

Úvod do dokumentace vozidel pomocí mobilního telefonu

Introduction to Vehicle Documentation Using a Mobile Phone

Roman Mikulec^{*1}, Jakub Motl¹

¹Centrum dopravního výzkumu, v.v.i.

Rozšířený abstrakt

Úvod

Řada současných generací mobilních telefonů je vybavena fotoaparáty s vysokým rozlišením a senzory, které jsou schopny zaznamenat vzdálenost od objektů. Výpočetní výkon těchto zařízení pak umožňuje zpracování takto získaných dat pro vytvoření 3D modelů, přičemž dokumentaci lze provést i na větších objektech, jako jsou vozidla. Řada mobilních aplikací těchto možností využívá a je prezentována jako vhodná i pro forenzní dokumentaci, například při dokumentaci poškození vozidel, nebo místa dopravní nehody. Je však stále otázkou, s jakou přesností lze tyto aplikace využít a jaké jsou jejich limity.

Podklady a metody

Pro posouzení přesnosti dokumentace mobilním telefonem bylo provedeno naskenování vozidla pomocí laserového 3D skeneru Leica RTC360. Tento sken vozidla sloužil jako reference, ke které byla přirovnána dokumentace z mobilního zařízení. Pro porovnání byla zvolena mobilní aplikace Recon3D, která je jednou z aplikací, prezentovaných pro forenzní dokumentaci, a jejímž výstupem je mračno bodů. Pro porovnání měření byl využit program CloudCompare, ve kterém bylo provedení vzdálenosti mezi dvěma zvolenými body u obou metod dokumentace a rovněž porovnání mračna bodů, získaného mobilním zařízením (Apple iPhone 15 Pro) s mračnem bodů, získaným laserovým skenerem.

Výsledky

Z porovnání obou metod měření vyplývá, že od poměrně přesné dokumentace vozidla laserovým 3D skenerem (s přesností měření v řádu mm) dosahuje měření s využitím mobilních telefonů, resp. mobilních aplikací odchylky, pohybující se do cca 2 cm. Nelze vyloučit, že část nepřesnosti byla způsobena uživatelskou chybou při získání dat a že celková přesnost by mohla být navýšena při použití slícovacích terčů, které lze použít pro kalibraci měřítka.

Závěr

Na základě provedeného testování mobilní aplikace Recon3D pro 3D dokumentaci vozidla bylo dosaženo poměrně dobré přesnosti měření, která by byla dostatečná v rámci analýzy dopravních nehod při stanovení deformační energie na základě rozsahu deformace vozidla, nebo při dokumentaci konečné polohy vozidla. Ve výzkumu však bude nezbytné provést řadu dalších testů pro prověření více aplikací (i mobilních zařízení) a také pro stanovení jejich přesnosti měření, limitací a optimálního postupu dokumentace, který zajistí možnost získat maximum dat s minimální chybou.

Klíčová slova: Dokumentace vozidla, 3D, LiDAR, mobilní aplikace, Recon3D

Citace:

MIKULEC, Roman a MOTL, Jakub. Úvod do dokumentace vozidel pomocí mobilního telefonu. Online. *Soudní inženýrství*. 2023, roč. 34, č. 02, s. 44-52. ISSN 2788-2764. Dostupné z: <https://doi.org/10.13164/SI.2023.2.44>.

DOI:

doi.org/10.13164/SI.2023.2.44

*Korespondenční adresa autora:

roman.mikulec@cdv.cz

Přijato do redakce:

06.12.2023

Recenzní řízení:

19.12.2023

Publikováno:

24.12.2023



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

Introduction

Many current generations of mobile phones are equipped with high-resolution cameras and sensors that can detect the distance to objects. The computing power of these devices then allows the data thus obtained to be processed to create 3D models, with documentation possible even on larger objects such as vehicles. Many mobile applications take advantage of these capabilities and are presented as suitable for forensic documentation, for example, in the documentation of vehicle damage or accident sites. However, there is still a question about how accurately these apps can be used and what are their limitations.

Materials and methods

To assess the accuracy of the documentation with a mobile phone, the vehicle was scanned using a Leica RTC360 3D laser scanner. This vehicle scan served as a reference against which the documentation from the mobile device was compared. The mobile application Recon3D, which is one of the applications presented for forensic documentation and whose output is a point cloud, was chosen for comparison. The CoudCompare program was used to compare the measurements, in which the distance between the two selected points was performed for both documentation methods, as well as the comparison of the point cloud obtained by the mobile device (Apple iPhone 15 Pro) with the point cloud obtained by the laser scanner.

