

VYUŽITELNOSŤ MOBILNÝCH MAPOVACÍCH SYSTÉMOV PRI INVENTARIZÁCIÁCH LESAJuraj ČERŇAVA¹, Ján TUČEK²

^{1,2} Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene, T.G. Masaryka 24, 960 53, Zvolen, Slovenská republika
xcernavaj@tuzvo.sk; jan.tucek@tuzvo.sk

Abstrakt

V rámci pilotného výskumu v oblasti aplikácie mobilných mapovacích systémov v lesníctve sme vykonali v marci 2014 zber dát pomocou mobilného mapovacieho systému Riegl VMX-250 neseného osobným automobilom. Tento bol obmedzený len na porasty (porastové steny) v blízkosti spevnenej odvoznej cesty. Po získaní použiteľných výsledkov pri meraní hrúbky kmeňov na takýchto bodových mračnách sme vykonali v júli 2015 rozsiahlejšiu kampaň zberu údajov. Identický mapovací systém bol v tomto prípade adaptovaný na univerzálny kolesový traktor s výrazne vyššou prejazdnosťou, ktorým bolo možné vykonať zber dát aj z liniek nachádzajúcich sa vo vnútri porastov. V rámci predloženého výskumu sme sa pokúsili zvýšiť presnosť merania hrúbky na bodových mračnách, ktoré neboli korektne zosúladené riadiacou jednotkou tak, že sme aplikovali jednu z metód automatizovanej fúzie bodových mračien. V konečnom dôsledku sa nám podarilo zlepšiť presnosť merania hrúbky zo strednej kvadratickej chyby predstavujúcej 10.74 % z priemerného kmeňa s využitím pôvodných dát z jedného skenera na 9.55% po aplikovaní fúzie mračien na dáta z 2 skenerov.

Abstract

We carried out data collection using mobile mapping system Riegl VMX-250 mounted on a car during pilot study in the field of application of mobile mapping systems in forestry in march 2014. This data collection was restricted to areas near the reinforced forest road (forest stand edges). After achieving adequate results of tree diameter measurement using produced point cloud we carried out more extensive data collection campaign in july 2015. Identical mapping system was adapted for tractor, which allowed to collect data also from forest tracks inside the forest. We attempt to improve precision of tree diameter measurement using data that was not correctly aligned by control unit during our research. We applied one of the automated point cloud fusion methods and we achieved result in form of improved precision of tree diameter measurement from RMSE representing 10.74% of mean diameter using original data from just one scanner to 9.55% using registrated point cloud from both scanners.

Kľúčové slová: mobilný mapovací systém, fúzia bodových mračien, meranie hrúbky stromu

Keywords: mobile mapping system, point cloud registration, tree diameter measurement

ÚVOD

Potrebu výskumu v oblasti využitia mobilných mapovacích systémov pri lesných inventarizáciách vyjadrili vo svojich prácach viacerí autori. Liang et al. [10] považujú mobilné laserové skenovanie za dokonalejšiu substitúciu pozemných laserových skenerov. Tieto síce vynikajú svojou vysokou presnosťou, avšak rýchlosť zberu dát z dôvodu premiestňovania nielen samotného skeneru ale aj referenčných gúľ je nízka. Holopainen et al. [4] vidia potenciál využitia mobilného laserového skenovania nasedeného na harvester pri zbere informácií o ponechaných stromov pri ťažbe. Ďalej uvádzajú, že zaznamenali presnosť lokalizovania harvestora pod korunovým zápojom s využitím polohového systému cca 3m.

Pri optimálnych podmienkach dokážu mapovacie systémy poskytnúť subcentimetrovú polohovú presnosť Boavida et al. [2], avšak v lesnom prostredí môžu často nastať prípady, kedy GNSS signál vypadne na pomerne dlhý časový interval a teda takúto vysokú presnosť nie je možné dosiahnuť. Ak ďalej uvážime, že chceme dáta použiť na inventarizáciu lesa a to najmä meranie hrúbok, musíme vziať do úvahy aj schopnosť

skenera zachytiť, čo najväčšiu časť kmeňa. Nato aby sme získali dostatočnú presnosť meraní hrúbok potrebujeme aplikovať metódu skenovania z viacerých pozícií, ktorá pri jednom prejazde lesom nie je zaručená. Z tohto dôvodu je potrebné skúmať možnosti spracovania dát získaných z viacerých prejazdov lesom nielen z miest s optimálnym príjmom signálu, ale aj z pozícií lokalizovaných hlbšie v poraste.

