

Polo-automatizovaná segmentácia rovín

Ing. Richard Honti,
Katedra geodézie,
Stavebná fakulta,
STU v Bratislave

Abstrakt

Automatizácia zberu dát a automatizácia procesov spracovania získaných údajov je aktuálnou problematikou. Výsledkom merania pomocou technológie terestrického laserového skenovania je mračno bodov, z ktorého sa vo väčšine prípadov tvorí 3D model, a práve preto je zefektívnenie procesov spracovania žiaduce. Pod spracovanie spadajú aj segmentácia, čo môžeme chápať, ako ekvivalent identifikácie geometrických útvarov v mračne bodov. Predkladaný príspevok obsahuje stručný popis jednotlivých metód na segmentáciu a návrh algoritmu na polo-automatizovanú segmentáciu rovín z mračien bodov. Navrhnutý algoritmus je založený na metóde RANSAC.

Semi-automated Segmentation of Planes

Abstract

Recently, attempts have been made to automate the data acquisition, which is also related to the efforts to automate data processing. The result of measurement by the technology of terrestrial laser scanning is a point cloud, and so the streamlining of data processing is desirable. Segmentation falls under processing and can be equivalent to the recognition of simple shapes in a point cloud. The paper briefly describes individual approaches to segmentation and proposes an algorithm for semi-automated plane identification and segmentation from point clouds. The proposed algorithm is based on RANSAC method.

Keywords: terrestrial laser scanning, point clouds, plane segmentation, RANSAC

1. Úvod

V súčasnosti, terestrické laserové skenovanie (TLS) sa stáva základnou metódou pre zber 3D údajov a tvorbu 3D modelov v rozmanitých oblastiach (napr. geodézia, topografia, mapovanie, navigácia, stavebníctvo, robotika, strojárstvo, kultúrne dedičstvo atď.). V dôsledku rapidného vývoja skenovacích technológií, určenie presnej priestorovej polohy bodov v rozsiahlych mračnách je možné vykonať relatívne jednoducho a rýchlo. Mračno bodov, ako výsledok skenovania, sa stáva čoraz viac používanou prvotnou digitálnou reprezentáciou reálnych objektov. S vývojom prístrojovej techniky, spracovanie získaných údajov sa stáva stále viac populárnou problematikou. Pre efektívne využitie meraných údajov (t. j. mračien bodov) je žiaduca automatizácia procesov spracovania, t. j. aj vývoj spracovateľských softvérov. Pod spracovaním mračien bodov najčastejšie rozumieme tvorbu 3D modelov meraných objektov. Dôležitou súčasťou pri tvorbe priestorových modelov je identifikácia častí v mračne bodov s rovnakými vlastnosťami (napr. body patriace do toho istého geometrického útvaru), teda jedným zo základných krokov spracovania je segmentácia. Automatizácia segmentácie uľahčuje samotné spracovanie a mnohonásobne skracuje čas potrebný na výpočet. Keďže vo väčšine prípadov získané mračno bodov predstavuje veľké množstvo údajov, efektívnosť spracovateľských algoritmov je veľmi dôležitá. Práve preto je príspevok venovaný tvorbe efektívneho a robustného algoritmu pre automatizovanú a presnú identifikáciu rovín v mračien bodov. Algoritmus je založený na metóde RANSAC (Random Sample Consensus) [1], ktorý dokáže vyselektovať rôzne geometrické tvary z mračna bodov, pri zachovaní popredných vlastností RANSAC-u, teda robustnosť, efektívnosť, jednoduchosť a presnosť.

Príspevok je venovaný vyvinutému algoritmu pre automatizáciu spracovania dát TLS pre identifikáciu a segmentáciu rovín z mračien bodov. Na základe vyvinutého algoritmu bola vytvorená samostatná aplikácia pre tento účel. Výhody uvedenej metódy sú zobrazené aplikovaním vyvinutého algoritmu na reálnych mračnách bodov.

