

Automatizovaná detekce a vektorizace vodorovného dopravního značení

Automated detection and vectorization of road marking

Pavel Vrtal¹, Tomáš Kohout^{*1}, Zdeněk Svatý¹

¹České vysoké technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav Soudního znaectví v dopravě

Rozšířený abstrakt

Článek představuje inovativní metodu pro automatickou detekci specifických prvků silniční infrastruktury a jejich prostorovou lokalizaci. Algoritmus využívá analýzu barevného spektra daných objektů na ortofotomapách. Zdrojové snímky mohou pocházet z letecké fotogrammetrie nebo pozemního laserového skenování, přičemž do zpracování lze také zahrnout digitální výškové modely. Využití fotogrammetrických měření z bezpilotních leteckých systémů (UAS) nebo mobilního laserového skenování (MLS) se stává rutinním a vysoce efektivním nástrojem pro získání velmi přesných informací v různých oblastech. Dopravní infrastruktura je jedním z hlavních příkladů, kde správci silnic využívají tyto výstupy v různých fázích projektování, výstavby nebo provozu. Přidaná hodnota neselektivních metod sběru dat spočívá v množství získaných informací, rychlosti sběru dat a vysoké přesnosti.

Navrhovaná metoda vychází z letecké fotogrammetrie a následné poloautomatické vektorizace specifických silničních prvků pomocí segmentace RGB spektra. Tato metoda byla testována na fotogrammetrických ortofotomapách, ale je také aplikovatelná na ortografické snímky získané laserovým skenováním. Specifické prvky, jako jsou liniové prvky (vodorovné dopravní značení, okraje vozovky) nebo silniční zařízení (svodidla, sloupy, autobusové zastávky), mohou být efektivně detekovány a vektorizovány.

Výsledné výstupy této metody lze snadno integrovat do složitějších prostorových modelů silnic a jejich okolí. Automatizace tohoto procesu přináší významné časové a nákladové úspory při vytváření digitálních modelů prostředí. Navíc umožňuje rychlou a přesnou identifikaci a analýzu silničních prvků, což je klíčové pro projektování a správu dopravní infrastruktury. Fotogrammetrie s využitím UAS představuje nákladově efektivní a rychlou metodu sběru dat, ideální pro dokumentaci aktuálního stavu silnic. Snímky z nízkolétajících UAS se obvykle zpracovávají pomocí digitální obrazové korelace, což nevyžaduje explicitní identifikaci jednotlivých bodů, ale spoléhá na algoritmy pro automatické rozpoznávání obrazových prvků. Tento proces vede k vytváření hustých mračen bodů, které zahrnují všechny identifikované body.

Tento příspěvek představuje inovativní metodu automatického rozpoznávání a vektorizace snímků dopravní infrastruktury bez použití algoritmů hlubokého učení. Hlavním přínosem je schopnost vektorizovat pouze vybrané segmenty obrazu, což šetří čas a zvyšuje efektivitu při zpracování dat. Nově vyvíjený software nabízí efektivnější zpracování a extrakci informací, což je přínosem pro projektanty a auditory bezpečnosti silničního provozu.

Klíčová slova: fotogrammetrie, vektorizace obrazu, silniční infrastruktura, detekce silničních objektů, ortofotomapa

Citace:

VRTAL, Pavel; KOHOUT, Tomáš a SVATÝ, Zdeněk. Automatizovaná detekce a vektorizace vodorovného dopravního značení. Online. *Soudní inženýrství*. 2024, roč. 35, č. 01, s. 40-49. ISSN 2788-2764. Dostupné z: <https://doi.org/10.13164/SI.2024.1.40>

DOI:

doi.org/10.13164/SI.2024.1.40

*Korespondenční adresa autora:

kohout@fd.cvut.cz

Přijato do redakce:

29.05.2024

Recenzní řízení:

10.07.2024

Publikováno:

26.07.2024



Copyright: © 2023 The Author. This work is licensed under Attribution 4.0 International. To view a copy of this license, visit: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Extended abstract

This paper presents an innovative method for automatic detection of specific road infrastructure elements and their spatial localization. The algorithm uses the analysis of the color spectrum of the objects on orthophotomaps. Source images can come from aerial photogrammetry or terrestrial laser scanning, while digital elevation models can also be included in the processing. The use of photogrammetric measurements from unmanned aerial systems (UAS) or mobile laser scanning (MLS) is becoming a routine and highly effective tool for obtaining highly accurate information in a variety of areas. Transport infrastructure is one of the main examples where road managers use these outputs in different phases of design, construction or operation. The added value of non-selective data collection methods lies in the amount of information obtained, the speed of data collection and the high accuracy.