Results

The comparison of both measurement methods shows that the measurement using mobile phones or mobile applications achieves deviations of up to about 2 cm from the relatively accurate documentation of the vehicle with a 3D laser scanner (with a measurement accuracy of a few mm). It cannot be ruled out that part of the inaccuracy was due to user error in data acquisition and that the overall accuracy could be increased by using slicing targets that can be used for scale calibration.

Conclusions

Based on the testing performed on the Recon3D mobile application for 3D vehicle documentation, a relatively good measurement accuracy was achieved, which would be sufficient in the context of accident analysis when determining the deformation energy based on the extent of vehicle deformation or when documenting the final position of the vehicle. However, a number of further tests will be necessary in the research to investigate more applications (including mobile devices) and also to determine their measurement accuracy, limitations and the optimal documentation procedure to ensure that maximum data can be obtained with minimum error.

Keywords: Vehicle Documentation, 3D, LiDAR, Mobile App, Recon3D

Citation:

MIKULEC, Roman a MOTL, Jakub. Úvod do dokumentace vozidel pomocí mobilního telefonu. Online. *Soudní inženýrství*. 2023, roč. 34, č. 02, s. 44-52. ISSN 2788-2764. Dostupné z: <https://doi.org/10.13164/SI.2023.2.44>.

DOI:

doi.org/10.13164/SI.2023.2.44

*** Author's correspondence address:**

roman.mikulec@cdv.cz

Accepted for editing:

December 06, 2023

Review proceedings:

December 19, 2023

Published:

December 24, 2023

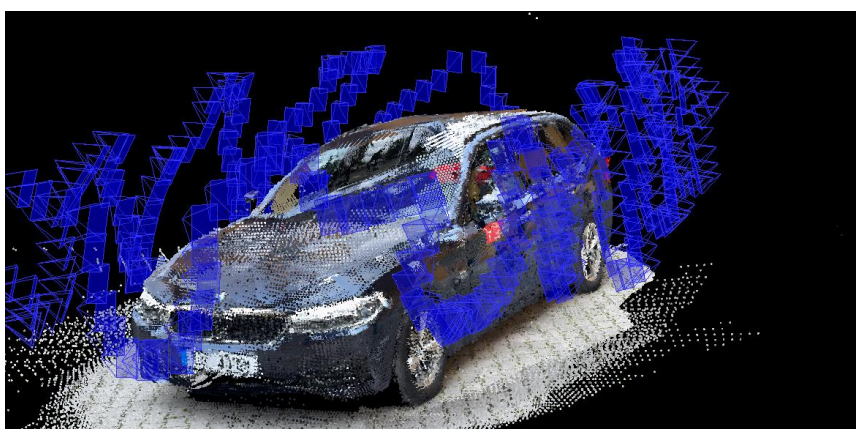


Copyright: © 2023 The Author. This work is licensed under Attribution 4.0 International. To view a copy of this license, visit: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

1 Úvod

Takřka s každou novou generací soudobých mobilních zařízení se zvyšuje výkon jejich procesorů, rozlišení objektivů jejich fotoaparátů a jejich celková funkčnost. Hlavní fotoaparát mobilních zařízení značky Apple je dále doplněn senzorem vzdálenosti - konkrétně se jedná o LiDAR (Light Detection And Ranging). Tento senzor umožňuje dálkové měření vzdálenosti na základě výpočtu doby šíření pulsu laserového paprsku odraženého od snímaného objektu. Primární funkce tohoto senzoru je rozšíření funkčnosti fotografických aplikací mobilních zařízení, nicméně řada aplikací využívá tento senzor i pro 3D dokumentaci.

Z obecného hlediska lze využít každé mobilní zařízení vybavené fotoaparátem pro pořízení 3D dokumentace prostřednictvím fotogrammetrie. Fotogrammetrie je geometrický postup, který umožňuje určení tvaru, velikosti a polohy reálných objektů na základě fotografického snímku (resp. snímků). K tomuto účelu lze využít řadu aplikací přímo v mobilních zařízeních (např. PIX4D Catch, Polycam nebo RealityScan), nebo lze mobilní zařízení využít pro pořízení snímků, které jsou následně zpracovány v jiném programu (např. Agisoft Metashape, 3DF Zephyr, Reality Capture, Photomodeler a řada dalších). Dráha, po které se mobilní zařízení pohybovalo při fotogrammetrické dokumentaci je znázorněna modrými trojúhelníky na následujícím obrázku.



Obrázek 1 Náhled na 3D model, získaný pomocí fotogrammetrie v aplikaci PIX4D Catch s vyznačenými pozicemi mobilního zařízení při pořízení dokumentace [Autor]

Figure 1 A preview of the 3D model obtained by photogrammetry in PIX4D Catch with the positions of the mobile device (blue rectangles) during documentation [Autor]

Využívání mobilních zařízení za účelem pořízení 3D dokumentace se stává stále běžnější. Pro dokumentaci objektů a následné vytvoření 3D modelů je dostupné množství aplikací (jak volně dostupných, tak placených) využívajících jak výše zmíněné fotogrammetrie, tak kombinující data získaná pomocí LiDARu s fotogrammetrií. Jedná se o aplikace jako Scaniverse, Recon 3D, Polycam a řadu dalších. Jako příklad slouží následující ukázky.