V príspevku je uvedený stručný úvod do technológie TLS, popis segmentačného procesu a obsahuje krátky popis možných metód a prístupov na segmentáciu mračien bodov. Následne je predstavený vyvinutý algoritmus pre automatizovanú identifikáciu a segmentáciu rovín z mračien bodov. Keďže algoritmus je založený na metóde RANSAC, popis metódy RANSAC je tiež uvedený spolu s nevyhnutnými zmenami pre praktické využitie tejto metódy pre segmentácie rovín. V článku je ďalej možné nájsť testovanie a výsledky testovania vyvinutého algoritmu a popis vytvorenej samostatnej aplikácie.

2. Terestrické laserové skenovanie

Výhodou TLS je, že umožňuje bezkontaktnú dokumentáciu meraného objektu so všetkými jeho konštrukčnými prvkami bez potreby definovania charakteristických bodov na povrchu meraného objektu. Metóda merania je založená na bezkontaktnom určení priestorovej polohy bodov. Jednotlivé body sú merané neselektívne. Výsledkom merania je nepravidelný raster meraných bodov, ležiacich na povrchu meraného objektu, tzv. mračno bodov (obr. 1) [2], [3].

Mračno bodov do vysokej miery podrobnosti dokumentuje meraný objekt a slúži aj ako podklad na tvorbu priestorového modelu meraného objektu. Vo väčšine dneš-



Obr. 1 Mračno bodov

ných skenerov na určenie priestorovej polohy bodov sa používa priestorová polárna metóda [2], [3]. Všeobecný proces získavania informácií môžeme rozdeliť do troch hlavných krokov, prvým krokom je rekognoskácia terénu, meraného objektu, voľba stanovísk pre skenovanie a signalizácia vlíčovacích bodov, v prípade potreby. Druhým krokom je samotné meranie a posledným krokom je spracovanie meraných údajov (modelovanie, segmentácia, vizualizácia, tvorba grafov, atď.) [2], [3].

3. Segmentácia mračien bodov

Spracovanie mračien bodov a následná tvorba 3D modelov meraných objektov je veľmi aktuálnou problematikou. 3D modely s vysokou presnosťou hrajú dôležitú úlohu vo viacerých oblastiach, napr. dizajn interiéru (exteriéru), BIM (Building Information Modeling), informačný systém miest, dokumentácia skutočného vyhotovenia stavby, 3D kataster, atď. Segmentácia 3D mračien bodov je proces, pri ktorom sa jednotlivé body mračna triedia do niekoľkých homogénnych oblastí. Body v tej istej oblasti budú mať rovnaké vlastnosti. Segmentácia je náročný proces kvôli vysokej redundancii, nerovnomernej hustote mračna bodov a aj kvôli tomu, že mračno bodov často je zašumený, má nízku hustotu, body na povrchu skenovaného objektu majú nepravidelné rozloženie, alebo mračno obsahuje chýbajúce časti v dôsledku zákrytov a pod. Najbežnejšie segmentácie sú tie, ktoré triedia body, ktoré patria do tej istej roviny, valca alebo iného geometrického útvaru. Segmentácia potom môže byť ekvivalentom iden-

tifikácie jednoduchých geometrických útvarov v mračne bodov [4].

Odborníci v oblasti spracovania mračien bodov zaviedli rôzne prístupy na segmentáciu mračien bodov. Tieto metódy vo všeobecnosti môžeme deliť do piatich kategórií [5]:

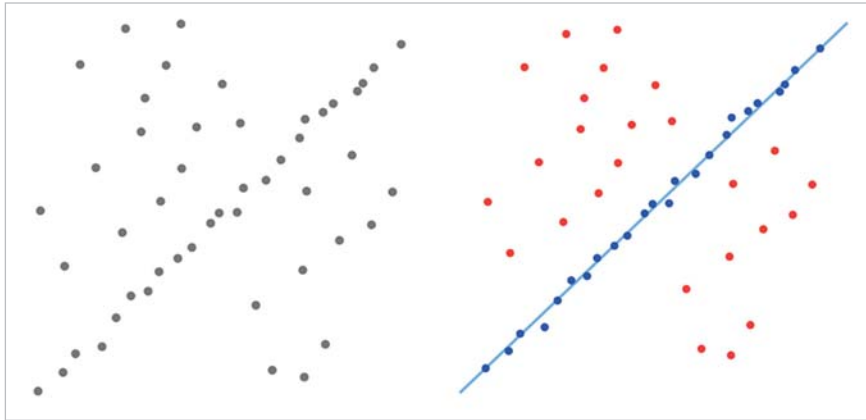
- metódy založené na identifikácii hrán („Edge-based methods“),
- metódy založené na identifikácii oblastí („Region-based methods“),
- metódy založené na atribútoch („Attributes-based methods“),
- metódy založené na modeloch („Model-based methods“),
- metódy založené na grafoch („Graph-based methods“).