The proposed method is based on aerial photogrammetry followed by semi-automatic vectorization of specific road features using RGB spectrum segmentation. This method has been tested on photogrammetric orthophotomaps, but it is also applicable to orthographic images obtained by laser scanning. Specific features such as line features (horizontal road markings, road edges) or road equipment (bollards, poles, bus stops) can be efficiently detected and vectorized.

The resulting outputs of this method can be easily integrated into more complex spatial models of roads and their surroundings. Automating this process brings significant time and cost savings in the creation of digital models of the environment. In addition, it enables the rapid and accurate identification and analysis of road features, which is crucial for the design and management of transport infrastructure. Photogrammetry using UAS is a cost-effective and rapid method of data collection, ideal for documenting the current condition of roads. Images from low-flying UAS are typically processed using digital image correlation, which does not require explicit identification of individual points but relies on algorithms for automatic recognition of image features. This process results in dense point clouds that include all identified points.

This paper presents an innovative method for automatic recognition and vectorization of traffic infrastructure images without the use of deep learning algorithms. The main benefit is the ability to vectorize only selected image segments, which saves time and increases efficiency in data processing. The newly developed software offers more efficient processing and information extraction, which is beneficial for road safety planners and auditors.

Keywords: photogrammetry, image vectorization, road infrastructure, road object detection, orthophotomap

Citation:

VRTAL, Pavel; KOHOUT, Tomáš a SVATÝ, Zdeněk. Automatizovaná detekce a vektorizace vodorovného dopravního značení. Online. *Soudní inženýrství*. 2024, roč. 35, č. 01, s. 40-49. ISSN 2788-2764. Dostupné z: <https://doi.org/10.13164/SI.2024.1.40>

DOI:

doi.org/10.13164/SI.2024.1.40

*Author's correspondence address:

kohout@fd.cvut.cz

Accepted for editing:

May 29, 2024

Review proceedings:

July 10, 2024

Published:

July 26, 2024



Copyright: © 2023 The Author. This work is licensed under Attribution 4.0 International. To view a copy of this license, visit:

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1 Úvod

Využití fotogrammetrických měření z bezpilotních leteckých systémů (UAS) nebo mobilního laserového skenování (MLS) se v dnešní době stává rutinním a vysoce efektivním nástrojem, který lze využít k získání velmi přesných informací v různých oblastech použití. Dopravní infrastruktura představuje ukázkový příklad a správci nebo dodavatelé silnic využívají výstupy v různých fázích projektování, výstavby nebo provozu silnic. [1][2][3][4][5]. Přidaná hodnota neselektivních metod sběru dat spočívá v množství získaných informací, rychlosti sběru dat a vysoké přesnosti. Ačkoli doplňková softwarová řešení používaná pro zpracování dat umožňují zdánlivě snadný přechod dat do běžně používaného softwaru CAD, v praxi často představuje problém samotná extrakce požadovaných charakteristik prvků vozovky. Většina v současnosti vyvíjených nástrojů je zaměřena na zpracování výsledných mračen bodů, což přináší nároky na výpočetní výkon hardwaru a nutnost pracovat s velmi rozsáhlými soubory dat. Cílem tohoto příspěvku je proto představit alternativní přístup, založený na zpracování ortofotomap pořízených převážně z fotogrammetrie UAS.

Fotogrammetrie s využitím UAS představuje nákladově efektivní a rychlou metodu sběru dat, ideální pro dokumentaci aktuálního stavu silnic. Snímky získané z nízkoletajících UAS se obvykle zpracovávají pomocí digitální obrazové korelace. Tento proces nevyžaduje explicitní identifikaci jednotlivých bodů, ale spoléhá na algoritmy pro automatické rozpoznávání obrazových prvků, identifikaci společných významných rysů a jejich následné propojení pro prostorovou rekonstrukci. Výsledkem jsou často hustá mračna bodů, která zahrnují všechny body identifikované výpočetním algoritmem. Alternativně lze vytvářet detailní výškové modely cílové oblasti nebo ortofotomapy, které se dále využívají pro další analýzu a zpracování.

Ortofotomapy (obrázek 1) na základě leteckých snímků vykazují velmi vysokou podrobnost (vzdálenost vzorkování země - GSD - 1 cm nebo nižší) a vyšší kvalitu obrazu ve srovnání s ortofotografickými pohledy generovanými z pozemních systémů nebo systémů MLS. To představuje významnou výhodu, kterou lze využít pro identifikaci prvků silniční infrastruktury, jako je vodorovné dopravní značení, okraje silnic či dopravní ostrůvky.