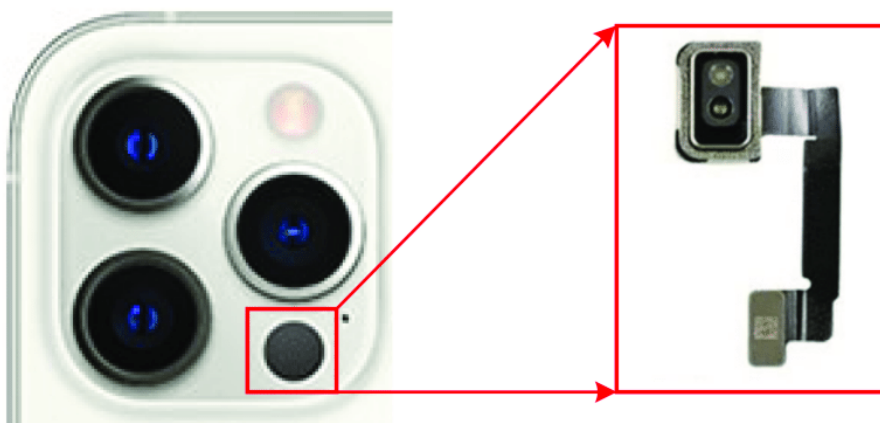
Obrázek 2 3D model motocyklu získaný mobilními aplikacemi (vlevo Scaniverse, vpravo Recon3D) [Autor]

Figure 2 3D model of a motorcycle obtained by mobile applications (Scaniverse on the left, Recon3D on the right) [Autor]

Hlavní otázkou používání těchto aplikací je však stále jejich přesnost a postup, který je při dokumentaci objektu nutné dodržet pro získání maximálního množství dat, resp. detailů objektů. V rámci tohoto příspěvku bude popis dokumentace s využitím mobilních zařízení omezen na ty, které pro svou funkci využívají LiDAR v kombinaci s fotogrammetrií.

2 PRINCIP FUNKCE

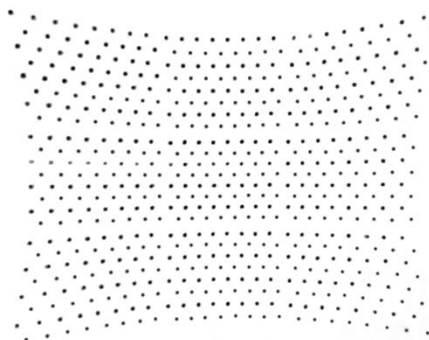
V roce 2020 přidala společnost Apple do některých mobilních zařízení (iPad a iPhone Pro) senzor pro detekci a měření vzdálenosti – LiDAR (viz obrázek 3). Jedná se o optický senzor, který využívá světelné pulzy v infračerveném spektru pro určení vzdálenosti mezi senzorem a povrchem. Měření je čas potřebný k vyslání pulsu světla a jeho odrazu zpět na senzor. Tato metoda poskytuje informace o vzdálenosti k jednotlivým bodům objektu. Dosah tohoto senzoru je udáván cca 5 m, přičemž může být snížen vlivem okolního prostředí, zejména silného slunečního svitu. [1]



Obrázek 3 LiDAR senzor telefonu iPhone [2]

Figure 3 A The LiDAR sensor included in the iPhone [2]

LiDAR vytváří při dokumentaci tzv. hloubkovou mapu, kterou lze chápat jako statický obraz s informacemi o vzdálenosti k jednotlivým objektům, zachyceným na obraze. Pro zachycení dokumentované scény jsou senzorem vysílány pulzy světla v konkrétním vzoru (viz obrázek 4), resp. mřížce pro pokrytí co největšího prostoru. [3][1]



Obrázek 4 Matice bodů vysílaná mobilním zařízením iPhone 12 Pro, složená z 9 sektorů po 8 x 8 bodech [4]

Figure 4 The iPhone 12 Pro emitted a matrix of points composed of 9 sectors of 8 x 8 points [4]

Informace o barvě objektu jsou zachyceny pomocí kamery a přiřazeny odpovídajícím souřadnicím. Mobilní zařízení lze tedy s přidáním senzoru LiDAR, kamer s vysokým rozlišením a přesné inerciální měřící jednotky, tj. pozičních senzorů a aplikace pro sběr a zpracování těchto dat, použít obdobně jako 3D skener. [5][6]

3 DOKUMENTACE S VYUŽITÍM MOBILNÍCH ZAŘÍZENÍ

3.1 Postup měření

Dokumentace s využitím mobilních zařízení probíhá v zásadě identicky, bez ohledu na použitý přístroj a řídí se potřebami aplikace. Při dokumentaci je obvykle uživateli na obrazovce znázorněn dokumentovaný objekt a aplikací je znázorněna úroveň (resp. úplnost) dokumentace objektu (např. pomocí barevných bodů v případě aplikace Recon3D, nebo vyšrafování nezadokumentované oblasti v případě aplikace Scaniverse, viz obrázek 5).