4. Navrhnutý algoritmus na segmentáciu rovín z mračien bodov

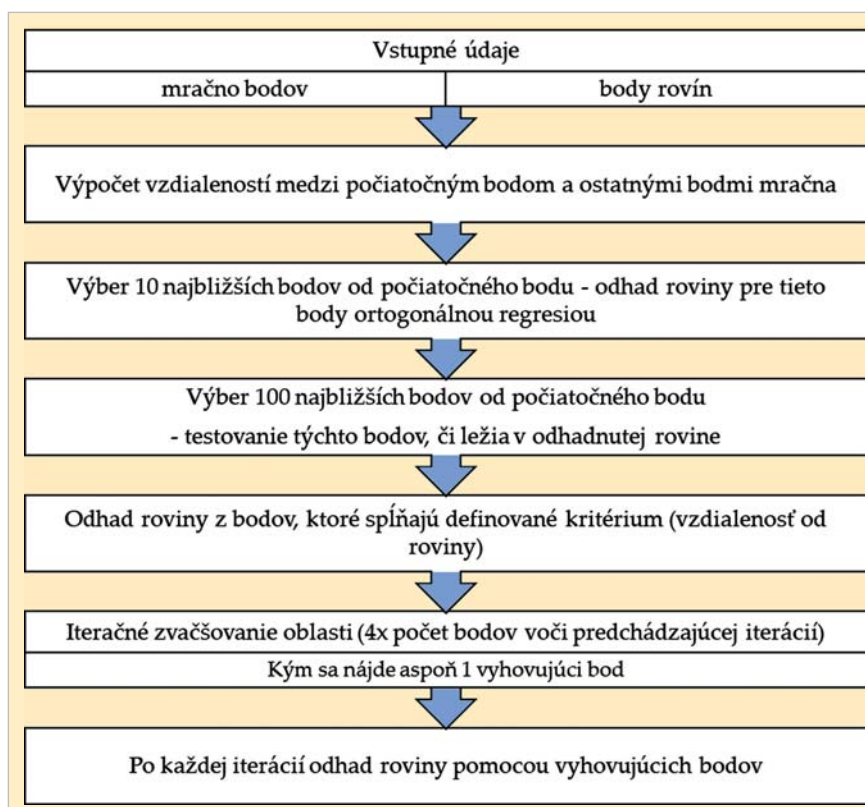
Vo všeobecnosti existuje veľa prístupov a metód na segmentáciu mračien bodov. Z hľadiska výpočtu a presnosti výsledkov metóda RANSAC je vhodnou metódou.

4.1 RANSAC

RANSAC (RANdom Sample Consensus) je iteratívna metóda na určenie parametrov matematického modelu z meraných údajov, ktoré obsahujú aj vybočujúce merania. Algoritmus bol prvýkrát publikovaný v [1]. RANSAC je založený na identifikácii odľahlých (vybočujúcich) meraní, a na následnom odhade parametrov matematického mo-



Obr. 2 Ukážka fitovania priamky pomocou RANSAC [6]



Obr. 3 Schéma výpočtu

delu na základe meraní, ktoré neobsahujú tieto vybočujúce merania. Pomocou metódy RANSAC je možné identifikovať a vyselektovať rôzne geometrické útvary z mračien bodov.