Obrázek 1 Ortofoto křižovatky s dosaženou úrovní podrobnosti (GSD 1 cm) [autor]

Figure 1 Orthophoto of the intersection with the achieved level of detail (GSD 1 cm) [author]

Práce s ortografickými obrazy vytvořenými tímto způsobem přináší výrazné výhody, zejména v projekční fázi. Takto získané snímky poskytují mnohem více informací o aktuální infrastruktuře komunikace, dopravním značení a okolí silnic. Tento přístup částečně nahrazuje časově náročné geodetické zaměření a nabízí vyšší přesnost než terénní ortografické mapy dostupné z běžných mapových aplikací. Bepilotní prostředky mohou produkovat rastrové mapy s téměř libovolným rozlišením (GSD) a lze je vytvářet v jakékoli úrovni detailu potřebné pro stavební projekty. Kvalita výsledků závisí především na technickém vybavení dronu (kamera), metodách kontroly kvality a přesnosti, stejně jako na povětrnostních podmínkách a zkušenostech pilota. Při zvažování všech těchto faktorů lze dosáhnout přesnosti kolem 1 až 2 cm na pixel. [6]

Tento přístup vykazuje značné časové nároky na následnou extrakci informací, protože samotný rastrový obrázek se obvykle používá pouze jako pozadí. Časová náročnost následných úprav spočívá v nutnosti překreslení vybraných prvků vozovky do editovatelné, vektorové podoby. Tato podoba je následně využitelná pro návrh odpovídajících sanačních opatření. Tento proces může být časově neefektivní, zejména u složitějších úseků silnic,

kteří obsahují značné množství prvků. Typický příklad představuje křižovatka hlavních silnic s dopravními ostrůvky a různými variantami vodorovného dopravního značení.

Cílem tohoto článku je představit inovativní metodu automatického rozpoznávání a vektorizace snímků dopravní infrastruktury bez použití algoritmů hlubokého učení. Hlavním přínosem tohoto výzkumu je schopnost vektorizovat pouze vybrané segmenty nikoli celý obraz. Ačkoli některé grafické programy, jako Adobe Photoshop nebo GIMP, umožňují určitou formu vektorizace, neposkytují však dostatečnou kontrolu nad výstupy a mají omezenou využitelnost při následných procesech. Nově vyvíjený software nabízí efektivnější zpracování a extrakci informací ze vstupních dat do editovatelné podoby, čímž šetří čas projektantům a auditorům bezpečnosti silničního provozu.

2 AKTUÁLNÍ STAV POZNÁNÍ

Vektorizace obrázků se v současné době používá v mnoha průmyslových odvětvích, zejména v oblasti grafiky nebo designu. V 90. letech 20. století byly na katastrálních mapách vyvíjeny a testovány různé metody s cílem převést výkresovou dokumentaci do editovatelné podoby prostřednictvím vektorizace. Tento proces zahrnoval postupné vyhlazování linií a vedení křivek přes oblasti tmavých pixelů v původní mapové kresbě. Díky tomu bylo možné upravit obraz a rozpoznat kontrastní linie. [7]

Současné studie se zaměřují na vektorizaci ručně kreslených skic, jako klíčového nástroje v digitalizaci designu. Metodu vektorizace rastrových čárových obrázků představili, kteří řeší problémy spojené s čárovou kresbou a zpracováním 2D animace. [8] Bylo zjištěno, že současné metody vektorizace buď trpí nízkou přesností, nebo nedokážou zpracovat obrázky s vysokým rozlišením. Tato studie si kladla za cíl vypořádat se s výkresy obsahujícími složité průsečíky jednotlivých čar. Byla navržena dvoufázová metoda vektorizace, která analyzuje globální a lokální topologii čar. V první fázi jsou čáry rozděleny na dílčí křivky a ve druhé fázi je obraz rekonstruován. Rekonstrukce byla provedena různými metodami a srovnána s dvoufázovým řešením. Experimentální výsledky ukázaly, že dvoufázová metoda výrazně překonává současné metody z hlediska výpočetní rychlosti, dosahuje vizuálně lepší topologie a zvyšuje přesnost rekonstrukce obrazu.

Vektorizace je inherentně problematická, protože z jednoho rastrového základu lze odvodit mnoho různých obrázků. Ne všechny tyto vektorové obrazy však věrně odrážejí skutečnost. Z tohoto důvodu se objevily studie zaměřené na hodnocení kvality vektorizace. [9] Bylo zjištěno, že existuje rozpor mezi náčrtvy vytvořenými v terénu a čistými předlohami, které vyžadují speciální algoritmy pro zpracování. Čistící algoritmy se liší v předpokladech o vstupních a výstupních náčrtech. Srovnávací testy hodnotily kvalitu čištění obrázků a zpracování náčrtů, přičemž výsledky poskytují analýzu vhodnou pro další výzkum v oblasti automatizace a vektorizace obrázků.

