

VYUŽITÍ LOW-COST KAMER PRO TVORBU TEXTUROVANÝCH 3D MODELŮ

Jakub Nosek^a, Petr Kalvoda^a

^a *Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie, Veveří 331/95, 602 00*

ABSTRAKT

Příspěvek popisuje praktické zkušenosti autorů s tvorbou 3D modelů s využitím low-cost kamer. Fotogrammetrické modely vytvořené na základě snímků z mobilního telefonu Xiaomi Mi10T Pro a UAV DJI Phantom 3 Advanced jsou porovnány s modely z profesionální zrcadlové kamery a s mračnem bodů z terestrického laserového skenování. Prezentované výsledky ukazují, že pomocí vhodné metodologie snímkování a zpracování lze získat geometricky přesné a vizuálně pěkné 3D modely i s low-cost zařízeními.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotogrammetrie, laserové skenování, low-cost, 3D model

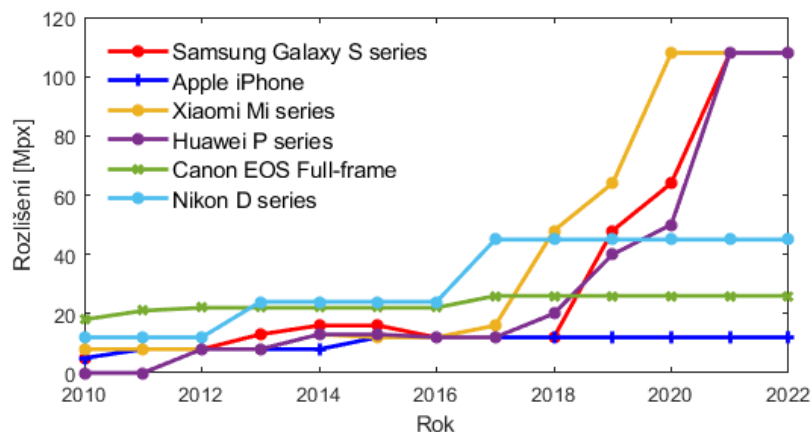
ÚVOD

Díky aktuálnímu vývoji programů založených na algoritmech Structure from Motion (SfM) a Multi View Stereo (MVS), které umožňují získat trojrozměrné modely, je používání digitálních snímků získaných pomocí levných snímačů pro fotogrammetrické účely stále masivnější. Tyto algoritmy vyžadují pořizovat snímky s vysokou relativní hodnotou překrytu. Přístup MVS umožňuje zvýšit hustotu bodů počínaje mračnem bodů generovaným v procesu SfM. Tímto způsobem je možné vytvořit husté mračno bodů objektu nebo struktury [1].

Nízkonákladové kamery se oproti profesionálním vyznačují nižší geometrickou stabilitou, to vede k nižší spolehlivosti a trvanlivosti modelování prvků vnitřní orientace kamery [2]. Kalibraci kamer pro fotogrammetrické účely se věnují [3], [4].

Na trhu jsou dostupné různé druhy nízkonákladových kamer. Mezi důležitá kritéria při výběru kamery pro fotogrammetrii patří vysoké rozlišení, kvalita optiky, fixní ohnisková vzdálenost (bez optického zoomu) a možnosti nastavení. Kamery chytrých telefonů většinou splňují požadavek absence optického zoomu a vysokého rozlišení, jsou tedy potenciálně dobrou volbou [1]. Některé kamery integrované v dronech také splňují tyto požadavky.

Zatímco trend zvyšování rozlišení standardních kamer je poměrně stálý a mírný, u kamer chytrých telefonů je tento trend kvaziexponenciální (Obrázek 1). Nyní jsou na trhu dostupné chytré telefony s rozlišením 108 megapixelů (Samsung, Xiaomi, Huawei).



