

**Ing. Richard Honti**

Autoreferát dizertačnej práce

**VÝVOJ EFEKTÍVNYCH ALGORITMOV NA  
SEGMENTÁCIU GEOMETRICKÝCH ÚTVAROV  
Z MRAČIEN BODOV**

na získanie akademického titulu Philosophiae doctor (PhD.)

**v doktorandskom študijnom programe:**

5.1.3 geodézia a kartografia  
(číslo a názov študijného programu)

**v študijnom odbore:**

5.1.3 geodézia a kartografia  
(číslo a názov študijného odboru)

**Forma štúdia:**

denná forma

**Miesto a dátum:**.....

Dizertačná práca bola vypracovaná na Katedre geodézie Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

**Predkladateľ:** Ing. Richard Honti  
Katedra geodézie  
Stavebná fakulta, STU v Bratislave  
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

**Školiteľ:** prof. Ing. Alojz Kopáček, PhD.  
Katedra geodézie  
Stavebná fakulta, STU v Bratislave  
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

**Oponenti:** prof. Ing. Martin Štroner, PhD.  
Katedra špeciálnej geodézie  
Fakulta stavební, ČVUT v Prahe  
Thákurová 7, 166 29 Praha

doc. Dr. Ing. Jana Ižvotová  
Katedra geodézie  
Stavebná fakulta, ŽU v Žiline  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

doc. Ing. Jiří Bureš, PhD.  
Ústav geodézie  
Fakulta stavební, VUT v Brně  
Antonínská 548/1, 601 90 Brno

**Autoreferát bol rozoslaný:** .....  
(dátum rozoslania)

**Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa 31.08.2021 o 9:00 h (online).**

na Katedre geodézie SvF STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislava.  
(presná adresa miesta konania obhajoby dizertačnej práce)

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.  
dekan stavebnej fakulty STU v Bratislava

## Úvod

V posledných dekádach sme mohli zaznamenať obrovský nárast automatizácie a informatizácie procesov v rozmanitých oblastiach. Zámerom automatizácie môže byť napr. zvýšenie efektivity a produktivity, optimalizácia procesov, zbavenie sa manuálne vykonaných opakovaných úloh a zníženie času potrebného na vykonanie danej činnosti. Podobný trend automatizácie procesov je možné zaznamenať aj v oblasti geodézie. So zvyšujúcimi sa požiadavkami na efektívnosť sa do popredia dostávajú moderné technológie, ako je napríklad aj technológia terestrického laserového skenovania (TLS), ktorá patrí medzi najefektívnejšie metódy zberu priestorových údajov a tvorby 3D modelov. Pomocou TLS možno zaznamenať obrovskú množinu údajov o meranom objekte za relatívne krátky časový okamih. Manuálne spracovanie tejto obrovskej množiny údajov je ale časovo veľmi náročný proces, práve z tohto dôvodu jedným zo základných predpokladov efektívneho využitia technológie TLS je vysoká miera automatizácie procesov spracovania.

Dizertačná práca na začiatku sa zaoberá stručným priblížením technológie TLS. Opisuje problematiku merania a spracovania údajov získaných pomocou TLS. Ďalej sa venuje príprave mračien bodov na spracovanie, potom sú predstavené možné metódy a prístupy na filtráciu mračien bodov. V ďalšej kapitole je predstavený dnešný trend v oblasti segmentácie mračien bodov. Segmentácia patrí medzi základné kroky spracovania mračien bodov, keďže väčšina stavebných objektov je tvorená práve zo základných geometrických primitív, ako sú rovina, valec, sféra apod. V takom prípade, segmentácia môže byť ekvivalentom identifikácie geometrických útvarov z mračien bodov. V rámci tretej kapitoly dizertačnej práce je popísaný návrh algoritmov na filtráciu mračien bodov. Štvrtá kapitola obsahuje návrh algoritmov na segmentáciu geometrických útvarov (rovín, sfér a valcov) z mračien bodov. Samostatná kapitola je venovaná realizácii samostatných aplikácií na základe navrhnutých algoritmov a experimentálnemu testovaniu týchto algoritmov na scénach s rôznou komplexnosťou.

### 1. Terestrické laserové skenovanie

V dnešnej dobe laserové skenovanie je bežnou súčasťou geodetickej praxe. Technológia TLS je jedna z najefektívnejších metód zberu 3D údajov a tvorby 3D modelov.

Pomocou tejto technológie je možné transformovať meraný objekt z reálneho priestoru do podoby virtuálneho modelu v počítači.

Výhodou technológie TLS je, že umožňuje bezkontaktnú dokumentáciu meraného objektu so všetkými jeho konštrukčnými prvkami bez potreby definovania charakteristických bodov na povrchu meraného objektu. Pri metóde TLS hovoríme o neselektívnej metóde merania, keďže rozmiestnenie meraných bodov je neselektívne v rasti, ktorý je definovaný pravidelnými uhlovými rozstupmi vo vodorovnom a zvislom smere. Súradnice charakteristických bodov získame až pri modelovaní. Ďalšou výhodou je efektivita zberu údajov, keďže rýchlosť skenovania pomocou súčasných skenerov dosahuje až 2 milióny bodov za sekundu, čo umožňuje výrazné zefektívnenie prác v teréne. V súčasnosti väčšina TLS s dosahom väčším ako 2 m pracuje na princípe priestorovej polárnej metódy. Výpočet priestorovej polohy bodu prebieha na základe meraného horizontálneho smeru (resp. z vypočítaného horizontálneho uhla), zenitového uhla a šikmej dĺžky [1] a [2].

Výsledkom merania pomocou TLS je množina bodov tzv. mračno bodov. Mračno bodov (z angl. Point Cloud) je možné definovať ako množinu bodov, ktoré ležia na povrchu meraného objektu rozložených v rasti s pravidelným uhlovým rozstupom vo vodorovnom a zvislom smere. Mračno bodov do vysokej miery podrobnosti dokumentuje meraný objekt a slúži aj ako podklad na tvorbu priestorového modelu meraného objektu. Môžeme ho považovať za virtuálny model meraného objektu v bodovej reprezentácii, práve preto častokrát ani nie je potrebné vyhotoviť komplexný 3D model.

Po vykonaní skenovania pomocou TLS, ostáva posledný krok procesu získavania informácií, teda spracovanie mračna bodov. Pod pojmom spracovanie mračien bodov najčastejšie rozumieme tvorbu komplexných 3D modelov meraného objektu.

Spracovanie mračien bodov možno deliť do 2 krokov [1] a [3]:

- 1. Adjustácia mračien.** Ide v podstate o prípravu mračien na spracovanie. Patria sem procesy ako sú transformácia (registrácia) mračien, odstránenie nadbytočných bodov a vybočujúcich údajov, filtrácia a redukcia údajov, priradenie farieb, konverzia do požadovaného dátového formátu.
- 2. Modelovanie, vizualizácia a analýza.** Ide predovšetkým o vytvorenie 3D modelu meraného objektu alebo jeho častí. Pri modelovaní dôležitým krokom spracovania je

selektovanie (segmentácia) časti (podmnožín bodov), ktoré prislúchajú daným častiam mračna (napr. určitým konštrukčným prvkom, ako sú steny, potrubia, stĺpy a pod.). Okrem toho sem patria aj analýzy, ako napr. určovanie objemov, určovanie geometrických parametrov, analýza posunov a pretvorení. Spracovanie môže obsahovať aj tvorbu vizualizácie výsledkov.

## **2. Ciele dizertačnej práce**

Cieľom predkladanej dizertačnej práce je preskúmanie aktuálneho stavu v oblasti spracovania mračien bodov, konkrétne v oblasti filtrácie a v oblasti segmentácie mračien bodov, návrh a realizácia algoritmov na filtráciu mračien bodov a na segmentáciu geometrických primitív z mračien bodov, vykonanie testovania, overenia funkčnosti a hodnotenie efektivity vytvorených algoritmov.

- 1) Návrh efektívneho algoritmu na filtráciu mračien bodov.
- 2) Návrh efektívnych algoritmov na segmentáciu geometrických primitív z mračien bodov.
- 3) Realizácia navrhnutých algoritmov.
- 4) Testovanie, analýza a hodnotenie efektivity navrhnutých algoritmov na scénach s rôznou komplexnosťou.

## **3. Návrh algoritmov na filtráciu mračien bodov**

Mračná bodov získané TLS, alebo aj inými metódami, vo väčšine prípadov sú zaťažené značným množstvom šumu a odľahlých bodov, ktoré len zbytočne zaťažujú proces spracovania mračien. Práve preto je vhodné pred spracovaním vykonať filtráciu mračna. Pod pojmom filtrácia v tomto prípade sa rozumie proces identifikácie a odstránenie vybočujúcich bodov (resp. šumu) z mračna bodov.