V dalším článku se autoři soustředili na využití triangulace a barvy obrazu jako zdrojů pro tvorbu vektorových primitiv při vektorizaci obrazu. [10] Tato plně automatická metoda měla výhody ve vykreslovacím výkonu, detailnosti textur a efektivitě, přičemž vše záviselo na kvalitě a přesnosti trojúhelníkové sítě. Příklady použití této metody byly prezentovány pro různé vstupní obrázky, včetně fotografií, kreseb, maleb, návrhů a karikatur.

Khatab et al. představili srovnávací studii, která hodnotila výkon segmentace barevného obrazu pomocí různých barevných prostorů v automatické technice GrabCut. GrabCut je považován za poloautomatickou techniku segmentace obrazu, protože vyžaduje uživatelskou interakci pro inicializaci segmentace pomocí Orchardova a Boumanova bezdoporového shlukování v inicializační fázi. Účinnost techniky byla hodnocena z hlediska segmentace, kvality a přesnosti při použití barevných prostorů RGB, HSV, CMY, XYZ a YUV. Srovnávací studie a experimentální výsledky ukázaly, že barevný prostor RGB je nejvhodnější pro zpracování. [11]

V publikaci Kim et al. byl prezentován opačný přístup v podobě rasterizační inverze. Definovali nejpravděpodobnější množiny cest, které by mohly vytvořit rastrový obraz. Po výpočtu segmentace bylo možné použít stávající vektorizační přístupy k vektorizaci jednotlivých cest a následně všechny cesty spojit do jednoho obrazu. Pro určení nejpravděpodobnější sady cest byla vyvinuta dvojice neuronových sítí, které poskytovaly sémantické vodítko a pomáhaly řešit nejasnosti v křížících se a překrývajících se oblastech. Tyto předpovědi byly prováděny s ohledem na kompletní kontext obrazu a poté globálně zkombinovány řešením Markovova náhodného pole. Ve všech testovaných případech systém přesně odpovídal sémantice kreseb a byla potvrzena smysluplnost výstupu. [12]

V současné době je velký zájem o vektorizaci 3D modelů, konkrétně mračen bodů získaných laserovým skenováním povrchu vozovky (např. [4][5][13]), ale tyto metody jsou náročné jak na sběr dat, tak na jejich zpracování. Důraz je kladen zejména na tělesa podél vozovky, kde je klíčovým parametrem především výška, která slouží jako základní klasifikace objektů.

Obecně lze konstatovat, že ačkoli existuje mnoho publikací na toto téma, žádná z nich se specificky nezaměřuje na oblast dopravní infrastruktury a využití ortofotomap získaných leteckým měřickým snímkováním. Cílem tohoto příspěvku je představit možnosti identifikace konkrétních objektů v těchto mapách a jejich následného převodu do vektorové podoby prostřednictvím jednoduchých operací, které využívají segmentaci a filtraci RGB spektra snímků. Mnohé publikace se věnují dané problematice, avšak žádná z nich se nesoustředí na aplikaci v oblasti dopravní infrastruktury a využití ortofotomap získaných z leteckého měřického snímkování.

3 METODY

Navrhovaná metoda vychází z letecké fotogrammetrie vybraných silničních úseků a následné poloautomatické vektorizace specifických silničních prvků pomocí segmentace RGB spektra. Tato metoda byla primárně testována na fotogrammetrických ortofotomapách, ale je také aplikovatelná na ortografické snímky získané laserovým skenováním. Konkrétní silniční prvky mohou být reprezentovány jako liniové prvky (např. vodorovné dopravní značení, okraje vozovky) nebo jako silniční zařízení (např. svodidla, sloupy, autobusové zastávky).

Jednotlivé kroky navrhovaného přístupu jsou demonstrovány na příkladu zpracování v softwaru Python. Tento software využívá veřejně dostupné knihovny, jako jsou Tkinter, Numpy, PIL a imageio, ve spojení s vlastním kódem. Zpracování je ukázáno prostřednictvím extrakce obrysů okraje chodníku a vodorovného dopravního značení (absolutní a relativní poloha). Předpokládá se, že tento požadavek je pro účely bezpečnostních posouzení pozemních komunikací nejčastější, což z něj činí ideální případ pro řádné ověření použitelnosti navrženého řešení.

3.1 Vstupní data

Přístup je založen na zpracování přímých výstupů z digitální obrazové korelace, konkrétně ortofota a digitálního modelu terénu (DEM). Oba tyto výstupy se používají ve formátu TIFF, který má tu výhodu, že umožňuje bezztrátovou kompresi, čímž je zachována původní kvalita obrazu během celého procesu zpracování. Další výhodou formátu TIFF je možnost zahrnutí výškových informací jednotlivých měřených bodů nebo přesné parametrizace polohových hodnot každého bodu v rastrové síti.