Obrázek 1. Vývoj senzorů v letech

Fotogrammetrie s využitím chytrých telefonů byla aplikována v řadě oblastí, např. při fotogrammetrické rekonstrukci kostela San Rocco v Římě pomocí chytrého telefonu OnePlus 6. Při snímkovacích vzdálenostech 10–15 m (GSD 2,9–4,3 mm) dosáhli autoři průměrné hodnoty chyb na kontrolních bodech 12,5 cm [5], nebo při analýzách deformací lebek kojenců [6].

SLEDOVÁNÉ OBJEKTY A POUŽITÉ VYBAVENÍ

Pro snímkování a následné analýzy byly zvoleny tři kaple. První, kaple Panny Marie Pomocnice, se nachází v Brně-Líšni. Objekt kaple má v půdorysu rozměry 11 a 7 metrů, úroveň hřbetu střechy je ve výšce 11 metrů a věže 17 metrů nad okolním terénem. Stěny kaple pokrývá jemnozrná omítka bez výrazné textury. Textura střechy, věže a spodní části kaple je pro fotogrammetrické zpracování vyhovující.

Druhým snímkaným objektem byla kaple sv. Jana Nepomuckého v Guntramovicích. Přibližné rozměry kaple jsou 5 a 5 m s výškou kaple přibližně 4 m (výška věže 6 m). Obvodové zdi jsou tvořeny kamennými bloky.

Posledním snímkaným objektem byla kaple svaté Barbory v Rudicích. Kaple má rozměry přibližně 15 a 12 m, výška střechy dosahuje 7 m a věž kaple má výšku 11 m. Stěny kaple jsou tvořeny opracovanými kameny. Některé části konstrukce jsou zvýrazněny pruhy bílé jemnozrné omítky.



Obrázek 2. Sledované objekty: kaple v Brně-Líšni (vlevo), v Guntramovicích (uprostřed) a Rudicích (vpravo)

Pro pořízení snímků všech kaplí byl použit mobilní telefon Xiaomi Mi 10T Pro. V případě kaple v Rudicích byl navíc použit i UAV DJI Phantom 3 Advanced. Referenční bodová mračna kaplí (použitá pro odhady přesnosti 3D modelů) byla vytvořena pomocí pozemního skeneru Faro Focus 3D X130. Vlícovací a kontrolní body byly zaměřeny totální stanicí Trimble S8 HP.

Tabulka 1.

Vybrané parametry použitých kamer

Parametr	Xiaomi Mi 10T Pro	DJI Phantom 3 Advanced
Rozlišení snímků	12032×9024 px	4000×3000 px
Rozlišení kamery	108 Mpx	12,4 Mpx
Velikost pixelu	0,8 μm	1,6 μm
Ekvivalentní ohnisková vzdálenost	26 mm	20 mm

METODIKA A VÝSLEDKY

Kolem zájmových objektů byly stabilizovány body pomocné měřické sítě. Předběžné souřadnice těchto bodů byly získány metodou GNSS RTK aparaturou Trimble R8s. Terestrické měření bylo provedeno totální stanicí Trimble S8 HP. Body měřické sítě byly polohově a výškově vyrovnány metodou nejmenších čtverců jako volná síť. Vlícovací a kontrolní body, rovnoměrně rozmístěné na fasádách objektů byly přirozeně signalizovány. Odhad směrodatných 3D odchylek vlícovacích a kontrolních bodů je 2–3 mm.

Po zaměření souboru vlícovacích a kontrolních bodů byly kaple naskenovány pozemním skenerem Faro Focus 3D X130. Po registraci mračen z jednotlivých postavení skeneru byla tato mračna georeferencována na základě souřadnic vlícovacích bodů. Odhad 3D směrodatné odchylky georeferencovaných mračen je 3–4 mm.

Zpracování snímků z kamer proběhlo v software Agisoft Metashape Pro 1.8.4. Ve snímcích byly manuálně identifikovány vlícovací a kontrolní body. Navazovací body byly generovány automaticky. Prvky vnitřní orientace byly určovány na základě snímků. V případě kamery DJI Phantom 3 Advanced byla určována ohnisková vzdálenost f , poloha hlavního snímkového bodu c_x, c_y , koeficienty radiální distorze k_1, k_2, k_3 a koeficienty tangenciální distorze p_1, p_2 .