Obrázek 5 Dokumentace objektu s využitím různých aplikací (vlevo – Recon3D, vpravo - Scaniverse) [Autor]

Figure 5 Object documentation using different applications (left - Recon3D, right - Scaniverse) [Author]

Jelikož většina mobilních aplikací využívá pro vytvoření 3D modelu fotogrametrii, je nutné zajistit dostatečný překryv mezi pořizovanými snímky, a tedy zařízením pohybovat dostatečně pomalu a plynule a pokrýt požadované oblasti. Kromě optimální plynulosti pohybu je nutné zajistit i správnou vzdálenost od dokumentovaného objektu. Není tedy vhodné provádět rychlé změny úhlu snímání, nebo vzdálenosti od snímaného objektu (tedy přecházet rychle z detailu na dokumentaci celého objektu). Tímto může docházet ke zkreslení, mohou vznikat parazitní fragmenty nebo může dojít i k celkovému znehodnocení dokumentace. [3][7]

Dalším faktorem, který je nutné při dokumentaci zohlednit je poloha (resp. natočení) zařízení vůči dokumentovaným objektům, kdy některé studie uvádí, že je vhodné zařízení držet kolmo k rovině podkladu. U rovinných objektů, jako je např. těleso vozovky, je pak vhodné zařízení držet k této rovině pod mírným úhlem. Optimální postup je však stále předmětem výzkumu a praktických testů (zejména s ohledem na neustálý vývoj těchto aplikací i zařízení).

V závislosti na použité aplikaci je uživateli poskytnuto několik úrovní podrobnosti dokumentace, od které se odvíjí čas, potřebný pro dokumentaci, přičemž některé aplikaci tímto rovněž omezí čas poskytnutý uživateli. Doba, potřebná pro dokumentaci vozidla se pohybuje řádově v jednotkách minut, v závislosti na detailnosti dokumentace. [3][7][8] S podrobností dokumentace se přirozeně pojí i množství získaných dat a doba, potřebná pro jejich zpracování. [6]

3.2 Výsledky měření

Po dokončení dokumentace je nutné data zpracovat, resp. exportovat. Postup se liší v závislosti na aplikaci i požadavcích na zpracování a obvykle jej lze provést přímo v přístroji, nebo odeslat na zpracování online (na „cloud“). [7]

Při využití mobilních zařízení pro skenování byly ve výsledných modelech v některých případech patrné tzv. artefakty a nepřesnosti – např. posun textury, nebo dílčích částí dokumentovaného objektu, změny rozměrů oproti skutečnosti apod. Obrázek 6 ilustruje tyto nepřesnosti. Je tak vždy nezbytné provést kontrolu získaných dat, respektive vytvořeného modelu. [7]