Príklad fitovania priamky na množinu bodov v 2D priestore pomocou RANSAC-u je zobrazené na obr. 2. V ľavej časti je zobrazená množina bodov, ktorá obsahuje aj vybočujúce údaje. V pravej časti s modrou farbou sú zobrazené vyhovujúce body a odhadnutá priamka, červenou farbou sú zobrazené údaje, ktoré pre odhad priamky sú nevyhovujúce, ale ako je vidno aj z obrázku, tieto body neovplyvnia odhad priamky pomocou RANSAC-u.

Výhodou metódy RANSAC je robustný odhad neznámych parametrov modelu s vysokou presnosťou aj v prípade vysokého percenta hrubých chýb (resp. vybočujúcich meraní). Nevýhodou je, že ak údaje vyhovujú pre dva

alebo viac modelov, metóda môže zlyhať a nenájde sa ani jeden model.

4.2 RANSAC pre segmentáciu rovín

Základom vyhotoveného algoritmu je metóda RANSAC, ale keďže táto metóda má svoje obmedzenia a nedostatky, pre účel segmentácie rovín z mračien bodov bolo potrebné zaviesť niekoľko modifikácií.

Vyhotovený algoritmus je definovaný nasledovne (schéma výpočtu je zobrazená na obr. 3): na začiatku sa vyberie 10 najbližších bodov (nie 3, ako pri RANSAC-u) k počiatočnému bodu, ktorý je potrebné zvoliť (nenáhodný výber počiatočných bodov oproti RANSAC-u). Počiatočný bod

pre každú rovinu je definovaný pomocou priestorových súradníc tohto bodu. Ďalším krokom je aproximácia tejto oblasti rovinou. Na odhad roviny sa využíva ortogonálna regresia. Následne sa vykonáva testovanie ostatných bodov mračna, či ležia v odhadnutej rovine, tzn. zväčšovanie oblasti roviny („region growing“) vybratím geometricky kompatibilných bodov s odhadnutou rovinou. V prvej iterácii sa zo 100 najbližších bodov vyberú tie body, ktoré spĺňajú kritérium vzdialenosti (pri nami zvolenej prahovej hodnote), v ďalšej iterácii počet bodov na testovanie sa zvýši na 400, následne na 1 600, atď. Teda v každej iterácii zvyšujeme počet bodov na testovanie kvadraticky (4x) (RANSAC testuje každý bod jednotlivo). Algoritmus potom pri zväčšovaní oblasti (testovaní bodov, či ležia v odhadnutej rovine) využíva vždy rovinu, ktorá bola odhadnutá v predchádzajúcej iterácii.

Rovina je prepočítaná po každej iterácii pomocou všetkých bodov, ktoré spĺňajú kritérium ortogonálnej vzdialenosti od odhadnutej roviny. Iteratívny výpočet prebieha dovtedy, kým sa oblasť roviny prestane rásť.

Výhodou uvedeného postupu je, že testovanie vykonávame vždy na najbližších bodoch, nie na náhodne vybraných ako pri metóde RANSAC. Okrem toho, počet bodov na testovanie v každej iterácii zvyšujeme kvadraticky, čo znamená, že algoritmus sa postupne zrýchľuje. Po vybratí všetkých bodov danej roviny, tieto body sa vyberú z mračna a pri hľadaní ďalších rovín sa počíta iba so zvyšnými bodmi. Tento krok tiež výrazne zníži čas, ktorý je potrebný na výpočet. Celý výpočet sa zopakuje n -krát, kde n je počet rovín mračna bodov, ktoré chceme segmentovať.

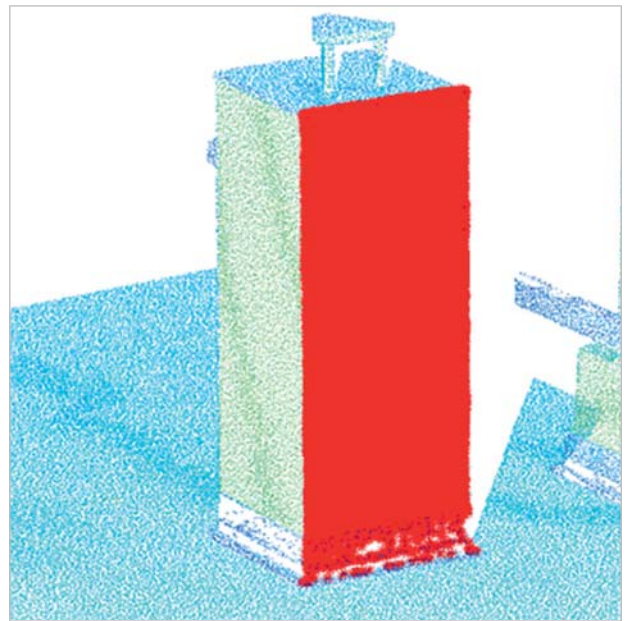
5. Overenie funkčnosti navrhnutého algoritmu