V rámci predkladanej dizertačnej práce boli navrhnuté 2 typy algoritmov na rýchlu filtráciu mračien, ktoré slúžia hlavne ako kroky predspracovania pred procesom segmentácie geometrických útvarov z mračien bodov, ale v niektorých prípadoch môžu slúžiť aj ako samotné filtračné kroky mračna. Navrhnuté algoritmy patria medzi filtračné metódy založené na susedstve, a konkrétne je to filtračný algoritmus na základe lokálnej hustoty

mračna (LHM), a filtračný algoritmus na základe lokálnej variácie normál (z angl. local normal variation - LNV) v blízkom okolí bodu.

### 3.1. Algoritmus na filtráciu na základe lokálnej hustoty mračna

Základným krokom algoritmu je stanovenie veľkosti okolia bodu (susedstva), v ktorom sa určujú jednotlivé parametre a realizujú sa zvolené operácie. V prípade navrhnutých algoritmov sa to vykoná voľbou počtu  $k$  najbližších susedov.

V prvom kroku sa počítajú priestorové vzdialenosti medzi bodmi mračna pre každý jeden bod vo zvolenom susedstve. V ďalšom kroku na výpočet LHM v každom bode mračna je možné použiť 2 spôsoby. Prvým, jednoduchším spôsobom je výpočet LHM na základe priemernej vzdialenosti ku  $k$  najbližším bodom (hodnota  $k$  je závislá od voľby užívateľa) podľa 3.1.

$$LHM_i^1 = \frac{1}{k} \sum_{j=2}^k vzd_j \quad (3.1)$$

kde  $LHM_i^1$  je lokálna hustota mračna v bode  $i$  vypočítaná na základe vzdialeností,  $k$  – je zvolený počet najbližších bodov, a  $vzd_j$  je vzdialenosť k bodu  $j$ .

Pri druhom spôsobe LHM sa určuje na základe rozloženia a počtu bodov v sférickom susedstve daného bodu [4] podľa vzťahu (3.2). Táto sférická oblasť je tiež definovaná voľbou počtu  $k$  najbližších bodov.

$$LHM_i^2 = \frac{k}{\pi vzd_k^2} \quad (3.2)$$

kde  $LHM_i^2$  je lokálna hustota mračna počítaná na základe počtu bodov v sférickom susedstve,  $k$  je zvolený počet najbližších bodov, a  $\pi vzd_k^2$  je plošný obsah kruhu so stredom vo vybranom bode  $p_i$  a s polomerom  $vzd_k$ , ktorý je definovaný vzdialenosťou ku  $k$  najbližšiemu bodu  $p_k$ .

V ďalšom kroku sa vykoná samotná filtrácia. Platí, že šum resp. odľahlé body vo všeobecnosti majú nižšiu hodnotu LHM, ako body, ktoré ležia na povrchu záujmového

objektu (vo väčšine prípadov spojitá plocha). V nasledujúcom kroku algoritmu sa zvolí prahová hodnota, na základe ktorého budú odfiltrované odľahlé body z mračna bodov, t. j. body ktoré majú nižšiu hodnotu, ako zvolená prahová hodnota. Voľba prahovej hodnoty môže byť závislá od hustoty mračna, od priemernej hodnoty LHM v danom mračne.

### 3.2. Algoritmus na filtráciu na základe lokálnej variácie normál

V tomto prípade filtrácia mračna sa vykoná výpočtom tzv. lokálnej variácie normál (z angl. *local normal variation* - LNV) v danom bode vzhľadom na zvolené susedstvo. Susedstvo sa zvolí rovnako, ako to bolo pri predošlom filtri, t. j. voľbou počtu  $k$  najbližších susedov. Následne sa vypočítajú jednotkové normálové vektory v každom bode mračna použitím malých lokálnych rovinných plôch z priestorových súradníc daného bodu a  $k$ -najbližších bodov. Odhad roviny sa vykonáva pomocou ortogonálnej regresie. LNV sa následne určuje porovnaním normál v danom bode so susednými bodmi.

V prvom kroku sa vypočíta skalárny súčin medzi normálovým vektorom v určovanom bode a medzi normálovými vektormi v  $k$ -najbližších bodoch. Následne LNV sa určí ako priemerná hodnota skalárneho súčinu normálových vektorov z  $k$ -najbližších bodov podľa 3.3:

$$LNV_i = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dotNorm_i \quad (3.3)$$

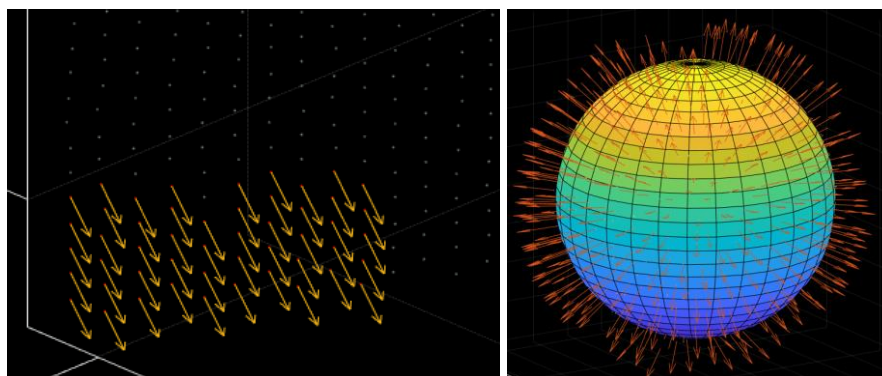
Z výpočtovej geometrie je známe, že pre skalárny súčin dvoch vektorov platí rovnica 3.4:

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \|\mathbf{a}\| \cdot \|\mathbf{b}\| \cdot \cos\theta \quad (3.4)$$

kde  $\|\mathbf{a}\|$  a  $\|\mathbf{b}\|$  je veľkosť vektorov a  $\theta$  je uhol medzi vektormi  $\mathbf{a}$ , a  $\mathbf{b}$ .

Okrem toho je známe, že z hodnoty skalárneho súčinu je možné určiť či sú 2 vektory kolmé, resp. rovnobežné. V prípade, že 2 vektory sú na seba kolmé, uhol, ktorý zvierajú bude mať hodnotu  $\theta = 90^\circ$ , následne ich skalárny súčin sa rovná 0 ( $\cos\theta = \cos 90^\circ = 0$ ). Veľkosť vektorov v tomto prípade zanedbávame, keďže ide o jednotkové vektory, ktorých veľkosť je 1. Ďalej pri 2 rovnobežných vektorech ich skalárny súčin sa rovná 1 ( $\cos\theta = \cos 0^\circ = 1$ ). Túto skutočnosť je možné využiť aj v prípade filtrácie mračien bodov, keďže body, ktoré

ležia v jednej rovine budú mať rovnobežné normálové vektory, samozrejme s určitou toleranciou (Obr. 3.1), t. j. hodnota LNV bude blízke 0 (keďže hodnota LNV kvôli jednoduchosti výpočtu sa počíta ako 1 – priemerná hodnota skalárnych súčinov). Takisto body ktoré ležia na nejakej zakrivenej ploche budú mať vyššie hodnoty LNV, rozličné od 0. Na **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** je znázornený smer normálových vektorov v danom susedstve v prípade rovinatej plochy a v prípade sférickej plochy.



Obr. 3.1 Ilustrácia normálových vektorov v bodoch ležiacich v jednej rovine (vľavo) a na sférickej ploche (vpravo)

V prípade, že je potrebné vybrať body, ktoré pravdepodobne ležia na povrchu rovinatej plochy, vykoná sa filtrácia bodov, kde hodnota LNV (vyjadrené v stupňoch) dosahuje väčšie hodnoty ako  $1^\circ$ . Naopak, ak chceme vybrať body, ktoré pravdepodobne ležia na povrchu zakrivenej plochy, vykoná sa filtrácia bodov, kde hodnota LNV dosahuje menšie hodnoty ako  $1^\circ$ .

#### 4. Návrh algoritmov na segmentáciu mračien bodov

Pri spracovaní mračien na tvorbu 3D modelov hovoríme o nahradení jednotlivých častí mračna 3D modelmi tak, aby výsledný model čo najvernejšie znázorňoval skenovaný objekt [1]. Mračno bodov sa vo väčšine prípadov spracováva po častiach, t. j. výsledný model sa skladá z niekoľkých čiastkových modelov. Stavebné objekty sa najčastejšie skladajú zo základných geometrických primitív, ako sú rovina, valec, sféra a pod. Práve preto je dôležité identifikovať a rozdeliť mračno na časti (podmnožiny bodov) na základe definovaných kritérií, ako napr. na základe toho k akému geometrickému útvaru jednotlivé podmnožiny mračna prislúchajú.