V takomto prípade však nie je možné dodržať maximálny odporúčaný minútový výpadok v rámci jedného kilometra, a teda môžeme očakávať, že spracovanie dát produkovaných v takýchto podmienkach bude oveľa náročnejšie.

S takýmto spracovaním je úzko spätá fúzia bodových mračien. V lesnom prostredí totiž polohová presnosť bodových mračien varíruje podľa dostupnosti GNSS signálu. Táto variabilita presnosti v rámci bodového mračna spôsobuje odlišnú lokalizáciu identických objektov z viacerých prejazdov vozidla s nasadeným systémom. Ten istý objekt sa teda nachádza v bodovom mračna viackrát s rozličným umiestnením. Takéto prípady však môžu nastať aj v urbanizovanom prostredí pri blokovaní signálu budovami a podobne, a preto sa viacerí výrobcovia mobilných mapovacích systémov zamerali na danú problematiku a vyvinuli softvérové vybavenie na dodatočnú fúziu bodových mračien z mobilného laserového skenera, ktorá je v optimálnych podmienkach riešená riadiacou jednotkou automatizovane. Fúzia je zväčša založená na využití trajektórie pohybu mobilného mapovacieho systému. Avšak ani s použitím takéhoto vybavenia nie sú v lese pod zápojom korún zaručené dostatočne presné výstupy.

V poslednej dobe začínajú viaceré výskumné inštitúcie venovať pozornosť využitiu algoritmov na automatizovanú fúziu bodových mračien pri spracovaní dát produkovaných mobilnými ale aj personálnymi laserovými skenermi. Jednou z najviac využívaných metód automatizovanej fúzie bodových mračien je metóda iterovaného najbližšieho bodu známa pod akronymom ICP (z anglického iterative closest point). Metódou sa zaoberali viacerí autori vo svojich prácach. Podrobne metódu rozoberajú najmä Bellekens et al. [1], Rusinkiewicz a Levoy [14] a metóda bola v rámci viacerých výskumom vylepšovaná. Základná koncepcia metódy má niekoľko nevýhod, ktoré sa snažia jednotliví autori riešiť. Jednou z nich je iniciálne približné nastavenie mračien, nakoľko ICP nedokáže spojiť príliš vzdialené mračná bodov. Tejto problematike sa venujú napríklad Glira et al. [3] a Mitra et al. [11]. Glira et al. riešia zároveň nedostatok metódy spojený s obmedzením fúzie len na 2 mračná.

Metóda má dva základné varianty. Prvým jednoduchším variantom je napasovanie bod k bodu. Ako napovedá už samotný názov, bodové mračná sú približované na základe dvojíc najbližších bodov z referenčného a pohybovaného mračna. Tento variant sme využili aj pri našom výskume. Zamerali sme sa na zistenie dopadu využitia takejto metódy na presnosť následného merania hrúbky stromu. Naša hypotéza bola, že kombináciou bodov z oboch skenerov spojenou pomocou ICP metódy dokážeme získať presnejšie hodnoty hrúbky pri použití metódy merania generalizujúcej priebeh kmeňa na kružnicu.

Druhým variantom je metóda ICP bod k rovine, kedy sú body pohybujúceho sa mračna približované ku generalizovanej rovine vytvorenej z bodov referenčného mračna. Táto metóda je oveľa viac využívaná vďaka zníženej citlivosti na šum, ktorá je pri prvom variante vysoká.

METODIKA

Mobilný mapovací systém

Mobilný mapovací systém Riegl VMX-250 je kompaktný a praktický mobilný mapovací systém. Laserové skenovanie, ktoré slúži ako jadro merania s využitím komplexných dát produkovaných systémom, je zabezpečované pomocou dvoch integrovaných skenerov VQ-250. Laserovými dátami sú už počas jazdy vozidla, na ktorom je systém pripevnený priradené trojrozmerné súradnice polohovým systémom APPLANIX IMU-31 patriacim do rady POS LV 510 špecifikovaným maximálnym výpadkom GNSS signálu 1min/1km (Boavida et al. [2]). Polohové systémy od spoločnosti APPLANIX sú primárne zamerané na mapovanie pozemných komunikácií, najmä železničných tratí ale aj ciest. Niektoré ďalšie detaily ako aj výsledky testov publikovali napr. Scherzinger, [15] alebo Hutton et al, [5]. Tieto systémy sú konštruované tak, aby bolo možné pri vyšších rýchlostiach a plynulom pohybe dosiahnuť vysokú presnosť. Na polohový systém bol pripojený externý odometer spresňujúci výpočet trajektórie po výpadku GNSS signálu. Okrem laserového

