



Oponentský posudek na disertační práci

Doktorand:	Ing. Jakub JECH Fakulta ekonomicko-správní Univerzita Pardubice
Školitelka:	prof. Ing. Jitka KOMÁRKOVÁ, Ph.D.
Téma:	Návrh klasifikačního přístupu pro obrazová data s velmi vysokým prostorovým rozlišením
Studijní program:	Aplikovaná informatika
Oponent:	doc. Ing. Zdena DOBEŠOVÁ, Ph.D. Katedra geoinformatiky Přírodovědecká fakulta Univerzita Palackého v Olomouci

Dne 8. července 2024 jsem byla požádána o vypracování oponentského posudku na disertační práci Ing. Jakuba Jecha, doktoranda Fakulty ekonomicko-správní Univerzity Pardubice.

Předložená doktorská disertační práce má standardní strukturu, kdy je nejprve popsán současný stav získávání snímků pomocí bezpilotních prostředků, možnosti jejich zpracovávání a dále je uvedena terminologie. Následně jsou definovány cíle disertační práce a postup jejich dosažení. Následuje rešerše různých existujících případových studií, které konkrétně řeší klasifikaci RGB snímků získaných prostředky UAV, a které zejména používají a srovnávají přesnost různých řízených klasifikací. To dokazuje aktuálnost a potřebnost řešení disertační práce. Stěžejní části práce jsou dvě. První je návrh nového přístupu pro kombinaci

výsledků získaných řízenou klasifikací a to navržená metoda CMCA. Druhou stěžejní částí je popis několika případových studií, kde byla nová metoda vyhodnocení CMCA prakticky aplikována (resp. zpětně aplikována na již realizovaných studiích). Rozsah práce je 126 číslovaných stran a příloha obsahuje programový kódem v jazyce Python, který kombinuje výsledky klasifikací do metody CMCA. Součástí práce je i navíc přehled vlastních publikací disertanta vztahujících se k tématu disertační práce.

Hlavním cílem této práce je **navržení a ověření nového automatického postupu/metody a realizace softwarového nástroje pro zpracování RGB obrazových dat velkého rozlišení na základě výstupních dat získaných konvenčními klasifikačními metodami (používající řízenou klasifikací)**. Práce se soustředí na klasifikaci obrazových dat z bezpilotních prostředků. Cíl je podrobně a jasně zformulován a rozepsán v kapitole 2 včetně postupu jeho dosažení. Popsaný a realizovaný postup řešení práce byl zvolen správně a vedl k zajímavým výsledkům.

Jako stěžejní myšlenku a přínos práce vidím v realizaci a nasazení postupu/metody *CMCA* (Convetional Multi Classifier Approach), který algoritmicky hledá shodu, resp. majoritu ze tří vstupních klasifikovaných snímků v každém pixelu a generuje jeden výstupní klasifikovaný rastr. Algoritmus je realizován v jazyce Python a funkčním a efektivním způsobem načítá maximálně tři vstupní rastry a kombinuje je do výstupu. Program vyžaduje pouze instalaci knihovny `numpy` a `rasterio` a je tedy nezávislý na komerčních softwarech. Program předpokládá vstup již hotových klasifikovaných rastrů vytvořených v jiných softwarech. Prakticky byl program studentem testován a využit pro kombinaci vstupních klasifikací konvenčními metodami jako je Maximum Likelihood, Random Trees a SVM. Nicméně program není nikterak přímo závislý na výběru těchto konvenčních klasifikačních metod, což dokazuje i použití jednoho vstupu a to výsledek klasifikace pomocí neuronové sítě v rámci jedné ze studií. *CMCA* je tedy univerzální nástrojem. Pozitivem kódu je, že v první části ověřuje správnost vstupních dat – stejné kódy vstupních klasifikačních tříd a stejné rozměry všech tří vstupních rastrů. Možná do kódu doplnit test na maximální počet tří klasifikačních tříd, což je zmíněno pouze v komentářové hlavičce kódu. Postrádám okomentování místa v kódu (i textu práce), kde při četnosti výskytu tříd kategorií u jednoho pixelu (tzn. u všech vstupů má pixel jinou hodnotu klasifikační třídy, tedy výskyt každé třídy je na vstupu právě jednou) je náhodně volena jedna kategorie metodou `random.choice`. Jinak toto řešení „neshody“ klasifikační třídy považuji za nápadité.

Nicméně, nepřesná je charakteristika, kdy student píše, že bude spočítán „... vážený počet z hodnot klasifikačních tříd“ (str. 43, 55, 109) anebo „...vybírám *nejpravděpodobnější* hodnotu“. Správně se jedná o nejčastější (nejčetnější) hodnotu klasifikační třídy ze vstupních rastrů v konkrétním pixlu (tedy výskyt 2x nebo 3x), žádné vážení vstupů se neprovádí, rastry vstupují se stejnou váhou.