V rámci riešenia predkladanej dizertačnej práce a v rámci výskumu na Katedre geodézie Stavebnej fakulty STU v Bratislave boli navrhnuté algoritmy na segmentáciu geometrických útvarov z mračien bodov, ktoré boli inšpirované prístupmi a metódami uvedenými v rámci dizertačnej práce. Na základe navrhnutých algoritmov možno vykonať identifikáciu a segmentáciu podmnožín bodov, ktoré prislúchajú k jednotlivým rovinným (kap. Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.), sférickým (kap. Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.) a valcovým útvarom (kap. Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.).

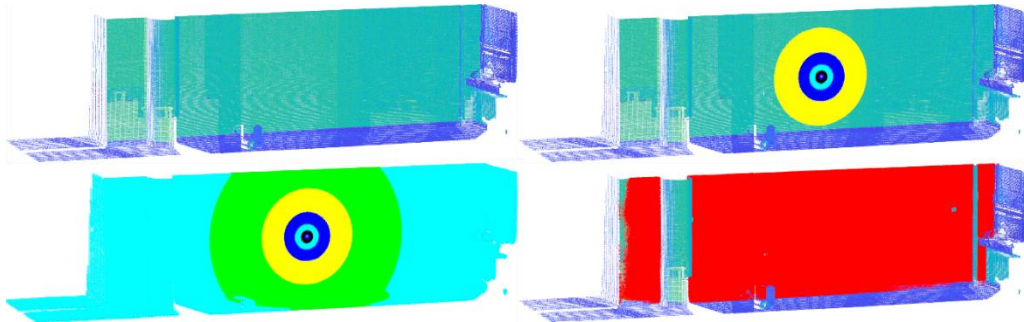
#### **4.1 Segmentácia rovín z mračien bodov**

Algoritmus na segmentáciu rovín z mračien bodov [5] je kombináciou prvkov modifikovaného RANSAC algoritmu [6] a metódy povrchov. Vstupom do algoritmu sú mračno bodov, predpokladaný maximálny počet rovín a prahové hodnoty pre vzdialenostný a normálový filter.

Na začiatku algoritmu, čo môžeme považovať za predspracovania mračna, sa vykoná výpočet normálových vektorov v každom bode mračna na základe malých lokálnych rovinných plôch zo súradníc daného bodu a  $k$  najbližších bodov ( $k = 100$ ). Následne sa odhadnú hodnoty lokálnej variácie normál (LNV) v každom bode mračna a na základe týchto hodnôt sa vyberú body, v ktorých sa predpokladá výskyt roviny. Tieto body s nízkou hodnotou LNV (t. j. variácia orientácie normálového vektora v blízkom susedstve je nízka) sa použijú ako počiatočné body pri segmentácii jednotlivých rovín.

Prvý odhad približných parametrov roviny je vykonaných z 20 najbližších bodov k náhodne vybranému počiatočnému bodu z množiny bodov, kde sa predpokladá výskyt roviny. Tento model je testovaný voči vybraným  $k$  najbližším susedom, pričom sú identifikované body, ktorých kolmá vzdialenosť od roviny je menšia ako definovaná prahová hodnota. Okrem toho na vylúčenie nekorektných odhadov sa vykoná výber bodov na základe normálového filtra. Za vyhovujúce body sa považujú body v ktorých uhol medzi normálovým vektorom v danom bode (určeným na základe malých lokálnych rovinných plôch na začiatku algoritmu) a normálovým vektorom odhadnutej regresnej roviny je menšia ako zvolená prahová hodnota. Parametre modelu sú znova odhadnuté použitím všetkých identifikovaných bodov (vyhovujúcich). Výpočet prebieha iteračne pri postupnom zväčšovaní počtu  $k$  najbližších susedov v jednotlivých iteráciách. Na odhad parametrov

roviny ortogonálna regresia je použitá. Iteračné testovanie najbližších bodov a odhad parametrov roviny je ukončený, ak počet bodov na testovanie dosiahne počet bodov mračna, alebo parametre odhadnutého modelu (roviny) sa nezmenia signifikantne medzi poslednými dvomi iteráciami.



Obr. 4.1 Iteračné zväčšovanie k najbližším bodov

Keďže odhad roviny je silno závislé od voľby počiatočného bodu a okolia tohto bodu, bolo potrebné zaviesť niekoľko validačných krokov na vylúčenie nekorektných odhadov. Okrem toho kvôli automatizácii segmentácie do algoritmu bol zavedený maximálny počet pokusov odhadu, ktorý slúži na uľahčenie voľby maximálneho počtu rovinných útvarov v mračne. Výsledkom algoritmu sú parametre segmentovaných rovín, ktorými sú: parametre normálového vektora roviny ( $a, b, c$ ) parameter roviny  $d$ , počet bodov ležiacich v danej rovine, štandardná odchýlka odhadu roviny a segmentované mračná jednotlivých rovín.

## 4.2 Segmentácia sfér z mračien bodov

Priebeh algoritmu na segmentáciu sfér [7] je podobný s algoritmom na segmentáciu rovín. Vstupom do algoritmu sú mračno bodov, predpokladaný maximálny počet sfér a prahové hodnoty pre vzdialenostný a normálový filter. Prvé 2 kroky algoritmu sú totožné s algoritmom na segmentáciu rovín, t. j. výpočet normálových vektorov, a následne výpočet LNV a výber bodov v ktorých sa predpokladá výskyt sférickej plochy.

Prvý odhad parametrov je vykonaný z 100 najbližších bodov k náhodne vybranému počiatočnému bodu z bodov, kde sa predpokladá výskyt sféry. Odhad parametrov je vykonaný pomocou metódy geometrického fitovania, ktorá minimalizuje ortogonálne vzdialenosti bodov od sféry. Odhadnuté približné parametre sférickej plochy sa následne použijú v iteračnom procese spresňovania odhadu a aktualizácie množiny vyhovujúcich bodov. Aktualizácia množiny vyhovujúcich bodov sa realizuje na základe vzdialenostného

filtra, t. j. sú takisto identifikované body (z celého mračna bodov) v ktorých vzdialenosť od povrchu odhadnutej sféry je menej ako zvolená prahová hodnota. Okrem toho v poslednej iterácii sa vykoná ešte aktualizácia množiny vyhovujúcich bodov (resp. filtrácia nevyhovujúcich bodov) na základe normálového filtra.

Iteračný výber vyhovujúcich bodov pre danú sféru a prepočítavanie parametrov sféry sa vykonáva až kým nie sú vybrané všetky body danej sféry, alebo kým nie je splnená niektorá z podmienok na prerušenie výpočtu. V prípade splnenia aspoň jedného z uvedených podmienok, výpočet sa preruší a následne sa začne nový výpočtový cyklus s novým náhodne vybraným počiatočným bodom. Validácia, resp. uvedené podmienky prerušenia výpočtu sú potrebné z dôvodu, že výsledok odhadu sféry je priamo závislý od počiatočného bodu a okolitej oblasti (takisto ako to bolo pri segmentácii rovín). Podobne ako pri rovinách bol zavedený maximálny počet pokusov odhadu. Výsledkom algoritmu sú parametre pre segmentované sféry, ktorými sú parametre odhadnutej sféry  $(c[c_x; c_y; c_z], r)$  počet vyhovujúcich bodov, a štandardná odchýlka fitovania sférickej plochy. Okrem toho k výsledkom patria segmentované mračná jednotlivých sfér.

### 4.3 Segmentácia valcov z mračien bodov

Algoritmus navrhnutý na automatizovanú segmentáciu valcov z mračien bodov [8] je možné zaradiť medzi metódy modelov a využíva prvky Houghovej transformácie [9].

Vstupné údaje algoritmu sú podobné ako to bolo pri predchádzajúcich algoritmoch, t. j. mračno bodov, prahové hodnoty pre testovanie (výber vyhovujúcich bodov) – pre vzdialenostný filter a normálový filter, a predpokladaný maximálny počet valcov v mračne.

Po načítaní údajov nasleduje obdobne, ako v prípade segmentácie rovín a sfér, výpočet normálových vektorov a LNV vo všetkých bodoch mračna – výber bodov na základe hodnôt LNV, kde sa predpokladá výskyt valcovej plochy.