skenera mapovací systém obsahoval aj 2 digitálne kamery s rozlíšením 5Mpx, panoramatickú kameru Ladybug 3 zloženú z 6 čiastkových kamier s rozlíšením 2 Mpx a so zorným poľom 360 stupňov.

Mobilný mapovací systém bol umiestnený na plošinu nesenú traktorom Zetor Horal 7245. Na plošine mapovacieho systému bol na nosič umiestnený aj polohový systém Novatel Propak6. Dodatočný polohový systém bol na plošina nosiča nasadený pre porovnanie výsledných trajektórií využívajúcich dve odlišné technológie. Túto problematiku riešime v ďalšej špecificky zameranej práci.

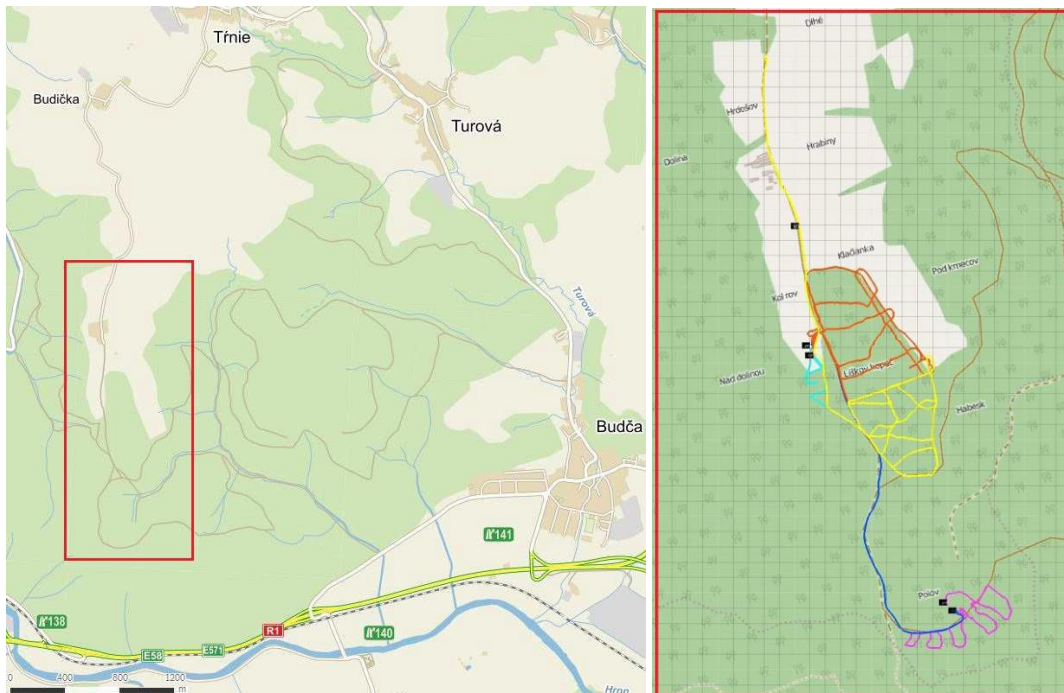


Obr.1 Mobilný mapovací systém Riegl VMX-250-CS6 umiestnený na plošinu pripevnenú na UKT typu Zetor Horal 7245

Záujmové územie

Mobilné mapovanie prebehlo na území Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene na konci júla 2015. Mapované boli porasty v troch vekových kategóriách od 30 do 110 rokov zložené najmä z buka (*Fagus sylvatica* L.), duba (*Quercus petraea* L.) ale aj hraba (*Carpinus betulus* L.). Mapovaná oblasť sa vyznačuje rovinatým terénom so sklonom v rozpätí od 15 % do 35%.

