.

V Praze dne 17. 1. 2020



Prof. Ing. Jan Flusser, DrSc.



FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA MATEMATIKY
Oddělení matematické analýzy,
numerické matematiky a geometrie
Technická 8
301 00 Plzeň

Doc. RNDr. Miroslav Lávička, Ph.D.
tel.: +420 377 63 2619
lavicka@kma.zcu.cz

Posudek oponenta disertační práce

Interpolační a aproximační techniky pro rozsáhlá geometrická data

autorky Ing. Bc. Zuzany Majdišové

Předkládaná doktorská disertační práce autorky Zuzany Majdišové se věnuje problematice rekonstrukce velkých roztroušených dat pomocí vhodných interpolačních a aproximačních technik, tedy s ohledem na následné užití jde o téma s významným aplikačním potenciálem. Speciálně se práce zaměřuje na neseperabilní metody využívající radiální bázové funkce (RBF), které jsou vhodné pro zpracování rozsáhlých geometrických dat a které sebou mj. přinášejí i možnost komprese dat. S ohledem na svoji velkou flexibilitu je v současnosti užití RBF velmi populární a jejich možné využití se stále intenzivně studuje. V principu vede aplikace zkoumaných metod na soustavy lineárních rovnic, v případě aproximačního přístupu pak přeuročených.

Disertační práce je koncipována moderní formou jako soubor uveřejněných nebo do tisku přijatých prací k danému tématu, sepsaných autorkou práce a jejími spolupracovníky. Práce je opatřena stručným úvodem do problematiky a komentáři. V souladu s platným Studijním a zkušebním řádem Západočeské univerzity v Plzni je předložená práce výsledkem řešení konkrétního vědeckého úkolu a její struktura sleduje předepsané nezbytné náležitosti. Téma i výsledky práce jsou v souladu se studijním programem a oborem a uchopení problematiky přiměřeně odpovídá aktuálnímu stavu poznání ve studované vědní disciplíně. Z formy zpracování automaticky vyplývá i splnění požadavku dle §47, odst. (4) ZoVŠ, že disertační práce musí obsahovat výsledky, které byly již publikované nebo jsou přijaté k publikaci. Zde si však dovoluji vytknout, že u článků, které mají kromě autorky disertační práce a jejího školitele i dalšího spoluautora, postrádám jasné vymezení individuálního příspěvku uchazečky potvrzené spoluautory.

Práce mající v tištěné podobě 115 stran sestává ze tří základních kapitol, soupisu referencí, přehledu publikovaných prací s uvedením citací a dále příloh, ve kterých jsou jednak uvedeny aktivity během doktorského studia (vystoupení na konferencích, zapojení do projektové činnosti a podíl na pedagogických aktivitách katedry), ale zejména pak 7 publikovaných prací, jež jsou do disertační práce zařazeny v podobě, v jaké byly publikovány. Dva ze zmíněných článků byly publikovány v impaktovaných odborných časopisech, jeden článek je přijat k publikování v impaktovaném časopisu a čtyři příspěvky byly publikovány ve sbornících mezinárodních konferencí. Všechny uvedené již publikované práce jsou indexovány v databázi Scopus. Vzhledem k výše uvedenému, tedy faktu, že zařazené práce byly již podrobeny peer-review procesu, není zásadní důvod je podrobovat dalšímu hodnocení a ve svém posudku se proto zaměřím zejména na další náležitosti související s prokázáním schopnosti a připravenosti autorky k samostatné činnosti v oblasti výzkumu nebo vývoje, jak ukládá ZoVŠ.