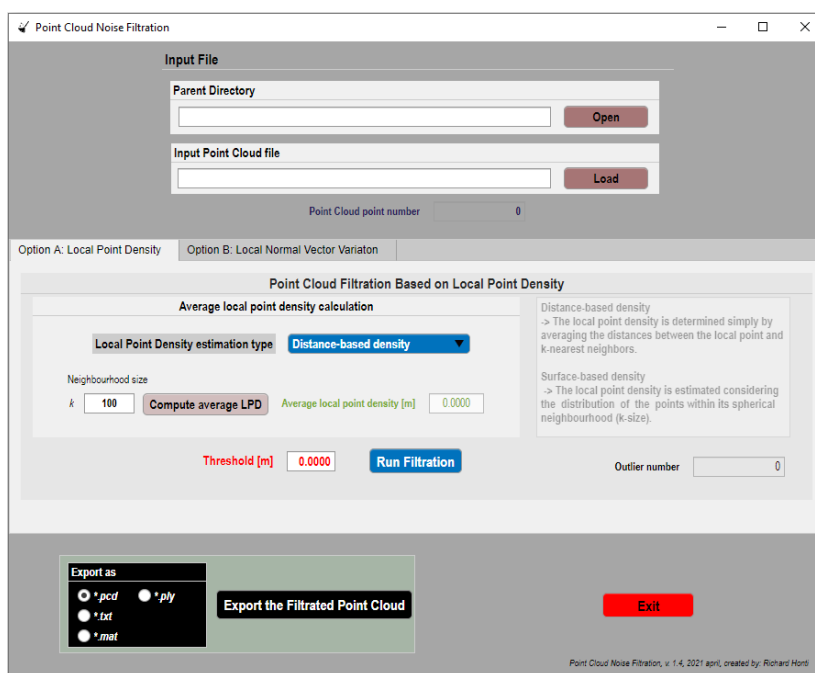
Takisto prvý odhad približných parametrov valcovej plochy je vykonaný zo 100 najbližších bodov k náhodne vybranému bodu z bodov, kde sa predpokladá výskyt valcovej plochy na základe lokálnej variácie normálových vektorov v danom susedstve. Algoritmus pokračuje výberom vyhovujúcich bodov pre daný valec a prepočítavaním parametrov iba z podmnožiny bodov, kde sa predpokladá výskyt valca. Výber vyhovujúcich bodov sa

vykonáva podobne na základe vzdialenostného a normálového filtra. Následne po vybratí všetkých bodov pre daný valec z uvedenej podmnožiny, sú pridané body z celého mračna, ktoré vyhovujú daným kritériám a sú vypočítané finálne parametre valcovej plochy. Bolo zavedených niekoľko validačných krokov pre vylúčenie nekorektných odhadov a takisto bol zavedený maximálny počet pokusov odhadu. Výsledkami algoritmu sú parametre valca (orientácia osi valcovej plochy, polomer plášte valcovej plochy, súradnice bodu na osi valca, výška valcovej plochy), počet vyhovujúcich bodov a štandardná odchýlka fitovania valcovej plochy.

## 5. Realizácia a testovanie navrhnutých algoritmov

### 5.1 Realizácia a testovanie algoritmov na filtráciu mračien bodov

Pre čiastočnú automatizáciu procesu filtrácie bola vytvorená samostatná aplikácia Point Cloud Noise Filtration v softvéri Matlab®. Dialógové okno aplikácie je na Obr. 5.1.



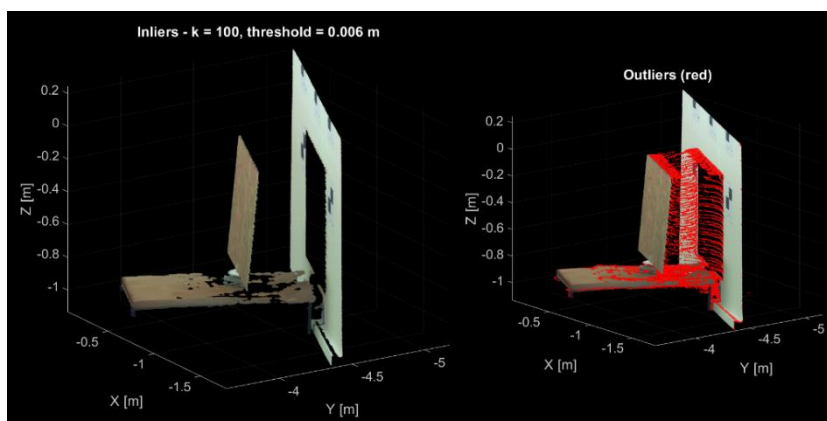
Obr. 5.1 Dialógové okno aplikácie **Point Cloud Noise Filtration** – časť filtra LHM

Dialógové okno aplikácie je rozdelená do 3 hlavných častí. Prvá časť (*Input File*) slúži na načítanie vstupného mračna vo formáte \*.txt, \*.xyz alebo \*.pts. Stredná časť slúži na vykonanie samotnej filtrácie, táto časť je rozdelená na 2 častí. Na filtráciu na základe lokálnej hustoty mračna (*Option A: Local Point Density*), a na filtráciu na základe lokálnej variácie normálových vektorov (*Option B: Local Normal Vector Variation*). Pri filtrácií na základe lokálnej hustoty mračna cez rolovacie okno sa dá vybrať z 2 možností výpočtu

hodnôt LHM, buď na základe vzdialeností ( $LHM^1 - (3.1)$ ), alebo na základe rozloženia bodov v sférickom susedstve ( $LHM^2 - (3.2)$ ). V tejto časti sa zvolí veľkosť susedstva (voľbou počtu  $k$  najbližších bodov), následne sa vypočítajú parametre mračna (buď priemerná hodnota LHM, alebo v prípade LNV filtra, maximálna, minimálna a priemerná hodnota LNV v mračne). Na základe týchto hodnôt sa dá následne zvoliť prahová hodnota na filtráciu. V prípade, že výsledok filtrácie je neprijateľný so zvolenou prahovou hodnotou, je možné si zmeniť prahovú hodnotu a vykonať filtráciu na novo, až kým nedosiahneme očakávaný výsledok.

Spodná časť aplikácie slúži na export výsledkov filtrácie. Export je možné vykonať do viacerých formátov, konkrétne do \*.pcd, \*.ply, \*.mat, \*.txt.

Experimentálne testovanie nami navrhnutého algoritmu na filtráciu bola vykonaná na viacerých mračnách bodov, ukážka filtrácie mračne bodov z testovania TLS (konkrétne z testovania vplyvu skenovania hrán blízkych objektov), kde najvýraznejšie sú zastúpené vybočujúce body spôsobené skenovaním hrán okolo testovacej dosky, a okrem toho aj nad povrchom stola, kde bola položená doska.

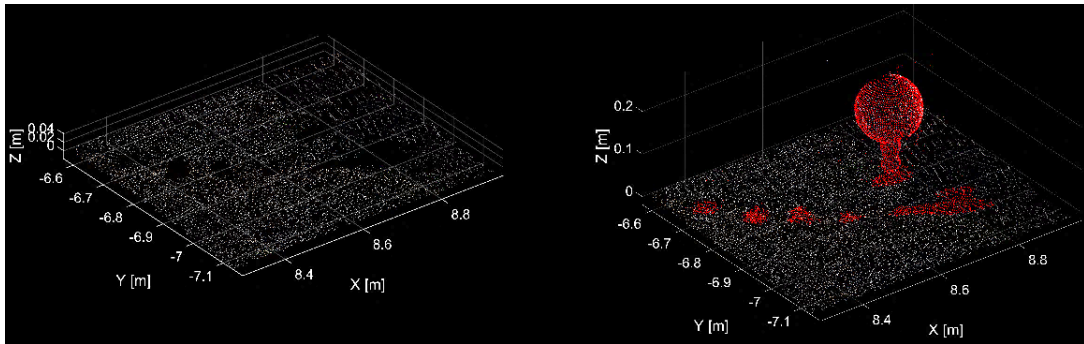


Obr. 5.2 Výsledok filtrácie na základe LHM

Výsledky filtrácie sú zobrazené na Obr. 5.2, kde vľavo je zobrazené mračno po filtrácii a vpravo pôvodné mračno bodov s vybočujúcimi bodmi (červená farba). Ako to vyplýva aj z Obr. 5.7, vybočujúce body pomocou uvedeného algoritmu boli odstránené z mračna.