Pre účely tejto práce sme využili údaje dospelého 110 ročného porastu o výmere 2,53 ha. Vzhľadom na rozpracovanie obnovnými postupmi sa najmä v severnej časti vyskytovalo intenzívne prirodzené zmladenie (výrazný podrast). Mapovanie prebehlo z lesnej cesty ale aj prechodom cez linky vo vnútri porastu. Takto bolo v poraste zmapovaných 10 približovacích liniek a lesná cesta. V rámci schématického znázornenia záujmového územia v Obr. 2. ide o porast v spodnej (južnej) časti územia a trajektóriu pohybu znázornenú fialovou farbou, resp. modrou farbou.



Obr. 2 Vymedzenie záujmového územia

Spracovanie laserových dát

Po analýze bodových mračien sa ukázalo, že kmene identických stromov nasnímané jednotlivými skenermi počas viacerých prejazdov nie sú polohovo totožné. Posun medzi bodmi opisujúcimi priebeh kmeňa z jedného a druhého skenera bol navyše rozdielny v rámci jedného komplexného mračna bodov.

Na získanie primárneho riešenia sme použili softvér TerraScan a TerraMatch na odstránenie týchto posunov medzi skenermi. Na registráciu bodových mračien sa využil existujúci objekt trajektórie prechodu traktoru. Následne boli odstránené body nasnímané z príliš vzdialených pozícií, čo napomohlo zníženiu šumu v rámci dát z jedného skenera. Napriek všetkým týmto krokom spracovania zabezpečeným dodávateľom posun medzi skenermi nebol odstránený.

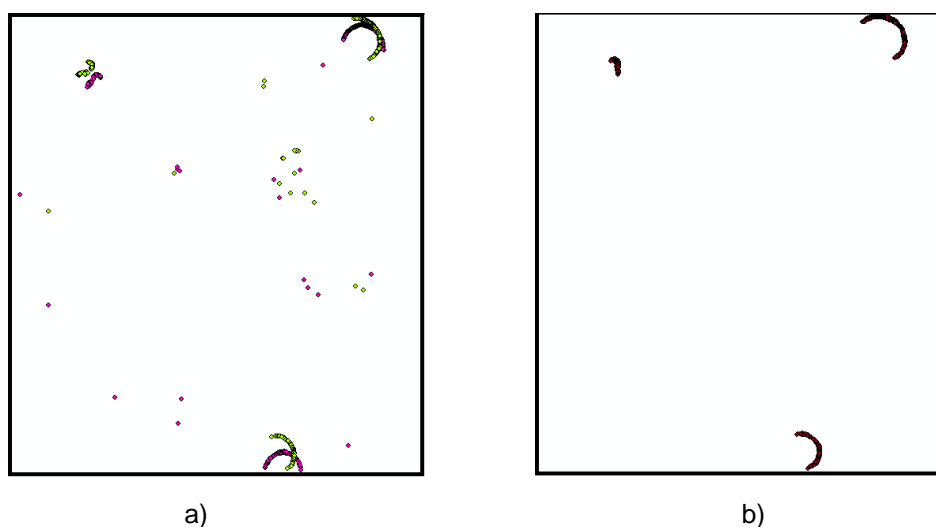
Prvým krokom navrhovanej metodiky spracovania bola výšková normalizácia bodových mračien. Na tento krok sme použili softvérový balík LasTools od spoločnosti Rapidlasso. Po klasifikovaní bodov terénu sme týmto priradili hodnotu súradnice Z rovnú 0, čím sa odstránil vertikálny posun medzi mrakmi vyprodukovanými jednotlivými skenermi. Zároveň na túto normalizáciu nadviazal bežný postup získavania horizontálnych rezov vo výške 1.3 m na umožnenie meraní hrúbky vo prsnej výške. Konečným výstupom tohto kroku bol 5cm segment bodov vo výške 1.3 m bez vertikálneho posunu.

Na odstránenie horizontálneho posunu bolo potrebné separovať dáta do takej podoby aby bol posun v rámci jednotlivých skupín identický. Na túto separáciu sme použili metódu DBSCAN (z anglického Density-based spatial clustering - priestorové zhľukovanie na základe hustoty). Pomocou zadaných parametrov limitujúcich zhľuk bodov opisujúcich kmeň stromu sme dokázali separovať jednotlivé kmene z celkového bodového mračna, a vďaka práci s hustotou bodov zároveň očistiť dáta od prípadného šumu. Vybrané kmene z jednotlivých skenerov boli následne s využitím centroidu zhľuku a limitnej vzdialenosti spárované a pripravené na registráciu.