Zpracování snímků z kamery Xiaomi Mi 10T Pro bylo mírně odlišné. Mobilní telefon sice umožňuje snímkování v režimu „pro“, kde lze přímo nastavit některé parametry (zaostření, ISO, délka expozice, vyvážení bíle), ale stupnice pro nastavení zaostření má příliš hrubé dělení. Snímek tedy nelze dokonale zaostřit na „nekonečno“ (v žádné autorům známé aplikaci; listopad 2022). Z tohoto důvodu byly v případě snímků z mobilního telefonu určovány zvlášť pro každý snímek ohnisková vzdálenost f , poloha hlavního snímkového bodu c_x, c_y . Správnost tohoto postupu byla ověřena pomocí porovnání 3D směrodatných odchylek na kontrolních bodech (Tabulka 2). Vybrané parametry a výsledky blokových vyrovnání paprskových svazků jsou uvedeny v Tabulce 3. V případě kaple v Rudicích jsou vždy zvlášť uvedeny výsledky pro Xiaomi Mi 10T Pro / DJI Phantom 3 Advanced.

Tabulka 2.

Porovnání směrodatných 3D odchylek na kontrolních bodech podle způsobu určení prvků vnitřní orientace

Varianta	Brno-Líšeň	Guntramovice	Rudice
f, c _x , c _y společné pro všechny snímky [mm]	15,2	9,5	11,0
f, c _x , c _y pro každý snímek zvlášť [mm]	7,3	5,9	4,2

Tabulka 3.

Parametry a výsledky blokových vyrovnání paprskových svazků

Parametr	Brno-Líšeň	Guntramovice	Rudice
Počet snímků	52	57	520 / 527
Počet navazovacích bodů	163 538	193 975	620 534 / 606 198
Reprojekční chyba navazovacích bodů	0,50 pix	0,87 pix	0,94 pix / 0,43 pix
Reprojekční chyba kontrolních bodů	1,2 pix	2,95 pix	0,38 pix / 0,87 pix
Směrodatná 3D odchylka kontrolních bodů	7,3 mm	5,9 mm	4,2 mm / 13,2 mm

Následně byly vytvořeny 3D mesh modely všech kaplí. Přesnost těchto modelů byla odhadnuta na základě porovnání s referenčními bodovými mračny z laserového skenování v programu CloudCompare v2.11. Odchyly od referenčního mračna v podobě normálových vzdáleností všech vrcholů trojúhelníkové sítě 3D mesh modelu od referenčního mračna bodů byly vypočteny pomocí funkce Cloud-to-Mesh Distance (C2MD) [7]. Na základě odchylek od referenčního mračna byly vypočteny směrodatné 3D polohové odchylky s_{3D} . Odchyly byly dále testovány dle [8] na výskyt vybočujících (5% kritická hodnota) a odlehlých (1% kritická hodnota) hodnot. Výsledky porovnání s referenčními bodovými mračny jsou uvedeny v Tabulce 4.

Tabulka 4.

Výsledky analýz odchylek modelů od referenčních bodových mračen

Parametr	Brno-Líšeň	Guntramovice	Rudice
s_{3D} [mm]	10,5	16,0	6,7
Vybočující hodnoty [%]	2,3	0,4	1,1
Odlehlé hodnoty [%]	3,3	1,5	1,9



Obrázek 3. Ukázka modelu kaple v Guntramovicích (vlevo), detail pamětní desky (vpravo)



Obrázek 4. Ukázka modelu kaple v Rudicích, bez textury (vlevo) a s texturou (vpravo)

ZÁVĚR

Kvalita a rozlišení kamer v mobilních telefonech a dalších low-cost zařízeních se neustále zvyšuje. S ohledem na nízkou pořizovací cenu jsou takové kamery zajímavou alternativou k profesionálním zrcadlovým kamerám. V tomto článku byly pro vyhodnocení přesnosti fotogrammetrických 3D modelů vytvořených na základě snímků z kamer Xiaomi Mi 10T Pro a DJI Phantom 3 Advanced vybrány tři objekty. Jako referenční datová sada posloužila bodová mračka z terestrického laserového skenování. Přesnost těchto referenčních mraček vyjádřená 3D směrodatnou odchylkou dosahovala hodnot 3–4 mm.