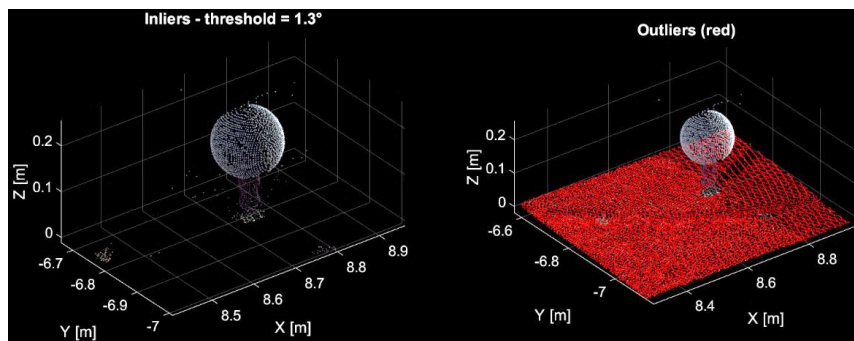
Ďalej bolo vykonané experimentálne testovanie filtračného algoritmu LNV. Takisto bolo použitých niekoľko mračen bodov pri testovaní. Jednoduchá ukážka filtrácie časti mračna priemyselnej budovy je znázornená na Obr. 5.3. Na Obr. 5.3 vpravo boli vyselektované body, ktoré ležia na povrchu rovinatej plochy (hodnota LNV v týchto bodov bola menšia ako  $1^\circ$ ),

t. j. boli odstránené body, ktoré ležia na povrchu zakrivenej plochy (v tomto prípade na povrchu cieľových značiek – referenčných sfér) – Obr. 5.3 vľavo červenou farbou.



Obr. 5.2 Výsledok filtrácie na základe LNV filtra – výber bodov, ktoré ležia na povrchu roviny

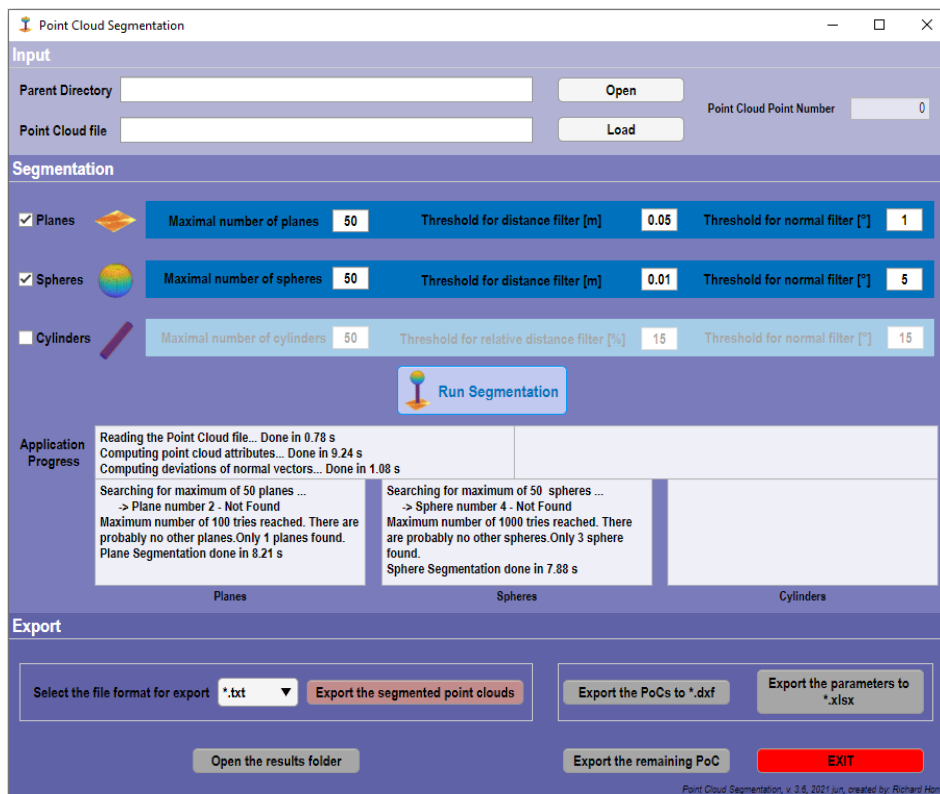
Samozrejme veľa krát je potrebné práve naopak vyselektovať iba body, ktoré neležia v rovine, či už sa jedná o hrany alebo nejaké zakrivené plochy, napr. sféry. Ukážka filtrácie bodov, ktoré ležia v rovine pomocou nami navrhnutého algoritmu je znázornená na Obr. 5.3.



Obr. 5.3 Výsledok filtrácie na základe LNV filtra – výber bodov, ktoré ležia na povrchu zakrivenej plochy

## 5.2 Realizácia a testovanie algoritmov na segmentáciu mračen bodov

Na základe algoritmov navrhnutých na segmentáciu geometrických útvarov z mračen bodov bola tiež vykonaná realizácia samostatnej softvérovej aplikácie v softvéri Matlab®. Dialógové okno aplikácie je zobrazené na Obr. 5.4. Tiež je rozdelená na 3 hlavné časti: horná časť slúži na načítanie vstupného mračna vo formáte \*.txt, \*.xyz, \*.pts, \*.pcd, \*.ply, \*.mat. Druhá časť aplikácie (*Segmentation*) slúži na vykonanie samotnej segmentácie geometrických útvarov. V ľavej časti je potrebné si zvoliť geometrické útvary, ktorých segmentácia je požadovaná. Zakliknutím kolónky s popisom napríklad *Planes* vyberieme segmentáciu rovín, tým pádom je možné si zadať vstupné parametre pre segmentáciu (prahové hodnoty a očakávaný maximálny počet rovín). Rovnako to platí pre sféry a valce.

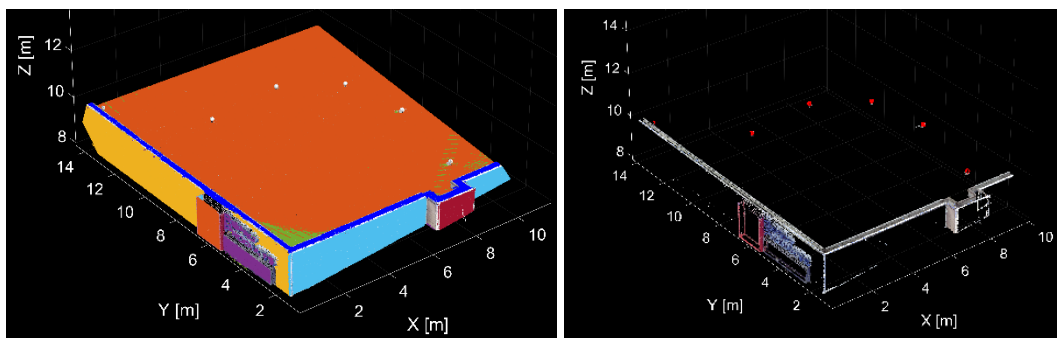


Obr. 5.4 Dialógové okno aplikácie **Point Cloud Segmentation**

Po vybratí požadovaných geometrických útvarov na segmentáciu samotná segmentácia sa spustí s tlačítkom *Run Segmentation*. Počas priebehu aplikácie do časti *Application Progress* sa postupne zobrazí priebeh aplikácie (vid'. Obr. 5.4) - vypíšu sa prebiehajúce operácie aplikácie a po ich dokončení sa vypíše čas, za ktorý algoritmus vykonal danú operáciu.

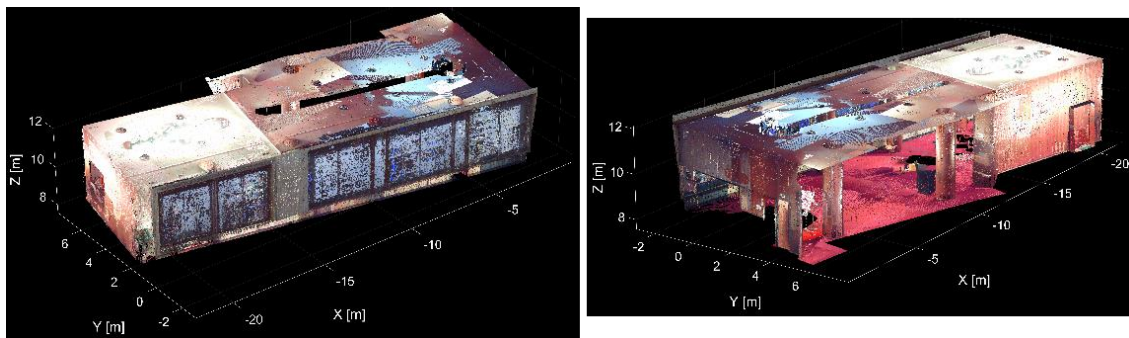
Tretia časť aplikácie (*Export*) slúži na vyexportovanie výsledkov segmentácie. V pravej časti je možné vykonať export segmentovaných mračien jednotlivých geometrických útvarov do samostatných súborov do rôznych formátov (dostupné formáty na export sú rovnaké ako pri načítaní súborov). Okrem exportu segmentovaných mračien, veľkou výhodou je, že pomocou tlačítka *Export the PoCs to \*.dxf* je možné vyexportovať výsledok segmentácie priamo do formátu \*.DXF, ktorý je CAD výmenný formát. Ďalšou výhodou aplikácie je, že v súbore DXF pre uľahčenie ďalších prác s výsledkami segmentácie sú jednotlivé segmentované mračná rozdelené do samostatných vrstiev. Ďalej je možné vykonať export parametrov segmentovaných geometrických útvarov do Excelovského súboru. A takisto je možné vyexportovať zvyšné mračno bodov, ktoré ostalo po segmentácií.