Požadavky na ortografický snímek se týkají především kvality obrazu, jako je eliminace vozidel na silnici, zákrytů vegetací nebo drátů elektrického vedení, a rozlišení (GSD) 1 cm a vyšší (obrázek 2). Zpracování lze provést i bez modelu DEM, avšak v takovém případě chybí informace o výšce. Pokud je DEM k dispozici, jsou zdroje kombinovány prostřednictvím počáteční analýzy vstupních dat, sjednocení informací a interpolace výškových dat, přičemž se zohledňují případné rozdíly v rozlišení nebo vyrovnání poskytnutých dat.



Obrázek 2 Ukázka vstupního ortofota křižovatky [autor]

Figure 2 Example of the input orthophoto of the intersection [author]

3.2 Úvodní segmentace

Navrhovaný přístup je založen na poloautomatickém procesu, kdy uživatel na základě požadovaných prvků pro extrakci definuje jejich hlavní charakteristiky. Díky využití barevné segregace může uživatel buď nastavit rozsahy RGB, nebo ručně vybrat několik bodů zájmu na ortofotomapě.

Snímek je následně rozdělen na jednotlivé barevné shluky, které jsou podle vstupních požadavků buď zachovány, nebo automaticky odstraněny (obrázek 3). Segmentace se provádí nejen pro kombinované informace RGB, ale také pro každý kanál zvlášť. Velikost obrázku se nemění, pouze se odfiltrují nepotřebné body, což usnadňuje následné zpracování. Tento přístup umožňuje zpracovávat i snímky s vysokým rozlišením, tedy delší silniční segmenty. Během těchto kroků dochází také k částečnému odstranění šumu, neboť algoritmus automaticky vyřazuje shluky s odlišným barevným spektrem, které se nenacházejí v blízkosti hodnoceného bodu nebo logicky nepatří do hodnoceného pole.

Po zpracování následuje funkce, která vyhledává přechody jednotlivých barevných spekter. Algoritmus zkontroluje několik předchozích a následujících bodů a zařadí je do skupin. V příkladu je klasifikace zaměřena na vodorovné dopravní značení (bílé) a zemní povrch vozovky pro vymezení okraje vozovky (černé). Zbývající údaje jsou odděleny a označeny zelenou barvou. Kromě toho se při filtrování bere v úvahu také relativní vzdálenost identifikovaných shluků, a tato informace se použije ke změně barevného prahu segmentace, aby se vyplnily případné vady nebo zákryty v obraze.



Obrázek 3 Počáteční barevná segmentace obrazu se zvýrazněným vodorovným dopravním značením, povrchem vozovky a segmentovanými úseky [autor]

Figure 3 Initial colour image segmentation with highlighted horizontal road markings, road surface and segmented sections [author]

3.3 Čištění dat

Na základě výsledků a volitelných vstupů od uživatele pak následuje fáze „čištění“. Funkce „čištění“ se používá k omezení chyb z předchozích výpočtů a k vyplnění případných mezer v identifikovaných objektech. Pokud se objeví izolované body, které logicky nezapadají do dané klasifikace povrchu, jsou přebarveny do stejné barevné skupiny jako jejich okolí. To se provádí s částečným zadáním od uživatele, který provádí zpracování a volí úroveň odstranění šumu. Pro odstranění drobného šumu v obraze jsou pro každý identifikovaný objekt vypočteny reprezentativní obrysy a zvýrazněny přechody mezi jednotlivými barvami definovanými skupinami. V dalším kroku se z dalšího zpracování vyloučí informace o barvě a zachovají se pouze obrysy hran určených barevných skupin (obrázek 4). V této fázi jsou obrysy vykresleny a jsou vytvořeny objekty, které se již podobají konečnému výstupu. Obraz je však stále ovlivněn šumem, který se nepodařilo identifikovat a odstranit automaticky v předchozích krocích. V současné době pracuje následující fáze v poloautomatickém režimu. Obraz je rozdělen na objekty, zobrazí se informace o nalezených objektech a jejich polohové souřadnice spolu s předpokládaným typem objektu (např. izolovaný, souvislý, přerušovaná čára). Uživatel pak kontroluje správnost tohoto přiřazení a výběrem více sousedních objektů může přiřadit odpovídající objekty nebo provést opravy. Tyto kroky lze využít k vytvoření jednoho integrovaného objektu z několika přidružených objektů, se kterým se pak v další fázi zachází jako s jedním objektem. Zároveň je možné vymazat objekty, které nesplňují požadovaná kritéria.