V textu práce student dokládá i testování a porovnání *časové náročnosti* použití klasifikačních metod konvenčních a s využitím metod hlubokého učení, které je nesrovnatelně časově náročnější. Toho srovnání dokládá užitečnost navržené metody CMCA, která kombinací vstupních rastrů klasifikovaných konvenčními metodami dosahuje vyšší přesnosti než dílčí jednotlivé metody, kdy jejich přesnost je pro různé případové studie kolísavá. Přitom časová náročnost je maximálně v minutách na rozdíl od hodinových časů trénování neuronových sítí.

Přínosem práce je zpracování *čtyř případových studií*, kdy první z nich byly vlastně podnětem pro návrh nového přístupu, kdy přesnost samostatných konvenčních klasifikačních metod se lišila případ od případu. Jedná se o studie: Identifikace vody, Monitoring koní, Typ pokryvu v přírodní rezervaci Baroch a Identifikace malých vodních ploch - rybník Skříň. Tyto případové studie se liší svým zaměřením, jsou detailně pospány (dokumentovány obrázky výsledky dílčích klasifikací) a jsou vyhodnoceny jejich klasifikace. Zde student odvedl velký objem terénní a zpracovatelské práce. Zvýšené hodnoty přesnosti klasifikace dokazují aplikační využitelnost metody CMCA pro výslednou klasifikaci RGB snímků s vysokým rozlišením.

Po *formální stránce* lze práci hodnotit vcelku jako zdařilou. Text je psán srozumitelnou formou. Překlepy a nejednotné formulace se vykytují spíše v druhé polovině práce. Např. str. 51 „Přesnost náhodného lesního algoritmu...“, str. 52 „... podpůrný vektorový stroj (SVM)“. V části 4.2 jsou uváděny klasifikační metody konkrétním názvem a považují za nepřesné uvádět jednu metodu pod obecným názvem Deep Learning (i když je tak nazvána v ArcGIS Pro) bez specifikace konkrétního modelu neuronové sítě. Až později v textu je sděleno, že se jedná o model neuronové sítě U-Net.

Text je doprovázen dostatečným množstvím *obrázků*, zejména jsou důležité ilustrace případových studií a srovnání výstupů dílčích klasifikačních algoritmů a výsledku závěrečné aplikace metody CMCA. Jen u obrázků 27 až 31 by bylo vhodné zvolit lepší názvy obrázků (např. „Výsledek klasifikace metodou ...“) a vypustit název konference CISTI 2023.

Stejně tak jsou pečlivě prezentovány v *tabulkách* výsledky porovnání výsledků přesnosti klasifikací vůči referenčním datům.

K doktorandovi mám následující otázky:

- 1. Bylo by možné rozšířit stávající algoritmus CMCA o více vstupních klasifikovaných rastrů (více než tři) a více klasifikačních tříd (také více než tři)? Jak by se potom řešilo vyhodnocení shodného počtu výsledků klasifikací (zejména při sudém počtu vstupních rastrů, např. 4, 6)? Dává smysl nasazení pro více vstupů než 3?**
- 2. Testoval jste vliv situace, kdy je při třech různých výsledcích klasifikace pro jeden pixel náhodně vybrána jedna klasifikační třída pomocí funkce `random.choice`? Tzn. opakovaně spustit metodu CMCA a zjistit počet takových pixelů, výskyt ve snímku a velikost změny přesnosti, když nastává tato absolutní neshoda u třech klasifikačních tříd na vstupu ve vyšším množství pixelů?**

Doporučení k doktorandovi:

Doporučuji zveřejnit zdrojový kód v jazyce Python pro metodu CMCA na GitHub tak, aby byla dostupná jak pro další vědecké zkoumání, tak pro aplikaci dalším uživatelům. Před zveřejněním doporučuji doplnit metadata, komentáře a hlášení a přeložit je do angličtiny a dodat zkušební data buď ve formě vstupních klasifikovaných rastrů nebo ve formě generovaných matic, jak je generuje maticová ukázka programového kódu v kap. 4.1.

Tato doktorská dizertační práce má jak vědecký, tak aplikační přínos pro obor Aplikované informatiky a to zejména díky novému přístupu k vyhodnocení klasifikovaných RGB snímků pořízených pomocí UAV. Disertační práci považuji po obsahové stránce za dobře zpracovanou.

Předloženou disertační práci vzhledem k splnění stanovených cílů doporučuji k obhajobě.

V Olomouci dne 20. července 2024

doc. Ing. Zdena Dobešová, Ph.D.