Na overenie funkčnosti bola vykonaná segmentácia na mračne miestnosti geodetického laboratória Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave (obr. 1). Pribeh aplikácie je možné vidieť na obr. 3 a 4. Z obrázkov vyplýva, že síce pri „region growing“ procese, sa vyberú aj také body na testovanie, ktoré nepatria do danej roviny, tieto body sú vylúčené počas testovania, a rovina sa odhadne iba na základe kompatibilných bodov.

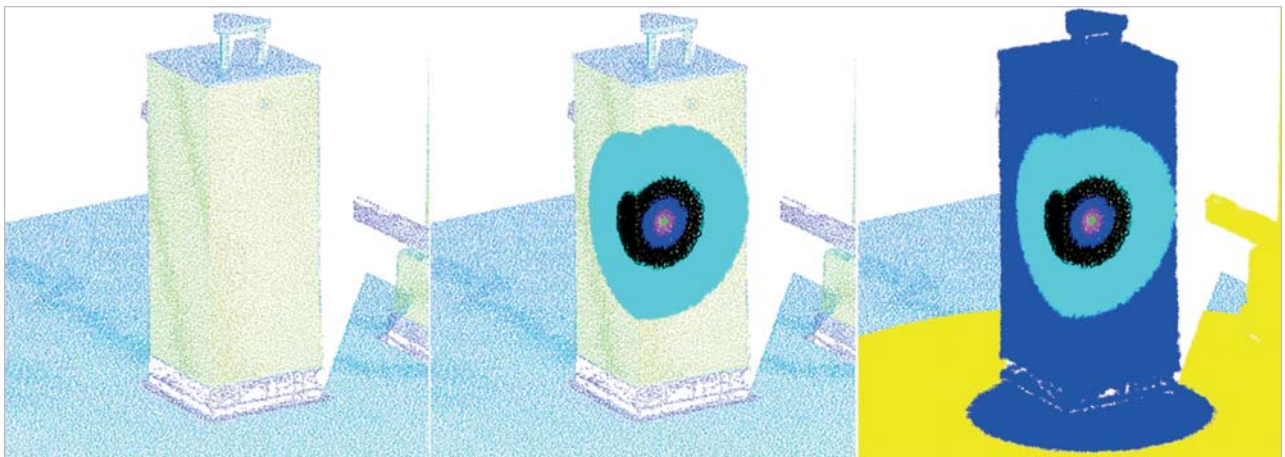
Obr. 4 zobrazuje merané mračno bodov a proces postupného zväčšovania oblasti roviny, tzn. proces výberu

bodov na testovanie okolo zvoleného počiatočného bodu. V strede a vpravo obr. 4 je zobrazený vybraný počiatočný bod (v strede oblasti) a 102 400 najbližších bodov, teda postup vyberania najbližších bodov na testovanie. Iteratívny výber bodov na testovanie je farebne odlišený zelenou farbou – 10, fialovou – 100, tmavo modrou – 400, čiernou – 1 600, bledo modrou – 6 400, tmavo modrou – 25 600, žltou – 102 400 bodov.