Experimentálne testovanie realizovanej aplikácie **Point Cloud Segmentation** na základe navrhnutých algoritmov bola vykonaná na viacerých mračnách bodov s rôznou hustotou, komplexnosťou, členitosťou a „zašumenosťou“. Ukážka výsledku segmentácie rovín a sfér z mračna bodov priemyselnej budovy (cca. 820 tisíc bodov) je zobrazená na Obr. 5.5. Na Obr. 5.5 vľavo je zobrazené pôvodné mračno bodov so segmentovanými rovinami, ktoré sú farebne odlíšené. Na Obr. 5.5 vpravo sú zobrazené segmentované sféry (červenou farbou) do zvyšného mračna, ktoré ostalo po segmentácii 12 rovín.

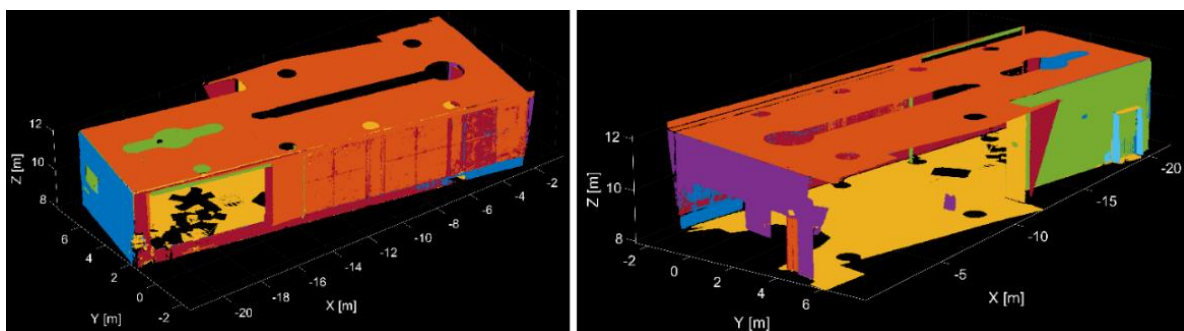


Obr. 5.5 Výsledok segmentácie rovín a sfér z mračna pomocou navrhnutej aplikácie

Ukážka segmentácie rovín a valcov z mračna bodov miestnosti budovy divadla P. O. Hviezdoslava v Bratislave je znázornená na Obr. 5.6, 5.7 a 5.8. Pôvodné mračno bodov z dvoch pohľadov je zobrazené na Obr. 5.6. Mračno bodov obsahovala cca. 2 milióny bodov.



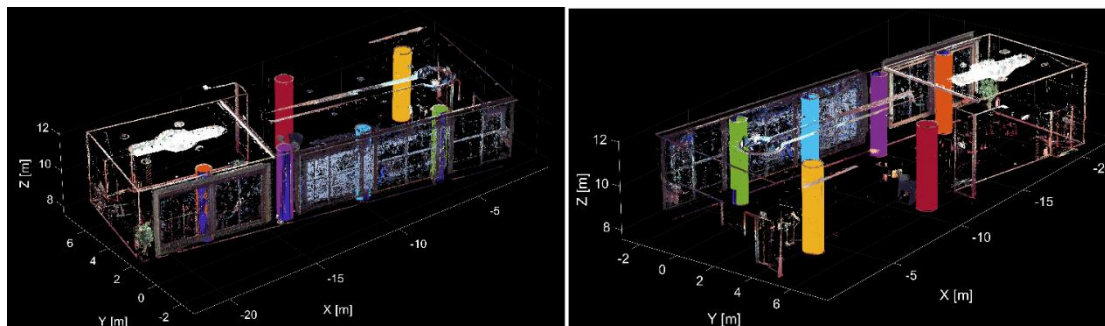
Obr. 5.6 Pôvodné mračno bodov časti budovy divadla z dvoch pohľadov



Obr. 5.7 Segmentované roviny mračna časti divadla



Na Obr. 5.7 sú zobrazené farebne odlíšené segmentované roviny (22 rovín) mračna a na Obr. 5.8 do zvyšného mračna sú zobrazené segmentované valce (7 valcov), ktoré sú tiež farebne odlíšené.



Obr. 5.8 Zvyšné mračno bodov so segmentovanými valcami

Na základe uvedených príkladov môžeme konštatovať, že pomocou uvedenej aplikácie je možné vykonať automatizovanú segmentáciu geometrických útvarov z mračien bodov pri potrebe nastavenia minimálneho počtu vstupných parametrov. Výsledkami segmentácie (jednotlivé mračná bodov) je možné ukladať do rôznych formátov, okrem toho je možné uložiť parametre jednotlivých útvarov a takisto je možné vykonať export do CAD formátu (\*.dxf), ktoré je možné nasledovne použiť pri ďalšom spracovaní mračna, napr. pri tvorbe priestorových modelov, veľkou výhodou je, že mračná jednotlivých geometrických útvarov sú ukladané do samostatných vrstiev.

## 6. Splnenie cieľov a prínos dizertačnej práce pre vedu a prax

Ciele dizertačnej práce boli sformulované do štyroch bodov, ktoré sú popísané v druhej kapitole.

### 6.1 Zhodnotenie splnenia cieľa č. 1

Návrh efektívneho algoritmu na filtráciu mračien bodov je podrobne popísaný v dizertačnej práci v kap. 3. Hlavným cieľom dizertačnej práce bol návrh algoritmov na segmentáciu geometrických útvarov z mračien bodov, práve preto aj algoritmy na filtráciu mračien bodov boli navrhnuté tak, aby bolo možné ich implementovať do uvedených algoritmov a aby prispievali k efektívnosti týchto algoritmov. V prvom rade bol navrhnutý algoritmus na filtráciu mračien na základe lokálnej hustoty mračna v jednotlivých bodoch. Uvedený algoritmus je účinný pri filtrácii šumu, ktorá vzniká v dôsledku skenovania hrán blízkych objektov, čo je častým prípadom. Okrem toho ponúka možnosť filtrácie riedkeho

šumu v mračne. Okrem toho bol použitý aj v rámci algoritmu na segmentáciu rovín, kde pomocou neho je možné vylúčiť niektoré nekorektne odhadnuté roviny, ktoré nereprezentujú charakteristické časti mračna. Ďalší algoritmus bol navrhnutý tak, aby na základe neho bolo možné filtrovať časti mračna, kde sa predpokladá výskyt vybraného geometrického útvaru, od častí, kde sa predpokladá výskyt iného geometrického útvaru (t. j. v prípade hľadania rovín, filtrácia častí, kde sa predpokladá, že sa nachádza nejaká zakrivená plocha). Pre tento účel bol navrhnutý algoritmus na filtráciu mračna na základe lokálnej variácie normálových vektorov. Samozrejme uvedený algoritmus je možné použiť aj samostatne v prípade, že je potrebné odfiltrovať rovinné časti z mračna, resp. hrany z mračna a pod.

## **6.2 Zhodnotenie splnenia cieľa č. 2**

Hlavným cieľom dizertačnej práce, ako to už bolo čiastočne uvedené bol návrh efektívnych algoritmov na segmentáciu geometrických primitív z mračien bodov, pričom v rámci jej riešenia boli navrhnuté tri algoritmy a konkrétne algoritmus na segmentáciu rovín, na segmentáciu sfér a na segmentáciu valcov z mračna. V kapitole 4 dizertačnej práce sú popísané jednotlivé algoritmy. Algoritmus na segmentáciu rovín a sfér bol v istej miere inšpirovaný metodikou algoritmu RANSAC a algoritmus na segmentáciu valcov možno zaradiť medzi segmentačné metódy založené na modeloch a využíva niektoré prvky Houghovej transformácie. Avšak bolo potrebné zaviesť rôzne modifikácie, napr. náhodný výber počiatočného bodu, v ktorom sa začne výpočet nie je vykonaný z celého mračna, ale iba z podmnožiny bodov kde sa predpokladá výskyt daného geometrického útvaru (roviny, sféry alebo valca) (daná podmnožina sa vyberá na základe navrhnutého filtra lokálnej variácie normál). Okrem toho pri rovinách testovanie bodov, či ležia v odhadnutej rovine sa vykonáva na veľkom množstve najbližších bodov, a nie na jednotlivých bodoch, ktoré sa vyberajú náhodne. V prípade algoritmu na segmentáciu sfér testovanie bodov sa vykoná na celom mračne naraz v niekoľkých iteráciách. A v prípade valcov testovanie v prvom kroku sa vykoná iteračne iba na podmnožine, kde sa predpokladá výskyt valcovej plochy a následne na celom mračne naraz. Vo všetkých troch prípadoch testovanie bodov, či ležia na povrchu odhadnutého útvaru sa vykonáva na základe dvoch kritérií (kritérium pre vzdialenosť od povrchu daného útvaru a kritérium pre orientáciu normálového vektora v danom bode). Táto skutočnosť výrazne prispela k vylúčeniu nekorektných odhadov a k spresneniu odhadu. Keďže výsledok odhadu je silne závislý na voľbe počiatočného bodu