V případě kamery Xiaomi Mi 10T Pro nebylo možné zaostřit přesně na „nekonečno“, proto byla pro každý snímek zvlášť určována ohnisková vzdálenost a poloha hlavního snímkového bodu. Přesnost snímkové orientace vyjádřená formou 3D směrodatných odchylek na kontrolních bodech dosahovala 7,3; 5,9 a 4,2 mm.

Přesnost výsledných 3D modelů byla otestována na základě referenčních bodových mraček z terestrického laserového skenování. Přesnost modelů vyjádřená formou 3D směrodatných odchylek dosahovala hodnot 10,5; 16,0 a 6,7 mm.

Vysoké rozlišení kamery Xiaomi Mi 10T Pro umožňuje vytvoření vysoce kvalitních textur. S ohledem na dosaženou přesnost 3D modelů, nutnou úpravu běžného pracovní postupu a vstupní náklady se low-cost zařízení jeví jako zajímavá alternativa k profesionálním zrcadlovým kamerám.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce vznikla v rámci řešení projektu specifického výzkumu VUT v Brně FAST-J-22-7997.

REFERENCE

- [1] Constantino, D, Massimiliano, P., Alfio, V. Point Cloud accuracy of Smartphone Images: Applications in Cultural Heritage Environment. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineeri*. 2020, 9(4), 6259-6267. ISSN 2278-3091. Dostupné z: doi:10.30534/ijatcse/2020/305942020
- [2] Sanz-Ablanedo, E., José R.-P., Arias-Sánchez, P., Armesto, J. Metric Potential of a 3D Measurement System Based on Digital Compact Cameras. *Sensors* [online]. 2009, 9(6), 4178-4194 [cit. 2022-11-07]. ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s90604178
- [3] Chuang, J-H, Ho, Ch., Umam, A., Chen, H., Hwang, J. Geometry-Based Camera Calibration Using Closed-Form Solution of Principal Line. *IEEE Transactions on Image Processing* [online]. 2021, 30, 2599-2610 [cit. 2022-11-07]. ISSN 1057-7149. Dostupné z: doi:10.1109/TIP.2020.3048684
- [4] Fraser, C. Automatic Camera Calibration in Close Range Photogrammetry. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* [online]. 2013, 79(4), 381-388 [cit. 2022-11-07]. ISSN 00991112. Dostupné z: doi:10.14358/PERS.79.4.381
- [5] Russo, M., Giugliano, A., Ascitti, A.M. Mobile Phone Imaging For Ch Façade Modelling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* [online]. 2019, -217, 287-294 [cit. 2022-11-07]. ISSN 2194-9034. Dostupné z: doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W17-287-2019
- [6] Barbero-García, I., Lerma, J., Marqués-Mateu, A., Miranda, P. Low-Cost Smartphone-Based Photogrammetry for the Analysis of Cranial Deformation in Infants. *World Neurosurgery* [online]. 2017, 102, 545-554 [cit. 2022-11-07]. ISSN 18788750. Dostupné z: doi:10.1016/j.wneu.2017.03.015
- [7] Cloud-to-Mesh Distance. In: *CloudCompareWiki* [online]. [cit. 2022-11-07]. Dostupné z: https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Cloud-to-Mesh_Distance
- [8] Kalvoda, P., Nosek, J., Kuruc, M., Volařík, T., Kalvodová, P. Accuracy Evaluation and Comparison of Mobile Laser Scanning and Mobile Photogrammetry Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. 2020, 609(1) [cit. 2022-11-07]. ISSN 1755-1307. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/609/1/012091