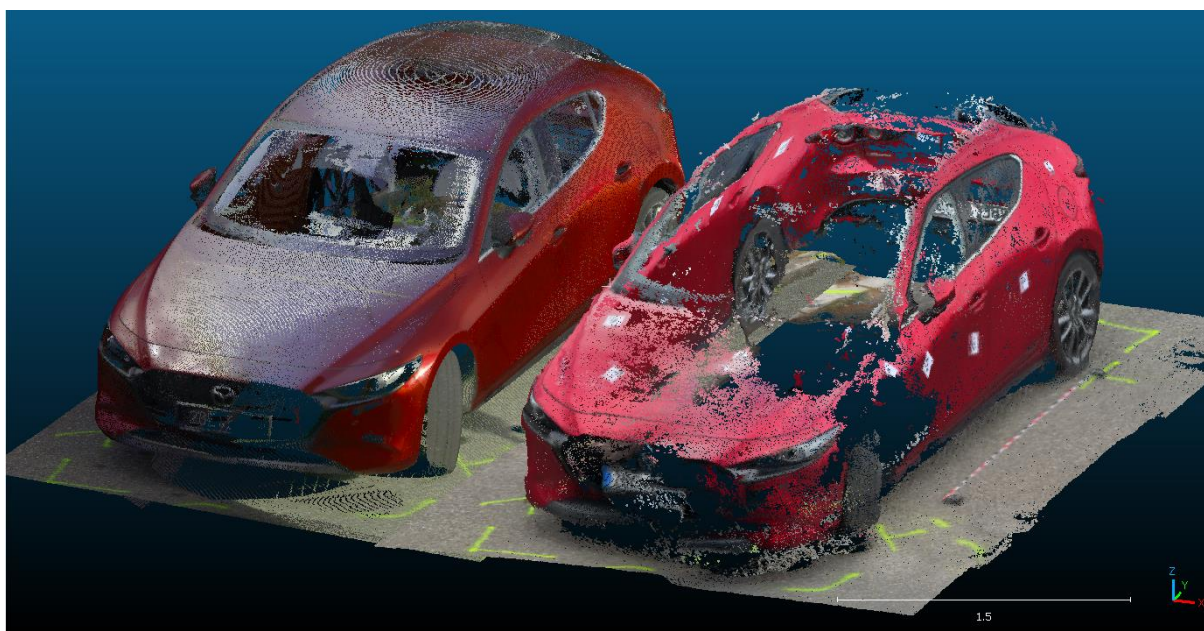


Obrázek 6 Chyba v podobě posunu textury na dokumentovaném modelu vozidla (aplikace Scaniverse) [Autor]

Figure 6 Texture shift error on documented vehicle model (Scaniverse application) [Author]

Přesnost dokumentace se může lišit i v závislosti na použité aplikaci. Například studie [6] na základě testování upozorňuje, že rozlišení 3D sítí generovaných pomocí testovaných aplikací nemusejí být dostatečné pro použití pro forenzní účely. Jelikož tyto mobilní aplikace využívají pro svou funkci LiDAR, lze předpokládat možné zkreslení, či nepřesnosti v případě dokumentace lesklých ploch (podobně, jako o běžných laserových 3D skenerů). Tyto limitace lze minimalizovat jejich zmatněním, např. použitím prášku nebo křídového spreje.

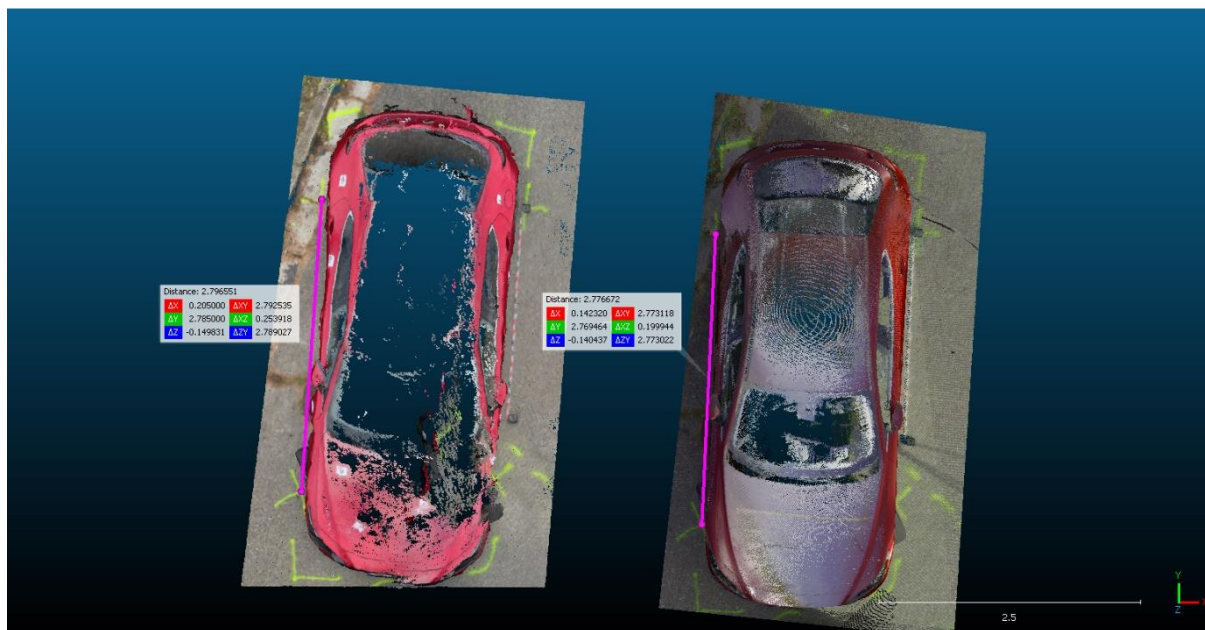
V rámci předběžného testování, provedeného autory tohoto článku byla testována přesnost mobilní aplikace Recon3D při dokumentaci fingované dopravní nehody, přičemž pro srovnání bylo vybráno jedno ze „zúčastněných“ vozidel – Mazda 3. Předmětné vozidlo a jeho poloha byly zadokumentovány pomocí laserového 3D skeneru Leica RTC360 a rovněž pomocí mobilní aplikace telefonem Apple iPhone 15 Pro, viz obrázek 7. Laserový skener byl kalibrován na začátku roku 2023 a zaměření tímto přístrojem bylo považováno za vysoce přesné (odchylka v rámci registrace jednotlivých pozic skeneru se pohybovala do cca 6 mm). Porovnání tedy bylo provedeno právě vůči dokumentaci, pořízené tímto skenerem.