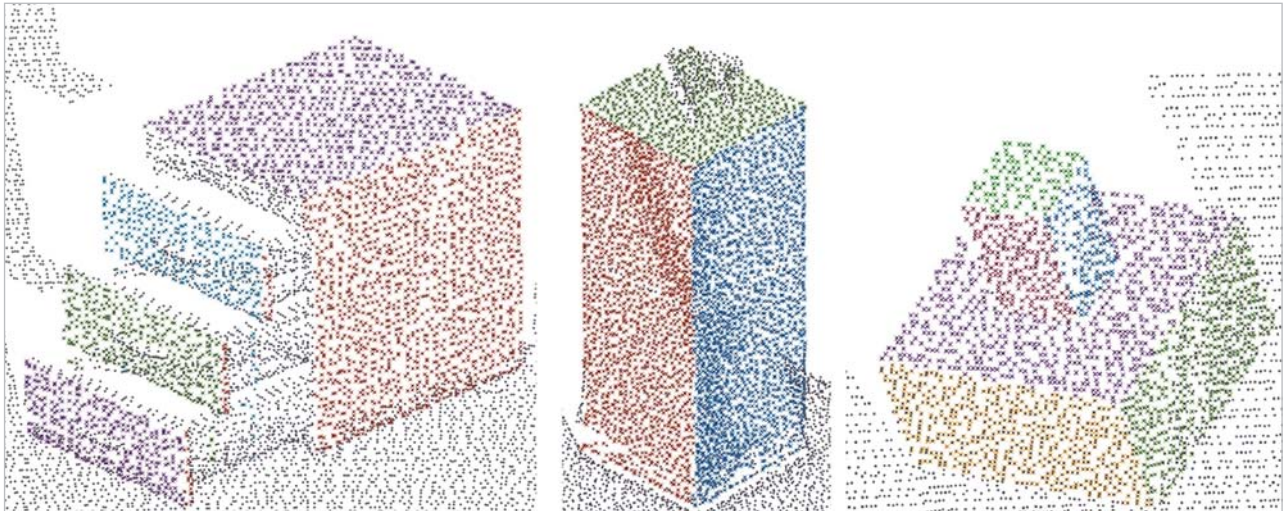
Obr. 5 zobrazuje vstupné mračno bodov, a červenou farbou sú zobrazené body segmentovanej roviny pri 5 mm prahovej hodnote (ortogonálna vzdialenosť bodov od odhadnutej roviny). Na obr. 6 sú zobrazené detaily segmentovania, vľavo jednotlivé roviny skrinky, v strede jednotlivé roviny piliera a vpravo segmentované roviny kocky. Na obr. 6 vľavo sú zobrazené jednotlivé roviny skrinky (časť mračna bodov geodetického laboratória). Mračno skrinky je tvorené cca. 25 500 bodmi a skladá sa zo 6-ich rovín. Segmentácia bola vykonaná s 5 milimetrovou prahovou hodnotou. Štandardná odchýlka vypočítaná na základe ortogonálnych vzdialeností bodov od odhadnutej