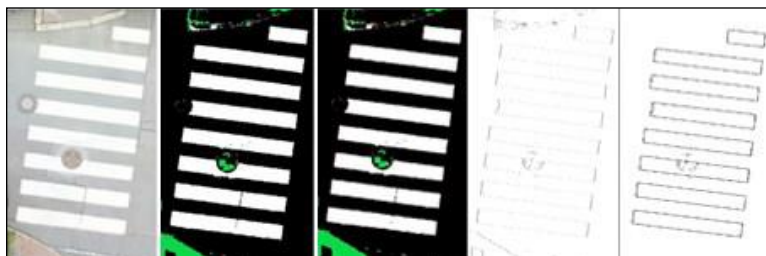
Obrázek 4 Obrázek s odstraněnými informacemi o barvách [autor]

Figure 4 Image with colour information removed [author]

3.4 Vektorizace

Závěrečná fáze vektorizace obrazu je řešena pomocí dvou metod, které se liší v závislosti na vstupních požadavcích uživatele, přičemž oba přístupy mají své vlastní charakteristiky. První přístup spočívá v hledání pouze hran objektů nebo přechodů v barevném spektru a definování obrysu pouze prostřednictvím jednotlivých bodů. Druhou možností je analýza povrchu určitého barevného spektra. Přestože se oba přístupy liší, je v obou případech stanovena osa, která slouží jako výstup.

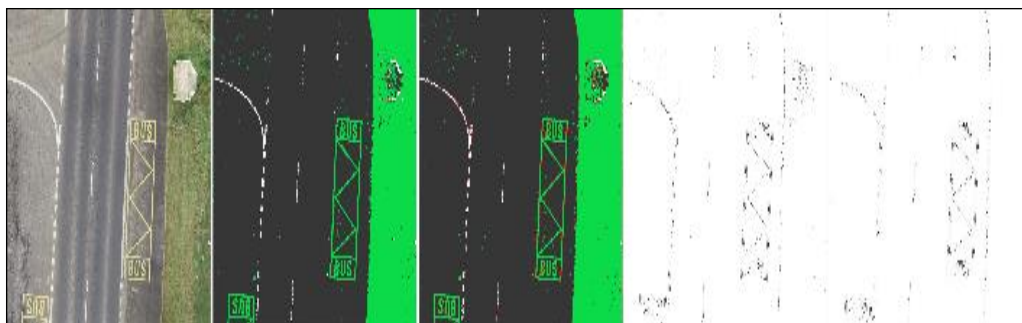
V prvním případě je každý objekt na snímku analyzován samostatně a brán jako jedinečná jednotka definovaná určitým počtem bodů. V případě, že je obrys objektu tvořen mrakem bodů uspořádaných cyklicky, například u čárkovaného vodorovného značení, se použije metoda hledání krajních bodů. Tyto body jsou pak spojeny vektorem a vyhlazeny tak, aby co nejpřesněji odpovídaly skutečnosti, čímž se vytvoří hrany, které se následně spojí. Ukázkou zobrazuje obrázek 5.



Obrázek 5 Extrakce přechodu pro chodce [autor]

Figure 5 Extraction of zebra crossing [author]

Jiným případem je situace, kdy je objekt, jako například okraj chodníku, zachycen na celém snímku a nevyskytuje se cyklické opakování. V takovém případě metoda identifikuje body, které v určitém rozsahu od počátečního bodu objektu sledují nebo prodlužují vstupní vektor vytvořený na okraji obrazu. (obrázek 6)



Obrázek 6 Extrakce situace se souvislými silničními prvky v celém snímku [autor]

Figure 6 Situation extraction with continuous road elements throughout the image [author]

Křivka je vyhlazena buď pomocí metody klouzavého průměru, kde se její tvar věrně přizpůsobuje aktuálnímu přechodu mezi jednotlivými prvky, jako je například asfaltový a nepevněný povrch nebo vegetace. Alternativou k metodě klouzavého průměru je polynomičká regrese, která aproximuje dané hodnoty polynomem. Koeficienty polynomu jsou určeny metodou nejmenších čtverců tak, aby součet čtverců odchylek původních hodnot od získaného polynomu byl minimální. Určení vhodného stupně polynomu je klíčové pro dosažení přesnosti, protože vyšší stupeň nejistoty v rozložení bodů vyžaduje použití vyššího stupně polynomičké vyhlazení. Automatizace výběru vhodného stupně polynomu je obtížná, protože není vždy možné přesně určit nevhodnější stupeň polynomu. V případě, že uživatel zvolí tento přístup, jsou vygenerovány různé polynomičké křivky a vybere se ta nevhodnější.