Vo výpočtovom prostredí Matlab-u prebehla fúzia separovaných mračien kmeňov stromov použitím variantu bod k bodu ako základnej formy metódy iterovaného najbližšieho bodu (ICP). Vstupom sú body referenčného a pohybovaného mračna. V prvom kroku algoritmus vyhľadá korešpondujúce body jednotlivých mračien metódou najbližších susedov. Pri zisťovaní najbližšieho suseda sa využíva Euklidovská vzdialenosť. V druhom kroku prebieha výpočet transformačnej matice, definovanej transláciou a rotáciou matice

pohybovaného mračna. Táto je zostavená tak, aby minimalizovala kvadratickú vzdialenosť medzi bodmi pohybovaného a referenčného mračna bodov. Tento postup sa zopakuje v rámci viacerých iterácií podľa iniciálnej polohy oboch mračien. Pri použití tejto metódy sa očakáva, že mračná bodov nebudú na vstupe od seba signifikantne vzdialené, takže takúto automatizovanú registráciu väčšinou predchádza manuálne priblíženie mračien. V našom prípade boli však mračna lokalizované pomerne blízko seba, takže manuálna úprava polohy nebola potrebná.

Posledným krokom spracovania mračien bolo meranie hrúbok pomocou metódy optimálnej kružnice. Na spracovanie upraveného mraku bodov sme použili program TLS verzia 1.2 vytvorený Mgr. Milanom Koreňom, PhD., ktorý obsahuje viaceré funkcie na prácu s údajmi získanými pozemným laserovým skenovaním (Koreň, [8] in Mokroš, [12]). Prvý odhad stredu kružníc jednotlivých kmeňov bol zisťovaný pomocou stredu spojnice medzi dvoma najvzdialenejšími bodmi zhľuku reprezentujúceho rez kmeňom. Z tohto bodu sa potom zmerala vzdialenosť ku každému bodu a jej priemer sa použil ako štartovný polomer kruhu. Pre nájdenie optimálnej kružnice aplikuje algoritmus modifikovanú Newtonovú metódu. Pomocou gradientu optimalizačnej funkcie sa mení pozícia a priemer kružnice až do dosiahnutia požadovanej strednej kvadratickej odchýlky alebo po vykonaní určitého počtu iterácií.



Obr. 3 Zobrazenie prierezu bodovým mračnom vo výške 1.3m pred fúziou mračien bodov (a) a po nej (b).
Na obr. 3a sú zelenou farbou zobrazené body zo skenera 1 a ružovou body zo skenera 2.

VÝSLEDKY

V rámci nášho výskumu sme aplikovali DBSCAN na bodové mračná z 2 skenerov mobilného mapovacieho systému a vybrali také kmene ktorých dostatočne husté a početné zhľuky sa nachádzali na oboch mračnách. Tieto sme následne v prostredí Matlab-u spojili pomocou point to point variantu ICP metódy. Po 20 iteráciách sme získali nové bodové mračná v niekoľkých podobách. V prvom prípade, kedy sa pri kmeni jedného mračna nachádzal výraznejší šum, ktorý sa zároveň nenachádzal pri kmeni z druhého bodového mračna, došlo k úplnému oddialeniu bodových mračien. Ďalším prípadom bolo mračno z kmeňov, ktoré sa pri štarte nachádzali v takej polohe, že zhľuk bodov opisujúcich kmeň z jedného mračna pretínal zhľuk bodov z mračna druhého. V týchto prípadoch bola viditeľná výrazná odlišnosť v rotácií jednotlivých zhľukov. Výsledné mračno bolo síce čiastočne spojené avšak na výstupe neopisovalo priebeh kmeňa korektne, a preto bolo z výberu rovnako ako pri predchádzajúcom prípade odstránené. Posledným prípadom bolo mračno, na ktorom bolo viditeľné, že fúzia prebehla úplne alebo približne korektne.

Celkové spracovanie a odstránenie nesprávne spojených bodových mračien výberový súbor značne zredukovalo. Z pôvodných 163 kmeňov identifikovaných na mračne bodov skenera 1 sme na výstupe dostali 40 kmeňov, na ktorých sme následne merali hrúbky stromov. Širší popis výberového súboru pred a po spracovaní je uvedený v tabuľke 1.