Obrázek 7 Dokumentace vozidla (vlevo – skener Leica RTC360, vpravo – mobilní aplikace Recon3D) [Autor]

Figure 7 Vehicle documentation (left - Leica RTC360 scanner, right - Recon3D mobile app) [Author]

Při porovnání dokumentace provedené skenerem a s využitím mobilní aplikace, je na první pohled patrný rozdíl v dokumentaci levé přední části vozidla a zejména střechy. Tento rozdíl lze vysvětlit chybou uživatele mobilní aplikace, kdy tyto části nebyly řádně zdokumentovány a aplikace tedy neměla dostatek dat pro zpracování výsledného mračen bodů (pro zpracování bylo použito nastavení rozlišení na 5 mm a dosah měření do 5 m).



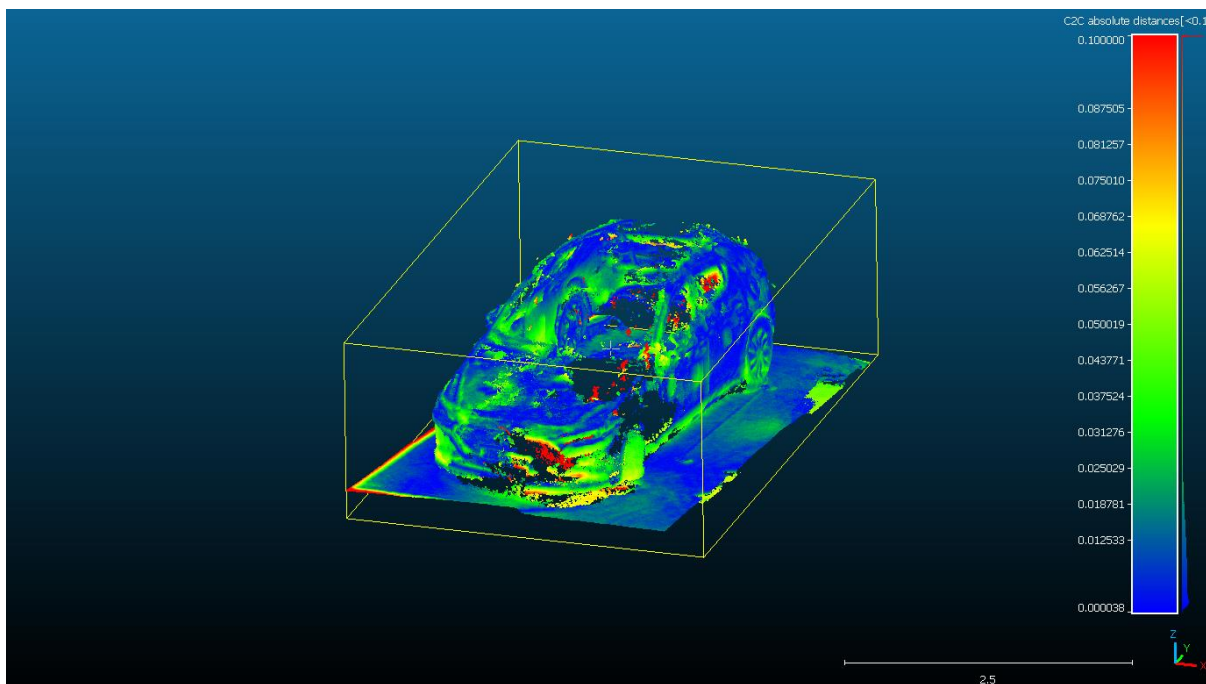
Obrázek 8 Odměření vzdálenosti shodných bodů na vozovce (vlevo – mobilní aplikace, vpravo – 3D skener) [Autor]

Figure 8 Measuring the distance of identical points on the road (left - mobile application, right - 3D scanner) [Author]

Pro porovnání měření byly vedle sebe v programu CloudCompare (v2.12.4) umístěny mračen bodů získaná 3D skenerem a mobilní aplikací. Na vozovce pak byly vybrány shodné body (v tomto případě průnik čar, vymezující osu pravých kol vozidla) a mezi těmito body byla změřena vzdálenost, viz obrázek 8. Při tomto typu měření lze opět předpokládat určitou chybu uživatele, kdy měření závisí na výběru shodných bodů.