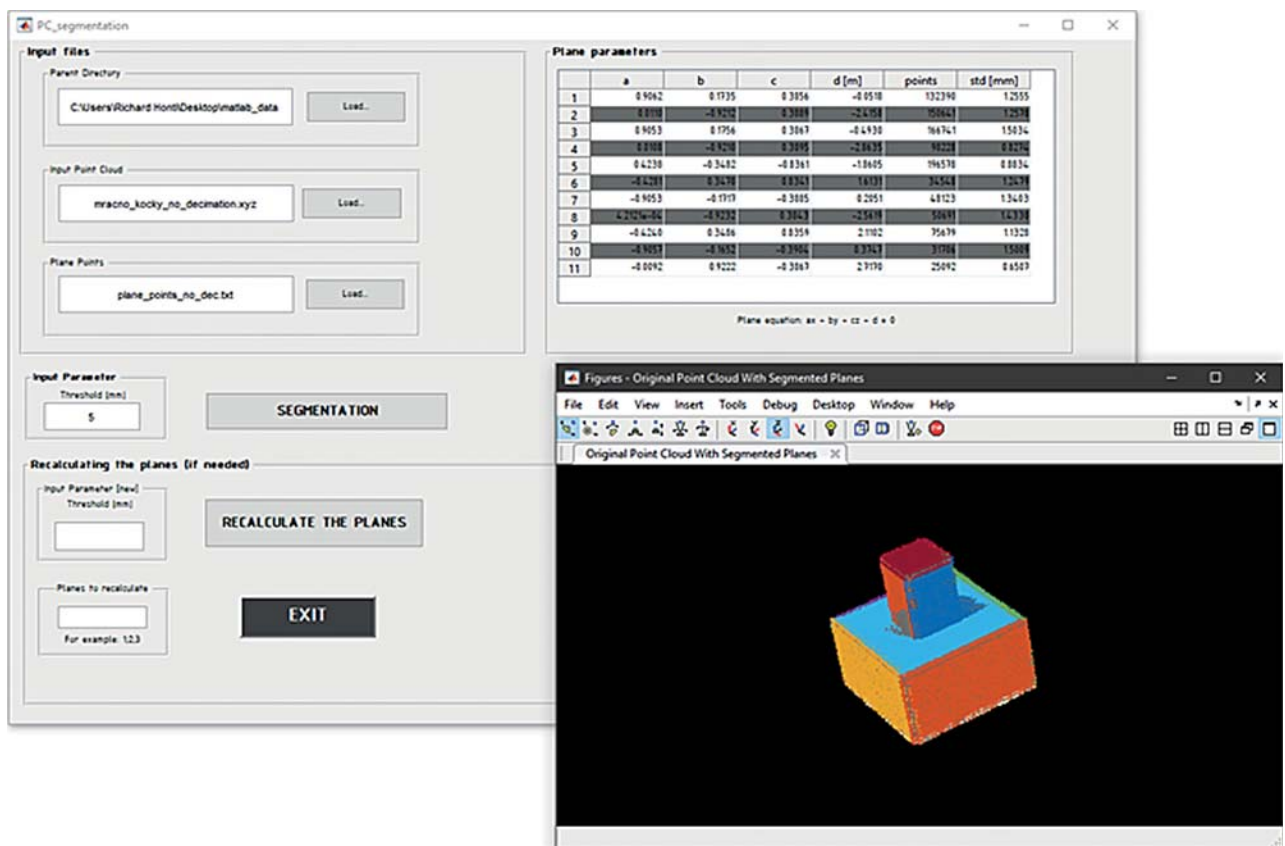
Obr. 5 Odhadnutá rovina pomocou uvedeného algoritmu



Obr. 4 Merané mračno bodov (vľavo), postupné zväčšovanie oblasti okolo vybraného počiatočného bodu (v strede – 6 400 bodov, vpravo – 102 400 bodov)



Obr. 6 Detaily segmentácie



Obr. 7 Dialógové okno aplikácie PC_segmentation

roviny bola v každom prípade menšia ako 1,2 mm. Výsledkom segmentácie mračna bodov skrinky bolo 6 rovín s celkovým počtom bodov 23 385, čo znamená, že do segmentačného procesu nebolo zahrnuté 2 115 bodov (body, ktoré nie sú súčasťou charakteristických rovín skrinky, ako napr. úchytky skrinky a pod.). Vynechané body predstavujú iba 8,29 % z celkového počtu bodov.

S vyššie popísaným algoritmom na segmentáciu sa dosiahlo výrazné zníženie času, keďže po segmentácii danej roviny, sa tieto body vyberú z mračna, teda postupne máme menej a menej bodov na testovanie.

6. Realizácia navrhnutého algoritmu

Uvedený segmentačný proces kladie vysoké nároky na spracovateľský systém ako aj na samotného operátora. Pre automatizáciu uvedenej procedúry, bola vyhotovená samostatná aplikácia „PC_segmentation“ (obr. 7) v softvéri Matlab®.

Aplikácia bola vyhotovená ako samostatná aplikácia, ale keďže výpočtové jadro aplikácie prebieha v softvéri Matlab®, k spusteniu aplikácie je potrebné mať nainštalovaný Matlab Runtime. Výhodou je, že Matlab Runtime je

voľne stiahnuteľný. Práca aplikáciou je veľmi intuitívna, pomocou tlačidiel aplikácie, užívateľ dokáže jednoducho vykonať automatizovanú segmentáciu rovín z mračna bodov. Výsledkom aplikácie sú segmentované mračná bodov jednotlivých rovín uložené v textovom (*.txt) súbore a parametre jednotlivých rovín zobrazené v tabuľke dialógového okna aplikácie. Parametrami jednotlivých rovín sú prvky normálového vektora roviny (a, b, c, d), počet bodov použitých na odhad danej roviny (*points*), stredná chyba odhadnutej roviny (*std*).