Druhý přístup pracuje s oblastí nebo barevným shlukem, který je generován algoritmem a považován za souvislý objekt. V tomto případě je nutné převedení objektu na souvislou strukturu, neboť algoritmus může generovat izolované body. Pro izolované body se jejich barva upraví na barvu okolních bodů. V mračnu bodů je také možné vytvořit lineární regresi, která může odhalit přibližnou osu objektu. Tato metoda zahrnuje následné spojení blízkých vektorů a jejich výsledné vyhlazení. Ukázkou zobrazuje obrázek 7.



Obrázek 7 Sloučení izolovaných barevných shluků, vyhlazení a konečná vektorová reprezentace [autor]

Figure 7 Merging of isolated colour clusters, smoothing and final vector representation [author]

Využití fotogrammetrických ortofotomap přináší řadu výhod, včetně znalosti nejen relativní polohy výsledných vektorů na snímku, ale také informací o poloze skutečného obrazu vůči referenčnímu souřadnicovému systému. Tímto způsobem lze přesně určit skutečnou polohu a následně ji exportovat do formátů vhodných pro další zpracování v CAD programech specializovaných na projektování a výstavbu, jako jsou produkty Autodesk nebo Bentley Systems. Pokud je k dispozici digitální model reliéfu (DEM) ve formátu TIFF, je také možné určit výškovou souřadnici.

4 DISKUSE

Princip identifikace objektů na základě segmentace RGB spekter jednotlivých pixelů představuje složitou a náročnou úlohu, avšak může významně uspořit čas. Je nutné zdůraznit, že pokud algoritmus nepoužívá metodu hlubokého učení, je obtížnější extrahovat komplexní vlastnosti ze vstupních dat. V takových případech může být nezbytné, aby uživatel vedl algoritmus v rozhodování, zda s identifikovanými objekty dále pracovat, nebo zda jsou považovány za šum a měly by být odstraněny, zejména u obtížně identifikovatelných objektů. Problém s vektorizací silniční sítě pomocí metod barevné segmentace může vykazovat komplikace, které je třeba v průběhu testování upravit tak, aby bylo dosaženo vyšší efektivity s minimální asistencí uživatele. Jedním z typických problémů může být segmentace určitého barevného spektra, například vodorovného dopravního značení, které může být v určitých místech na silnici opotřebované nebo zakryté nečistotami. V budoucnosti lze tento problém řešit například pomocí strojově definovaných palet jednotlivých objektů, které mohou být vloženy do obrazu nebo překryty přes část, kterou algoritmus automaticky identifikoval. Další možností zlepšení je využití kombinatoriky k nalezení nejlepší korekce obrazu s částečně definovanou vnitřní strukturou povrchu. Práce s duplicitními fotografiemi, které jsou již upraveny v jiném barevném spektru, může rovněž přispět k přesnější

identifikaci jednotlivých objektů. Použití takového snímku jako pozadí umožní lepší rozpoznání jednotlivých tvarů a tím lepší systém rozpoznávání objektů. Výsledný princip vektorizace může být ovlivněn i faktory jako jsou kontrasty způsobené stíny okolní vegetace nebo zakrytí částí silnice větvemi nebo portálem proměnného dopravního značení. V takových situacích by mohlo být vhodné použít snímek, který by byl barevně odstupňován podle výšky terénu. Pokud algoritmus nedokáže správně identifikovat barvy v daném místě, bylo by možné na základě upravené fotografie rozhodnout, zda je místo ovlivněno vnějšími faktory, a podle toho dále pracovat se snímkem.

5 ZÁVĚR

Využití leteckých ortofotomap z nízké výšky se prokázalo jako velmi účinné při urychlení základních projekčních prací a posuzování bezpečnosti silničního provozu. Oproti tradičním leteckým mapovým podkladům nabízejí ortofotomapy z UAS aktuálnější data a výrazně vyšší rozlišení. Avšak pro ještě efektivnější využití těchto dat je potřeba další vývoj v oblasti automatického zpracování ortofotomap. Navržená metoda v této studii přináší nový přístup k poloautomatické detekci objektů v ortofotomapách na základě jejich RGB spekter, což může výrazně zlepšit celý proces. Aktuálně je tato metoda ve fázi testování a pro dosažení vyšší přesnosti a automatizace je nutné provést další měření. Konečným cílem je vytvoření webové aplikace, která bude snadno použitelná a dostupná bez nutnosti instalace speciálního softwaru. Tato aplikace má přispět k automatizaci celého procesu vektorizace a snížení potřeby manuální práce. Budoucí výzkum by se měl zaměřit na další zlepšení přesnosti metody a vyhodnocení jejího výkonu na větších datasetech. Díky tomu bude možné lépe porozumět možnostem a omezením této techniky a případně ji optimalizovat pro různé aplikace a prostředí.