a okolia tohto bodu, bolo potrebné zaviesť niekoľko validačných krokov (resp. zastavovacích podmienok), ktoré sa líšia podľa typu geometrického útvaru a sú podrobne popísané v uvedených kapitolách. Do jednotlivých algoritmov bola tiež pridaná zastavovacia podmienka na základe maximálneho počtu pokusov odhadu. Vďaka uvedenej podmienke nie je potrebné si zvoliť presný počet daného útvaru v mračne, keďže v prípade voľby väčšieho počtu ako je v mračne, algoritmus po poslednej korektnej segmentácii útvaru, vykoná ešte určitý počet pokusov odhadu, a v prípade že nie je možné vykonať korektnú segmentáciu ďalšieho útvaru, algoritmus preruší výpočet. Táto podmienka bola dôležitá z dôvodu, že vo väčšine prípadov nie je známe presný počet jednotlivých útvarov v mračne. Všetky algoritmy boli naprogramované v softvéri Matlab®, sú plne funkčné a boli z nich vytvorené aj samostatné aplikácie.

### **6.3 Zhodnotenie splnenia cieľa č. 3**

Realizácia navrhnutých algoritmov bola vykonaná v softvéri Matlab®. Boli vytvorené 2 samostatné aplikácie spolu s užívateľským rozhraním. Pomocou aplikácie na filtráciu mračien bodov s názvom *Point Cloud Filtration* je možné jednoducho vykonať filtráciu mračna buď na základe lokálnej hustoty mračna v jednotlivých bodoch alebo na základe lokálnej variácie normálového vektora v danom bode vzhľadom na zvolené susedstvo. Druhou aplikáciou je aplikácia na automatizovanú segmentáciu geometrických útvarov z mračna, ktorý má názov *Point Cloud Segmentation*. Uvedená aplikácia slúži na automatizáciu a jednoduché vykonanie segmentácie rovín, sfér a valcov (aj naraz viacerých útvarov) z mračna efektívne a robustne pri voľbe minimálneho počtu vstupných parametrov (ktoré sú aj preddefinované). Zároveň aplikácia ponúka možnosť exportu segmentovaných mračien do rôznych formátov, aby ich bolo možné načítať do rozličných softvérov. Okrem toho je možné export výsledku aj do CAD výmenného formátu (\*.dxf) aby v prípade ďalšieho spracovania bolo možné výsledok segmentácie priamo načítať do CAD softvérov. Pomocou nami navrhnutej aplikácie je možné vykonať export parametrov jednotlivých geometrických útvarov do excelovskej tabuľky.

### **6.4 Zhodnotenie splnenia cieľa č. 4**

Pri oboch typoch algoritmov (algoritmy na filtráciu a algoritmy na segmentáciu) ich testovanie bolo vykonané na rôznych dátach s rôznou veľkosťou, komplexnosťou, s rôznym typom a množstvom šumu a vybočujúcich údajov. Výsledky uvedených testov sú

podrobne popísané v dizertačnej práci v kap. 5.1.1 pre filtračné a v kap. 5.2.1 pre segmentačné algoritmy. Výsledky experimentálnych testov poukazujú, že navrhnuté algoritmy sú plne využiteľné v oblasti spracovania mračien bodov pre scény s rôznymi charakteristikami. Okrem toho pri návrhu a realizácii algoritmov bol kladený veľký dôraz na optimalizáciu výpočtovej náročnosti.

## 6.5 Prínos dizertačnej práce pre vedu a prax

Hlavný prínos dizertačnej práce spočíva v návrhu komplexného a inovatívneho algoritmu na segmentáciu viacerých geometrických primitív z mračna bodov naraz a automatizovane pri potrebe voľby minimálneho počtu vstupných parametrov.

Celkový prínos predkladanej práce pre vedu a prax v oblasti spracovania mračien bodov možno stanoviť v nasledujúcich bodoch:

- Práca okrem návrhu algoritmov obsahuje tiež sumarizáciu existujúcich metód a prístupov pre filtráciu a segmentáciu mračien bodov spolu s ich základnými princípmi, charakteristikami, čo môže byť užitočné pri výbere vhodnej metodológie, resp. pri návrhu a tvorbe podobných algoritmov. Uvedená sumarizácia tvorí akúsi základnú bázu informácií o uvedenej problematike.
- Návrh efektívnych algoritmov na filtráciu mračien bodov, ktoré boli použité aj v rámci algoritmov na segmentáciu ale taktiež je možné ich samostatné využitie. Algoritmy práve z dôvodu efektívnosti boli navrhnuté tak, aby bol čo najjednoduchšie. Filtrácia na základe lokálnej hustoty mračna je prospešný v prípade riedkeho šumu alebo v prípade šumu, ktorá vzniká v dôsledku skenovania hrán blízkych objektov. Pomocou filtra na základe LNV je možné vyselektovať napr. rovinné časti, (resp. časti kde sa nepredpokladá výskyt roviny), alebo je možné odfiltrovať hrany.
- Algoritmy na segmentáciu geometrických útvarov (konkrétne rovín, valcov a sfér) z mračien bodov boli navrhnuté tak, aby boli využiteľné pre rôzne mračná bodov s rôznymi charakteristikami a aby boli zároveň efektívne.
- Navrhnuté algoritmy môžu byť využiteľné v ďalšom výskume, ako je napr. automatizovaná kontrola skutočného vyhotovenia stavebných objektov využitím technológie TLS, kedy sa porovnajú napríklad geometrické parametre z projektu

(najčastejšie z BIM modelu) s reálnym stavom (zber údajov pomocou TLS). Prípadne navrhnuté algoritmy môžu byť prekódované do programátorských jazykov a tak použiteľné v komerčných aplikáciách. Okrem toho veľkou výhodou nami navrhnutej aplikácie je, že pri exporte výsledkov segmentácie do \*.dxf súboru rozdelí jednotlivé geometrické útvary do vrstiev, čo môže prispieť k výraznému zefektívneniu tvorby priestorových modelov v CAD softvéroch, čo má narastajúci význam dnes kvôli informačnému modelovaniu stavieb, kvôli digitalizácii a tvorbe digitálnych dvojčiat jednotlivých stavieb.

## Záver

V dnešnej dobe využitie TLS a následná vizualizácia meraných údajov (resp. tvorba priestorových modelov) má veľkú perspektívu nie len v oblasti geodézie a stavebníctva (napr. pre účely ako sú rekonštrukcia objektov, vnútorných priestorov, dokumentácia, resp. kontrola skutočného vyhotovenia stavebných objektov a pod.), ale aj v rôznych iných oblastiach ako sú architektúra, strojárstvo, robotika, archeológia a rôzne iné. V posledných rokoch môžeme zaznamenať veľký nárast záujmu o automatizáciu a zefektívnenie rôznorodých procesov vo viacerých oblastiach, platí to aj pre spracovanie mračien bodov.

Výsledkom riešenia dizertačnej práce sú okrem komplexného popisu jednotlivých prístupov na filtráciu a segmentáciu mračien bodov navrhnuté algoritmy na filtráciu mračien bodov na základe lokálnej hustoty mračna alebo na základe lokálnej variácie normálového vektora v danom bode. Pomocou uvedených filtračných algoritmov je možné vykonať filtráciu riedkeho šumu a šumu, ktorá vzniká dôsledku skenovania hrán blízkych objektov, ďalej pomocou LNV filtra je možné vyselektovať body kde sa predpokladá výskyt rovinatej plochy. Hlavným výsledkom sú navrhnuté algoritmy na segmentáciu rovinných, sférických a valcových útvarov z mračien bodov. Výsledky experimentálnych testov a verifikácií dokazujú, že algoritmy boli navrhnuté tak, aby boli použiteľné pre scény s rôznou komplexnosťou (napr. celá budova alebo iba jedna zariadená miestnosť a pod.), hustotou a „zašumenosťou“. Nami navrhnuté algoritmy boli prakticky realizované vo forme samostatných softvérových aplikácií, čo umožňuje čiastočnú automatizáciu celého procesu. Pomocou týchto aplikácií je možné jednoducho vykonať filtráciu mračien a segmentáciu geometrických útvarov z mračien bodov pri nastavení minimálneho počtu vstupných parametrov.