V úvodní kapitole se autorka věnuje obecnému popisu dané problematiky, seznamuje čtenáře se současným stavem poznání v oboru, popisuje použitou metodiku a prezentuje strukturu práce. Text je přiměřeně doplněn odkazy. Dále je zde zařazen úvod do problematiky RBF, jsou prezentovány některé základní pojmy používané v dalších částech práce, jsou diskutovány vybrané vlastnosti a aplikační užití. Následuje část rekapitulující použití RBF aproximačních technik. Autorka rovněž vytyčuje motivaci a cíle disertační práce, zejména s ohledem na stabilitu, řešitelnost, přesnost a kompresní poměr při užití aproximačních technik. Z uvedených cílů přirozeně vyplývají tři oblasti, kterým se autorka při řešení svého disertačního úkolu věnovala a jichž se právě přímo týkají zařazené články – jde o problematiku konzistence výpočtů, zpracování velkých roztroušených dat a problematiku kvality aproximace ve smyslu zlepšení chyb a kompresního poměru. Osobně se domnívám, že úvodní část je až příliš stručná a vzhledem k tomu, že autorka využila možnosti zpracovat disertační práci jako soubor komentovaných publikovaných prací, bylo by užitečné úvodní části pojmout podrobněji a pečlivěji – tedy více se rozepsat, a to do šířky i do hloubky.

Kapitola 2 představuje soubor komentářů k článkům zařazeným v příloze. S ohledem na tři výtýčené oblasti zkoumání se kapitola přirozeně dělí do tří podkapitol. Je prezentován a komentován inovovaný přístup k RBF aproximacím s polynomiální reprodukcí obecně aplikovatelný pro n -dimenzionální data (články v příloze B a C). Následuje část věnovaná RBF aproximacím vhodným pro velké množiny roztroušených dat (články v příloze D a E). V poslední podkapitole se pak autorka zabývá RBF aproximacemi, jež respektují významné charakteristiky dat (články v příloze F, G a H). Každá část je opatřena dílčím shrnutím, ve kterém jsou diskutovány hlavní přínosy, kterých bylo při řešení disertačního úkolu (tedy v jednotlivých člancích) dosaženo. I tyto kapitoly mohly být pojaty poněkud obsáhleji. Navíc právě v této části bych očekával, že autorka podrobněji představí a okomentuje svůj individuální přínos k řešené problematice.

V kapitole 3 autorka provádí shrnutí disertační práce a zmiňuje některé možné směry dalšího výzkumu, jakými jsou např. zlepšení kvality aproximací na hranicích, zvýšení kompresního poměru, zachování ostrých hran, problematika zašumění dat.

Jak již bylo několikrát konstatováno, vlastní úvod a úvodní komentáře k disertační práci nejsou příliš obsáhlé a určitě by si zasloužily lepší a důkladnější zpracování. K osvětlení studovaných situací a k vytvoření představy o významu získaných výsledků je zásadní zařazení plných verzí publikovaných článků. Použité výsledky a metody jsou adekvátně citovány, odkazy na litera-

туру jsou dostatečné. Rovněž oceňuji, že veškeré studované algoritmy byly implementovány a otestovány, což je samozřejmě s ohledem na obor studia automatické a opak by byl chybou.

K práci mám několik následujících poznámek či doplňujících dotazů, přičemž první připomínku považuji za hlavní:

- Jelikož všechny články, jež tvoří fakticky obsahovou náplň disertační práce, byly publikovány kolektivem autorů, je zásadní a pro úspěšnou obhajobu disertační práce nutné, aby se při obhajobě doktorandka vyjádřila ke svému autorskému podílu a zejména uvedla svůj konkrétní přínos k jednotlivým získaným výsledkům.
- Byla s ohledem na vybrané aplikace testována i jiná metrika než eukleidovská? Pokud ano, v kterých případech?
- Byl studován případ nerovnoměrně rozložených dat a jejich dopad na přesnost? Pokud ano, s jakými výsledky? Pokud ne, lze tuto problematiku zahrnout i do dalšího studia a formulované algoritmy případně vhodně upravit?
- Inženýrské aplikace často vyžadují, aby byly výsledné plochy proloženy mračny až o milionech bodů, což představuje pro standardní RBF metody jistá omezení. Lze prezentované postupy modifikovat i do podoby *FastRBF* algoritmů?
- V jakých aplikačních oblastech vidí doktoranda největší užití výsledků, jež jsou obsahem předložené disertační práce? A s využitím jakých RBF?
- Nad rámec obsahu práce si dovoluji navrhnout jako možné přímé rozšíření dalších oblastí výzkumu i metodu používanou v geometrickém modelování, kdy středy RBF nemusí být umístovány výhradně na plochu (či její ofset), ale na střední osu vstupního objektu – tedy jde o tzv. MAT (Medial Axis Transform) přístup.