Tab.1 Porovnanie výberového súboru pred a po celkovom spracovaní

	Rozsah [ks]	Min d _{1.3} [cm]	Max d _{1.3} [cm]	Priemer d _{1.3} [cm]
Výber pred spracovaním	163	10.05	82.5	41.10
Výber po spracovaní	40	20.89	64.75	42.88

Pre porovnanie sa hrúbky tých istých kmeňov premerali aj na mračných bodov pochádzajúcich iba z jedného skenera. Na meranie bola použitá vyššie uvedená metóda optimálnej kružnice a ako porovnávací etalón sme použili hodnoty hrúbok nameraných milimetrovou priemerkou v teréne. Zmerané boli 2 na seba kolmé hrúbky vo výške 1.3 m, aby sa priemer kmeňa generalizoval na priemer kruhu opisujúceho rez kmeňom vo výške 1.3 metra. Zároveň je takýto etalón pre použitú metódu merania hrúbok v digitálnom prostredí reprezentatívnejší a vplyv nedostatku bodov opisujúcich priebeh kmeňa na presnosť výsledku sa zredukuje.

Po porovnaní výsledkov sa ukázalo, že fúzia bodových mračien môže pri správnom použití priaznivo vplyvať na presnosti merania hrúbok s využitím dát z mobilného skeneru. Zatiaľ čo presnosť merania hrúbky na bodových mračných z jedného skenera dosiahla hodnotu strednej kvadratickej chyby 4.61 cm, čo predstavuje 10.74 % z hrúbky priemerného kmeňa, presnosť merania hrúbky na zlúčených bodových mračných z oboch skenerov dosiahla hodnotu strednej kvadratickej chyby 4.09 cm, čo predstavuje 9.55 % z priemernej hrúbky. Týmto sa naša hypotéza potvrdila a získali sme mračno zložené prevažne z kmeňov spojených z oboch bodových mračien bez okolitého šumu, ktorý bol odstránený vďaka použitiu metódy DBSCAN. Z hodnoty biasu rovnej -0.596 cm je zrejmé, že použitá metodika odhadované hodnoty hrúbok podhodnocuje. Porovnanie chýb vzniknutých meraním na mračne z jedného a oboch skenerov sa nachádza v tabuľke 2. Napriek potvrdeniu pracovnej hypotézy možno konštatovať, že dosiahnuté vylepšenie presnosti je pomerne malé. Uvedené skutočnosti predpokladáme podrobnejšie preskúmať v ďalšom výskume vrátane odstránenia problémov s nejednoznačnosťou identifikácie zhukov bodov reprezentujúcich rez kmeňom ako aj uplatnenia vyspelejších postupov registrácie mračien (metóda point to plane).

Tab. 2 Porovnanie chýb merania hrúbok

	Bias [cm]	Bias% [%]	Min. chyba [cm]	Max. chyba [cm]	RMSE [cm]	RMSE% [%]
Skener 1	1.19	0.03	-8.23	11.3	4.61	10.74
point2point	-0.60	0.01	-10.8	6.81	4.09	9.55

DISKUSIA

Napriek uvedenému zlepšeniu presnosti môžeme povedať, že mračno bodov z mobilného laserového skenera nevykazuje dostatočnú presnosť merania nato, aby dokázalo nahradiť konvenčné postupy merania hrúbok. Najväčší problém sa zdá byť dlhodobá strata signálu pod korunami stromov, ktorá spôsobuje rozdielne presnosti výpočtu absolútnej polohy bodov z viacerých prejazdov a tým aj na posuny medzi jednotlivými mračnami. Publikované boli viaceré prístupy na jeho riešenie. Tang et al. [14], registrovali bodové mračná už počas prejazdu vozidla lesom. Kombináciou viacerých algoritmov spojených do integrovaného systému dokázali spojiť dáta z pozemného laserového skenera z viacerých prejazdov nasadeného na mobilnú platformu.