V případě 3D skeneru byla vzdálenost odměřovaných bodů (resp. pozic na vozovce) cca 2,78 m, v případě mobilní aplikace pak cca 2,80 m. Tento výsledek, resp. takovouto přesnost lze považovat za přijatelnou, a dostatečnou i pro následnou forenzní analýzu, zejména pokud by takto byla zaměřena konečná poloha vozidla. Samotný rozvor předmětného vozidla je cca 2,73 m, nicméně v daném případě lze rozdíl přisoudit spíše chybě, vzniklé při vyznačení os jednotlivých kole značkovacím sprejem na vozovce.

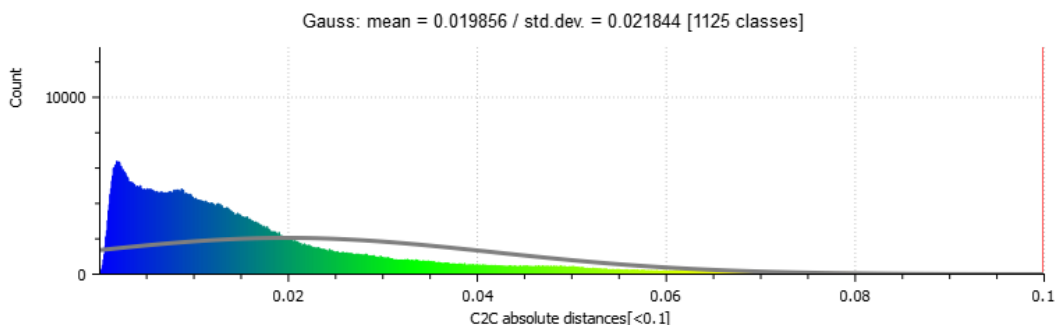
Pro přesnější srovnání dokumentace vozidla s využitím mobilní aplikace pak bylo provedeno slícování obou mračen bodů na sebe přímo v programu CloudCompare a využití interní funkce programu odměření vzdálenosti obou mračen bodů (resp. nejbližších bodů mezi sebou). Pro znázornění tohoto srovnání bylo využito funkce, která obarví body v závislosti na jejich vzdálenosti od předlohy (tj. od dokumentace 3D skenerem), přičemž body, které jsou si blízko mají modrou barvu, nejvzdálenější body pak barvu červenou, viz obrázek 9. Horní hranice zvolené škály byla nastavena na 10 cm, jelikož některé body dokumentace dosahovaly i takovéto nepřesnosti.



Obrázek 9 Srovnání mračka bodů získaného mobilní aplikací a 3D skenerem v programu CoudCompare [Autor]

Figure 9 Comparison of point cloud obtained by mobile app and 3D scanner in CoudCompare

Výsledek porovnání obou mraček bodů bylo v programu možné vyexportovat v podobě grafu distribuce absolutních vzdáleností příslušných bodů mezi sebou, viz obrázek 10. Z výsledku je patrné, že nejčastější vzdálenost bodů se pohybuje do cca 2 cm (střední hodnota vzdálenosti je cca 19 mm, směrodatná odchylka pak 21 mm).



Obrázek 10 Graf distribuce vzdálenosti bodů v programu CoudCompare [Autor]

Figure 10 Point distance distribution graph in CoudCompare software [Autor]

4 ZÁVĚR

Výpočetní výkon mobilních telefonů se navyšuje takřka s každou generací, přičemž se navyšuje i kvalita jejich fotoaparátů (resp. jejich maximální rozlišení). Díky používání zabudovaných senzorů v mobilních telefonech některých výrobců (zejména se jedná o senzor LiDAR) jsou telefony schopny odměřovat svou vzdálenost od objektů. Tohoto jsou schopny využívat některé aplikace, které kombinují data z těchto senzorů s fotogrametrií, čímž lze pořídít 3D dokumentaci objektů v patřičném měřítku a rovněž barevnou informaci.

K dispozici je celá řada aplikací (jak volně stažitelných tak placených), které jsou si svou funkcí velmi podobné a liší se zejména zamýšleným použitím (některé jsou avizovány pro dokumentaci malých objektů pro vývojáře her, některé jsou naopak avizovány pro forenzní dokumentaci), přičemž rozdíl lze spatřovat i ve výstupu aplikací, kdy některé z aplikací poskytují výstup v podobě mračka bodů (tedy jednotlivých, individuálně obarvených bodů v prostoru) a některé vytváří 3D objekt, resp. model, ve kterém jsou jednotlivé body spojeny do samostatných ploch (tzv. mesh model), na který je nanesena textura z fotoaparátu.