Na obr. 7 je zobrazené dialógové okno aplikácie po vykonaní segmentácie. V pravom hornom rohu je zobrazená tabuľka s parametrami segmentovaných rovín. V pravom dolnom rohu je dialógové okno, kde je zobrazené pôvodné mračno bodov a počas priebehu aplikácie sú postupne zobrazené segmentované roviny. Jednotlivé roviny sú farebne odlišené. Toto dialógové okno môže slúžiť aj na vizuálnu kontrolu priebehu aplikácie (t. j. či segmentácia jednotlivých rovín bola vykonaná korektne).

7. Záver

V dnešnej dobe využitie TLS a následná vizualizácia, resp. tvorba priestorových modelov má veľkú perspektívu nie len v oblasti geodézie, ale aj v rôznych iných oblastiach, ako sú navigácia, rekonštrukcia objektov, vnútorných priestorov, robotika a pod. Možnosť automatizovaného spracovania výsledkov meraní získaných TLS ako aj automatizovaná tvorba priestorových modelov je veľkou výhodou. Pri tvorbe priestorových modelov identifikácia jednotlivých geometrických tvarov v mračnách bodov a segmentácia mračen bodov predstavuje dôležitú časť.

V príspevku sú uvedené možné metódy a prístupy na segmentáciu mračen bodov. Je popísaný navrhnutý algoritmus na automatizovanú identifikáciu a segmentáciu rovín z mračen bodov. Algoritmus je založený na metóde RANSAC, ale kvôli nedostatkom tejto metódy bolo potrebné zaviesť modifikácie, ktoré sú tiež uvedené v článku. Na základe uvedeného algoritmu bola vyhotovená samostatná aplikácia pre účel automatizovanej segmentácie

rovín z mračen bodov. Pomocou aplikácie „PC_segmentation“ je možné vykonať segmentáciu rovín jednoducho, rýchlo, robustne a presne aj v prípade mračen bodov, ktoré majú nerovnomernú hustotu a sú zašumené. Parametre jednotlivých rovín sú počítané pomocou singularného rozkladu matice (Singular Value Decomposition), ktorého výhodou je, že nie je potrebné znalosť približných hodnôt jednotlivých parametrov. Celý proces segmentácie prebehne za pár minút, kým sa výpočty popísané v časti 4.2. sú vykonané automatizovane pre všetky roviny (približne 850 000 bodov), ktoré sú definované s ich počiatočnými bodmi.

Podakovanie

Článok vznikol vďaka podpore Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied pre projektu VEGA-1/0506/18.

LITERATÚRA:

- [1] FISCHLER, M. A.-BOLLES, R. C.: Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, *Communications of ACM*, 1981.
- [2] KOPÁČIK, A.-ERDÉLYI, J.-KYRINOVÍČ, P.-LIPTÁK, I.-LUKÁČ, Š.: Geodézia v priemysle, Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016, 207 p.
- [3] ERDÉLYI, J.-KOPÁČIK, A.-KYRINOVÍČ, P.-LIPTÁK, I.: „Automation of Point Cloud Processing to Increase the Deformation Monitoring Accuracy,“ *Applied Geomatics*, zv. 9.
- [4] VOSELMAN, G.-MAAS, H.-G.: *Airborn and Terrestrial Laser Scanning*, Dunbeath: Whittles Publishing, 2010, 318 p.
- [5] NGUYEN, A.-LE, B.: 3D Point Cloud Segmentation: A survey, „6th IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM)“, 2013, pp. 225-230.
- [6] RANSAC, „Wikipedia,“ [Online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Random_sample_consensus. [Cit. 14.06.2018].

Do redakcie došlo: 14. 6. 2018

Lektoroval:
Ing. Jiří Lechner, CSc.,
VÚGTK, v. v. i.