6 REFERENCE

- [1] PINTO, L.; BIANCHINI, F.; NOVA, V. a PASSONI, D. LOW-COST UAS PHOTOGRAMMETRY FOR ROAD INFRASTRUCTURES' INSPECTION. Online. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020, roč. XLIII-B2-2020, s. 1145-1150. ISSN 2194-9034. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-1145-2020>. [cit. 2024-06-17].
- [2] PALUMMO, A. FROM THE ROAD SIGN TO THE MAP: 3D MODELING IN SUPPORT OF THE URBAN AND RURAL ROAD CONDITIONS. Online. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2017, roč. XLII-5/W1, s. 77-80. ISSN 2194-9034. Dostupné z: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-77-2017>. [cit. 2024-06-17].
- [3] WANG, X., DADI, G. B., & TAYLOR, T. R. B. (2017). A case study application of unmanned aerial systems (UAS) on highway construction projects. 313-322. Paper presented at 24th EG-ICE International Workshop on Intelligent Computing in Engineering 2017, Nottingham, United Kingdom. [cit. 2024-06-17].
- [4] YAO L, QIN C, CHEN Q, WU H. Automatic Road Marking Extraction and Vectorization from Vehicle-Borne Laser Scanning Data. *Remote Sensing*. 2021; 13(13):2612. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/rs13132612>. [cit. 2024-06-17].
- [5] SUI, LICHUN, ZHU, JIANFENG, ZHONG, MIANQING, WANG, XUE AND KANG, JUNMEI. "Extraction of road boundary from MLS data using laser scanner ground trajectory" *Open Geosciences*, vol. 13, no. 1, 2021, pp. 690-704. Dostupné z: <https://doi.org/10.1515/geo-2020-0264>. [cit. 2024-06-17].
- [6] MCGLONE, J., MIKHAIL, E. M., BETHEL, J. S., MULLEN R., 2004: *Manual of photogrammetry. 5th ed. Bethesda, Md.: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, c2004, 1151 p. ISBN 15-708-3071-1. [cit. 2024-06-17].
- [7] RIK D.T. JANSSEN, ALBERT M. VOSSEPOEL, Adaptive Vectorization of Line Drawing Images, *Computer Vision and Image Understanding*, Volume 65, Issue 1, 1997, Pages 38-56, ISSN 1077-3142, Dostupné z: <https://doi.org/10.1006/cviu.1996.0484>. [cit. 2024-06-17].
- [8] GUO, Yi; ZHANG, Zhuming; HAN, Chu; HU, Wenbo; LI, Chengze et al. Deep Line Drawing Vectorization via Line Subdivision and Topology Reconstruction. Online. *Computer Graphics Forum*. 2019, roč. 38, č. 7, s. 81-90. ISSN 0167-7055. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/cgf.13818>. [cit. 2024-06-17].

- [9] YAN, Chuan; VANDERHAEGHE, David a GINGOLD, Yotam. A benchmark for rough sketch cleanup. Online. *ACM Transactions on Graphics*. 2020, roč. 39, č. 6, s. 1-14. ISSN 0730-0301. Dostupné z: <https://doi.org/10.1145/3414685.3417784>. [cit. 2024-06-17].
- [10] HETTINGA, Gerben J.; ECHEVARRIA, Jose a KOSINKA, Jiří. Adaptive image vectorisation and brushing using mesh colours. Online. *Computers & Graphics*. 2022, roč. 105, s. 119-130. ISSN 00978493. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.cag.2022.05.004>. [cit. 2024-06-17].
- [11] KHATTAB, Dina; EBIED, Hala Mousher; HUSSEIN, Ashraf Saad a TOLBA, Mohamed Fahmy. Color Image Segmentation Based on Different Color Space Models Using Automatic GrabCut. Online. *The Scientific World Journal*. 2014, roč. 2014, s. 1-10. ISSN 2356-6140. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2014/126025>. [cit. 2024-06-17].
- [12] KIM, Byungsoo; WANG, Oliver; ÖZTIRELI, A. Cengiz a GROSS, Markus. Semantic Segmentation for Line Drawing Vectorization Using Neural Networks. Online. *Computer Graphics Forum*. 2018, roč. 37, č. 2, s. 329-338. ISSN 0167-7055. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/cgf.13365>. [cit. 2024-06-17].
- [13] GAO, Yang; ZHONG, Ruofei; TANG, Tao; WANG, Liuzhao a LIU, Xianlin. Automatic extraction of pavement markings on streets from point cloud data of mobile LiDAR. Online. *Measurement Science and Technology*. 2017, roč. 28, č. 8. ISSN 0957-0233. Dostupné z: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aa76a3>. [cit. 2024-06-17].