V rámci tohoto článku bylo provedeno porovnání mobilní aplikace Recon3D, jejímž výstupem je právě mračno bodů a 3D laserového skeneru Leica RTC360 při dokumentaci vozidla Mazda 3. Z výsledku měření je patrné, že rozdíl v zaměřených bodech se pohyboval převážně v hodnotách do cca 2 cm, což lze považovat jako dostatečně přesné pro účely analýzy dopravních nehod, zejména pokud se týče dokumentace konečného postavení vozidla, nebo i analýzy deformací vozidla za účelem stanovení působící deformační energie.

Největší chyba při dokumentaci pořízené mobilním telefonem byla způsobena uživatelem, resp. nevhodným postupem dokumentace, při které nebyly dostatečně pečlivě zadokumentovány některé části vozidla – konkrétně levý přední bok a střecha. Samotná aplikace pak umožňuje využití lícovacích terčů pro nastavení měřítka, čímž je dále kompenzována nepřesnost měření (řádově o několik procent), která nebyla v rámci dokumentace využita.

Představená mobilní aplikace, a řada dalších aplikací představuje zajímavou alternativu při pořízení 3D dokumentace, která je lákavá zejména z pohledu nákladů na pořízení ve srovnání s laserovými 3D skenery. Stále však zůstává otázkou přesnost těchto aplikací a stanovení limitů jejich použití, a to nejen z pohledu přesnosti dokumentace, ale i tvarů, či objektů, které lze těmito aplikacemi zaznamenat. Z tohoto důvodu bude nutné provést řadu dalších testů a srovnání aplikací, a jednoznačně tak stanovit nejel limity, ale i doporučit postup dokumentace tak, aby byl uživatel schopen získat maximum dat s minimální chybovostí.

5 PODĚKOVÁNÍ

Tento článek byl vytvořen za finanční podpory Ministerstva dopravy v rámci programu dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumných organizací.

6 REFERENCE

- [1] LI SCIO, Eugene a LIM, Jihwa. Recon-3D Measurement Accuracy Study for Small Scenes. Online. In: *Journal of the Association of Crime Scene Reconstruction*. Forest Hill, MD, USA: Association of Crime Scene Reconstruction, 2023, s. 1-10. Dostupné z: <https://forensiclibrary.org/archives/33929>. [cit. 2023-12-07].
- [2] WANG, Xuan; LYU, Haiyang; MAO, Tianyi; HE, Weiji a CHEN, Qian. Point Cloud Segmentation from iPhone-Based LiDAR Sensors Using the Tensor Feature. Online. *Applied sciences*. 2022, roč. 12, č. 4, s. 1817. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app12041817>. [cit. 2023-12-07].
- [3] HEINRICHS, Bradley E a YANG, Mike. Bias and Repeatability of Measurements from 3D Scans Made Using iOS-Based Lidar. Online. *SAE International journal of advances and current practices in mobility*. 2021, roč. 3, č. 5, s. 2219-2226. Dostupné z: <https://doi.org/10.4271/2021-01-0891>. [cit. 2023-12-07].
- [4] TEPPATI LOSÈ, Lorenzo; SPREAFICO, Alessandra; CHIABRANDO, Filiberto a GIULIO TONOLO, Fabio. Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain. Online. *Remote sensing (Basel, Switzerland)*. 2022, roč. 14, č. 17, s. 4157. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/rs14174157>. [cit. 2023-12-07].
- [5] BOBROWSKI, Rogério; WINCZEK, Monika; ZIĘBA-KULAWIK, Karolina a WĘŻYK, Piotr. Best practices to use the iPad Pro LiDAR for some procedures of data acquisition in the urban forest. Online. *Urban forestry & urban greening*. 2023, roč. 79, s. 127815. ISSN 1618-8667. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127815>. [cit. 2023-12-07].
- [6] KOTTNER, Sören; THALI, Michael J. a GASCHO, Dominic. Using the iPhone's LiDAR technology to capture 3D forensic data at crime and crash scenes. Online. *Forensic imaging (Online)*. 2023, roč. 32, s. 200535. ISSN 2666-2256. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fri.2023.200535>. [cit. 2023-12-07].
- [7] MILLER, Seth Higgins; HASHEMIAN, Alireza; GILLIHAN, Robert a BENES, Saylor. *Accuracy and Repeatability of Mobile Phone LiDAR Capture*. 2023. ISSN 0148-7191. Dostupné z: <https://doi.org/10.4271/2023-01-0614>.
- [8] DESAI, Jairaj; LIU, Jidong; HAINJE, Robert; OLEKSY, Robert; HABIB, Ayman et al. Assessing vehicle profiling accuracy of handheld lidar compared to terrestrial laser scanning for crash scene reconstruction. Online. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 2021, roč. 21, č. 23, s. 8076. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s21238076>. [cit. 2023-12-07].