## Zoznam publikovaných prác súvisiacich s problematikou práce

**HONTI, Richard** - ERDÉLYI, Ján - KOPÁČIK, Alojz. Plane segmentation from point clouds. In *Pollack Periodica*. Vol. 13, no. 2 (2018), s. 159-171. ISSN 1788-1994 (2018: 0.219 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85050319022 ; DOI: 10.1556/606.2018.13.2.16.

**HONTI, Richard** - ERDÉLYI, Ján - KOPÁČIK, Alojz. Automation of cylinder segmentation from point cloud data. In *Pollack Periodica*. Vol. 14, no. 3 (2019), s. 189-200. ISSN 1788-1994 (2019: 0.262 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85078761495 ; DOI: 10.1556/606.2019.14.3.18

**HONTI, Richard** - ERDÉLYI, Ján - KOPÁČIK, Alojz. Automated sphere segmentation from point clouds. In *Pollack Periodica*. Vol. 15, no. 3 (2020), s. 15-25. ISSN 1788-1994 (2019: 0.262 - SJR, Q3 - SJR Best Q). V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85096317725 ; DOI: 10.1556/606.2020.15.3.2

**HONTI, Richard**. Polo-automatizovaná segmentácia rovín. In *Geodetický a kartografický obzor*. Roč. 65 (107), č. 4 (2019), online, s. 89-94. ISSN 1805-7446.

**HONTI, Richard**. Automatizovaná segmentácia valcov z údajov získaných terestrickým laserovým skenovaním. In *Geodetický a kartografický obzor*. Roč. 66 (108), č. 5 (2020), online, s. 89-94. ISSN 1805-7446.

**HONTI, Richard**. Odhad sférických plôch z mračien bodov. In *Geodetický a kartografický obzor*. Roč. 67 (109), č. 5 (2021), online, s. 85-90. ISSN 1805-7446.

**HONTI, Richard**. Semi - automatizovaná identifikácia rovín v mračnách bodov. In *Juniorstav 2018: sborník příspěvků. 20. odborná konference doktorského studia. Brno, ČR, 25. 1. 2018*. 1. vyd. Brno: ECON publishing, 2018, USB klúč, s. 1014-1019. ISBN 978-80-86433-69-1.

**HONTI, Richard**. Segmentácia rovín a valcov z mračien bodov. In *Juniorstav 2020: sborník příspěvků. 22. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno, ČR, 23. 1. 2020*. 1. vyd. Brno: ECON publishing, 2020, USB klúč, s. 818-824. ISBN 978-80-86433-73-8.

**HONTI, Richard**. Algoritmus na automatizovanú identifikáciu a odhad sférických tvarov z mračien bodov. In *Juniorstav 2021: sborník příspěvků. 23. odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí. Brno, ČR, 28.1.2021*. 1. vyd. Brno: ECON publishing, 2021, online, s. 695-700. ISBN 978-80-86433-75-2.

**HONTI, Richard**. Segmentácia vybraných geometrických útvarov z mračien bodov. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering: 29th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. October 16th 2019, Bratislava*. 1. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2019, CD-ROM, s. 114-122. ISBN 978-80-227-4972-5.

## Výber z ďalších publikovaných prác

**HONTI, Richard** - ERDÉLYI, Ján - BARICZOVÁ, Gabriela - FUNTÍK, Tomáš - MAYER, Pavol. Automated verification of building components using BIM models and point clouds. In *Slovak Journal of Civil*

*Engineering*. Vol. 28, no. 3 (2020), s. 13-19. ISSN 1210-3896. V databáze: WOS: 000580598300003 ; DOI: 10.2478/sjce-2020-0019.

**HONTI, Richard** - ERDÉLYI, Ján - BARICZOVÁ, Gabriela - KOPÁČIK, Alojz - KYRINOVIČ, Peter. Possibility of Use of BIM in Automated Geometry Check of Structures. In *Contributions to International Conferences on Engineering Surveying : proceedings of the 8th INGEO International Conference on Engineering Surveying and 4th SIG Symposium on Engineering Geodesy*. 1. vyd. Cham (Switzerland) : Springer Nature, 2021, S. 27-37. ISSN 2524-342X. ISBN 978-3-030-51952-0. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-030-51953-7.

**HONTI, Richard** - ERDÉLYI, Ján. Software solution for transformation of point clouds obtained by TLS. In *Interdisciplinarity in theory and practice [elektronický zdroj]*. No. 15 (2018), online, s. 7-10. ISSN 2344-2409

**HONTI, Richard** - ERDÉLYI, Ján. Possibilities of BIM data exchange. In *SGEM 2018. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. Volume 18. Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing : conference proceedings. Albena, Bulgaria, 2 July - 8 July 2018*. 1. vyd. Sofia : STEF 92 Technology, 2018, S. 923-930. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7408-40-9. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85058896345 ; DOI: 10.5593/sgem2018/2.2/S09.117.

**HONTI, Richard** - ERDÉLYI, Ján - DOBRÝ, Jakub. Static load test measurement of reinforced concrete columns using terrestrial laser scanning. In *Advances and Trends in Geodesy, Cartography and Geoinformatics II : proceedings of the 11th International Scientific and Professional Conference on Geodesy, Cartography and Geoinformatics (GCG 2019). September 10-13, 2019, Demänovská Dolina, Low Tatras, Slovakia*. 1. vyd. Leiden : CRC Press/Balkema, 2020, S. 30-36. ISBN 978-0-367-34651-5.

ERDÉLYI, Ján - KYRINOVIČ, Peter - KOPÁČIK, Alojz - **HONTI, Richard**. Building Information Modelling of Industrial Plants. In *Contributions to International Conferences on Engineering Surveying : proceedings of the 8th INGEO International Conference on Engineering Surveying and 4th SIG Symposium on Engineering Geodesy*. 1. vyd. Cham (Switzerland) : Springer Nature, 2021, S. 13-26. ISSN 2524-342X. ISBN 978-3-030-51952-0. V databáze: DOI: 10.1007/978-3-030-51953-7\_2.

ERDÉLYI, Ján - **HONTI, Richard**. Využitie výmenných formátov pre informačné modelovanie stavieb. In *Slovenský geodet a kartograf*. Roč. 23, č. 2 (2018), s. 4-9. ISSN 1335-4019.

ŠOLTÉSZ, Andrej - ČERVEŇANSKÁ, Michaela [Naháľková, Michaela.] - ŽIVČICOVÁ, Katarína - MYDLA, Jakub - BUČEK, Daniel - **HONTI, Richard**. Proposal of Prevention Measures Against Drought in Urban Areas. In *World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2019) : proceedings. 9-13 September 2019, Prague, Czech Republic*. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2019, [7] s., art. no. 012029. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85076588808 ; DOI: 10.1088/1755-1315/362/1/012029.

## Zoznam použitej literatúry

- [1] Kopáčik, A., Erdélyi, J., Kyrinovič, P., Lipták, I. a Lukáč, Š., Geodézia v priemysle (online), Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2016.
- [2] Štroner, M., Pospíšil, J., Koska, B., Křemen, T., Urban, R., Smítka, V. a Třasák, P., 3D skenovací systémy, Praha: ČVUT v Praze, 2013.
- [3] Erdélyi, J., Využitie terestrického laserového skenovania v stavebníctve a v priemysle [Habilitationá práca], Bratislava: SvF STU v Bratislave, 2018.
- [4] Lari, Z. and Habib, A., "Alternative methodologies for the estimation of local point density index: Moving towards adaptive LiDAR data processing," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XXXIX-B3*, p. 127–132, 2012.
- [5] Honti, R., Erdélyi, J. and Kopáčik, A., "Plane Segmentation from Point Clouds," *Pollack Periodica*, vol. 13, no. 2, pp. 159–171, 2018.
- [6] Fischler, M. A. a Bolles, R. C., „Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography,“ *Communications of the ACM*, zv. 24, %1. vyd.6, pp. 381–395, 1981.
- [7] Honti, R., Erdélyi, J. and Kopáčik, A., "Automated Sphere Segmentation from Point Clouds," *Pollack Periodica*, vol. 15, no. 3, pp. 15–25, 2020.
- [8] Honti, R., Erdélyi, J. and Kopáčik, A., "Automation of Cylinder Segmentation from Point Cloud Data," *Pollack Periodica*, vol. 14, no. 3, pp. 189–200, 2019.
- [9] Hough, P. V. C., „Method and means for recognizing complex patterns“. USA Patent 3069654, 18 12 1962.