Shrnutí hodnocení disertační práce a související tvůrčí činnosti autorky:

a) Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Práce se věnuje problematice rekonstrukce velkých roztroušených dat pomocí vhodných interpolačních a aproximačních technik. Jde o aktuální téma na rozhraní počítačové grafiky, aplikované matematiky a dalších oborů s řadou potenciálních inženýrských aplikací. O aktuálnosti a atraktivitě tématu svědčí mj. i stále rostoucí počet článků registrovaných např. v databázi Scopus a majících v názvu „RBF“. Z doložených citací na články, jež jsou obsahovou součástí disertační práce, plyne, že získané výsledky přispívají k dalšímu směřování dotčených disciplín. Význam práce lze nalézt rovněž v tom, že jsou současně ukázány i některé další možné směry výzkumu v této oblasti.

b) Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Stanovené cíle práce byly splněny. Bylo jich dosaženo na základě systematického přístupu a zpracování nemalého rozsahu podkladů (viz použítá literatura, citace v textu, vlastní experimenty apod.) a vhodným použitím (a kombinací) existujících postupů a inovovaných technik. Navržené metody se mohou stát v budoucnu studovanou problematikou, což se ostatně s ohledem na počet citací publikovaných prací již nyní děje.

c) *Stanovisko k výsledkům práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele*

Získané výsledky, které mají povahu jak teoretickou, tak aplikační, již byly v odborné komunitě nejen podrobeny kritickému posouzení (na odborných konferencích a zejména v rámci peer-review hodnocení), ale i přijaty. Jak jsem již dříve uváděl, v práci postrádám jasné vymezení individuálního příspěvku uchazečky.

d) *Vyjádření k systematicce, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni práce*

Co se týče předepsaných náležitostí, předložený text odpovídá požadavkům vymezeným ve Studijním a zkušebním řádu ZČU. S ohledem na množství již publikovaných článků, u nichž je doktorandka spoluautorkou, byl zvolen formát souboru komentovaných odborných článků. Práce je koncipována v souladu se zvyklostmi kladenými na tento typ práce. Mám jisté výhrady k pojetí a kvalitě úvodních komentářů, které mohly být jednoznačně obsáhlejší a lépe uvádět do studované problematiky. Práce, byť ve své úvodní části nerozsáhlá, je psána v anglickém jazyce (v souladu s Vyhláškou děkana I 1D/2017, čl. 5, odst. 1), a to pěknou angličtinou.

e) *Vyjádření k publikacím autorky*

Autorka v práci uvádí i seznam svých dosud publikovaných prací (časopisecké či sborníkové publikace), a to včetně dohledaných citací. Pokud bychom se zaměřili na referenční databáze WoS a Scopus, pak v případě WoS nalezneme k dnešnímu dni 7 indexovaných publikací, 20 citací (bez autocitací) a H-index 3; v případě databáze Scopus je to 12 indexovaných publikací, 45 citací (bez autocitací) a H-index 4. U studentů doktorského studia jde nepochybně o nadprůměrné výsledky.

f) *Závěrečné vyjádření oponenta*

Přestože mám ke zpracování předložené disertační práce, tedy ke kvalitě komentářů, které měly tvořit popisnou a vysvětlující úvodní část práce, jisté výhrady, domnívám se, že svými dosud publikovanými pracemi autorka dokumentuje, že zvládá metodiku vědecké činnosti i práce ve vědeckém týmu. Věřím, že při obhajobě bude vysvětlen individuální podíl na získaných výsledcích a podrobněji prezentován vlastní přínos k rozvoji studované disciplíny. I přes uvedené výhrady se domnívám, že jsou splněny požadavky vytyčené v §47, odst. (4) ZoVŠ, jakož i všechny náležitosti dané SZŘ ZČU. Proto doporučuji, aby byla práce Ing. Bc. Zuzany Majdišové přijata jako disertační a aby jí byl po její obhajobě udělen doktorský titul.

Plzeň, 25. ledna 2020

.....
Doc. RNDr. Miroslav Lávička, Ph.D.