Liang et al. [7] použili pri mapovaní lesa personálny (nesený) laserový systém. Určenie polohy bolo zabezpečené technológiou NovAtel a laserovým skenerom FARO Focus3D 120. Hrúbka stromu bola meraná pomocou napasovania valca na body opisujúce kmeň stromu. Táto metóda bola vylepšená o váženie bodov podľa ich príslušnosti ku kmeňu. Body šumu v okolí kmeňa, ktoré mohli padnúť do valca dostali menšiu váhu ako tie pochádzajúce z kmeňa. Stredná kvadratická chyba odhadu hrúbky stromu vo výške 1.3 m touto metódou dosiahla hodnotu 5.06 cm v absolútnom a 14.63% v relatívnom vyjadrení.

Okrem použitia personálneho laserového systému vykonali Liang et al. [8] aj výskum zameraný na využiteľnosť mobilného mapovacieho systému pre mapovanie rozsiahlych zalesnených oblastí. Pri tomto experimente dosiahli autori strednú kvadratickú chybu merania hrúbok vo výške 1.3 metra 2.36 cm.

Problematike dosiahnutej presnosti určenia trajektórie pohybu platformy v podmienkach degradovaného príjmu signálu GNSS, vplyvu použitej technológie ako aj vzťahu uvedených parametrov k presnosti zosúladenia vstupných bodových mračien a vplyvu uvedených skutočností na presnosť určenia hrúbok kmeňov budeme venovať pozornosť v ďalšom výskume.

POĎAKOVANIE

Príspevok je súčasťou riešenia projektu VEGA 1/0953/13 Geografická informácia o lese a krajine – špecifiká tvorby a využitia.

LITERATÚRA

1. Bellekens et al. (2014) A Survey of Rigid 3D Pointcloud Registration Algorithms. In: Ambient 2014, pp. 8-13. ISBN: 978-1-61208-356-8
2. Boavida et al. (2012) Precise Tunnel Survey using the Riegl VMX-250 Mobile Laser Scanning System. Príspevok z Riegl Lidar 2012. Orlando, Florida, 2. marec.
3. Glira, P. et al. (2015) A Correspondence Framework for ALS Strip Adjustments based on Variants of the ICP Algorithm. In: FG, Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation vol. 4, 275-289. ISSN 0275–0289.
4. Holopainen, M. et al. (2014) Outlook for the Next Generation's Precision Forestry in Finland. In: Forests vol. 5, pp. 1682-1694, ISSN 1999-4907.
5. Hutton, J., Bourke, T. Scherzinger, B. (2007) New developments of Inertial Navigation Systems at Applanix. In: Photogrammetric Week 07, D. Fritsch Eds. Proceedings, 54 Photogrammetric Week, Stuttgart, Germany, Wichmann Verlag, Heilderberg 2007, pp. 201-213
6. <http://rapidlasso.com/>
7. <http://www.mathworks.com/help/vision/examples/3-d-point-cloud-registration-and-stitching.html>
8. Koreň, M. (2009) Príručka užívateľa k programu TLS verzia 1.2. (2009), nepublikované.
9. Liang, X. et al. (2014) Possibilities of a Personal Laser Scanning System for Forest Mapping and Ecosystem Services. In: Sensors vol. 14, pp. 1228-1248. ISSN 1424-8220.
10. Liang, X. et al. (2014) The Use of a Mobile Laser Scanning System for Mapping Large Forest Plots In: Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE Vol. 11, 1504 - 1508. ISSN 1545-598X.
11. Mitra, J. N. et al. (2004) Registration of Point Cloud Data from a Geometric Optimization Perspective. In: Eurographics Symposium on Geometry Processing, Nice, France, 8-10 Júl.
12. Mokoš, M. (2015) Uplatnenie pozemného laserového scanovania pri zisťovaní stavu lesa. Dizertačná práca. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen.
13. Puente, I. et al. (2013) Review of mobile mapping and surveying technologies. In: Measurement vol. 46, pp. 2127–2145.
14. Rusinkiewicz, S. a Levoy, M. (2001) Efficient Variants of the ICP Algorithm. In: 3DIM, pp. 1-8, Quebec City, Canada, 28. máj - 1. jún.
15. Scherzinger, B. (2006) Precise Robust Positioning with Inertially Aided RTK, Navigation: Journal of The Institute of Navigation, Vol. 53. No. 2. pp. 73-83, Summer 2006
16. Tang, J. et al. (2015) SLAM-Aided Stem Mapping for Forest Inventory with Small-Footprint Mobile LiDAR. In: Forests vol. 6, pp. 4588–4606