

PROBLÉM LASEROVÉHO SKENOVANIA ČLENITÉHO TERÉNU

Ján PITÓR

*Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
pitor@fpedas.uniza.sk*

Branislav KANDERA

*Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
kandera@fpedas.uniza.sk*

Abstrakt

Digitálny model terénu je dôležitý pre rôzne aplikácie vo viacerých odvetviach hospodárstva. Je možné ho vyhotoviť pomocou fotogrametrie alebo laserového skenovania. Tento článok sa bude zaoberať najmä laserovým skenovaním, keďže to je modernejšia a dokonalejšia technológia pre tvorbu digitálneho modelu terénu. Hornatý terén Slovenska prináša problémy s prekrytom laserových pásov, keďže laserové skenovanie sa vykonáva vo výške výrazne menšej ako fotogrametria. Čím menšia je skutočná výška nad terénom, tým sa znižuje reálny prekryv pásov až na hranicu možností presnosti letu, prípadne v extrémnych prípadoch aj do záporných hodnôt. Tento článok ukáže možnosti plánovania v takýchto podmienkach spolu s praktickou ukážkou, ako aj vplyv týchto zmien v plánovaní na nákladovú efektívnosť laserového skenovania.

Kľúčové slová

Aser, skenovanie, digitálny model terénu, LIDAR.

1. Úvod

3D model terénu sa využíva v širokom rozsahu odvetví. Vytvorenie tohto modelu je možné dosiahnuť viacerými spôsobmi, a to najmä leteckou fotogrametriou, resp. leteckým meračským snímkaním a laserovým skenovaním terénu. Z týchto dvoch technológií je laserové skenovanie modernejšie a dokonalejšie. Žilinská univerzita získala vybavenie pre obe technológie tvorby digitálneho modelu terénu (DTM – digitálna terénna model), avšak v tomto článku sa budeme zaoberať laserovým skenovaním, ktoré prináša nové výzvy pri plánovaní letov v hornatých oblastiach Slovenska.

Laserové skenovanie je vykonávané v relatívne malých výškach v porovnaní s fotogrametriou, a to najmä z dôvodu nízkeho dosahu LIDARu (Light Detection And Ranging) kvôli malej vyžiarenej energii. Táto nízka letová výška prináša problémy s prekryvom susediacich LIDARových pásov. Čím je väčší výškový rozdiel terénu, tým musí byť väčší plánovaný prekryv pásov, nakoľko reálny prekryv s narastajúcou výškou terénu, t.j. s klesajúcou relatívnou výškou letu klesá.

V hornatom teréne musí byť nastavenie prekryvu LIDARových pásov veľmi husté nakoľko napr. pri nastavení 55% prekryvu a rozdielu nadmorských výšok terénu 400m klesne reálny prekryv až na 15%. Tento problém sa zhoršuje so zvyšujúcim sa rozlíšením LIDARu. Čím je väčšie rozlíšenie, tým je nižšia letová výška z dôvodu výkonnosti LIDARu. Toto závisí aj od typu scanneru, kde je možné nájsť scannery s vyšším vyžiarovým výkonom, avšak v inej cenovej kategórii.

Tento článok poskytne informácie o technických možnostiach vytvorenia 3D modelu terénu použitím fotogrametrie a laserového skenovania povrchu. Ďalej bude článok popisovať vybavenie používané Žilinskou univerzitou a naše počiatočné skúsenosti s jeho prevádzkou.

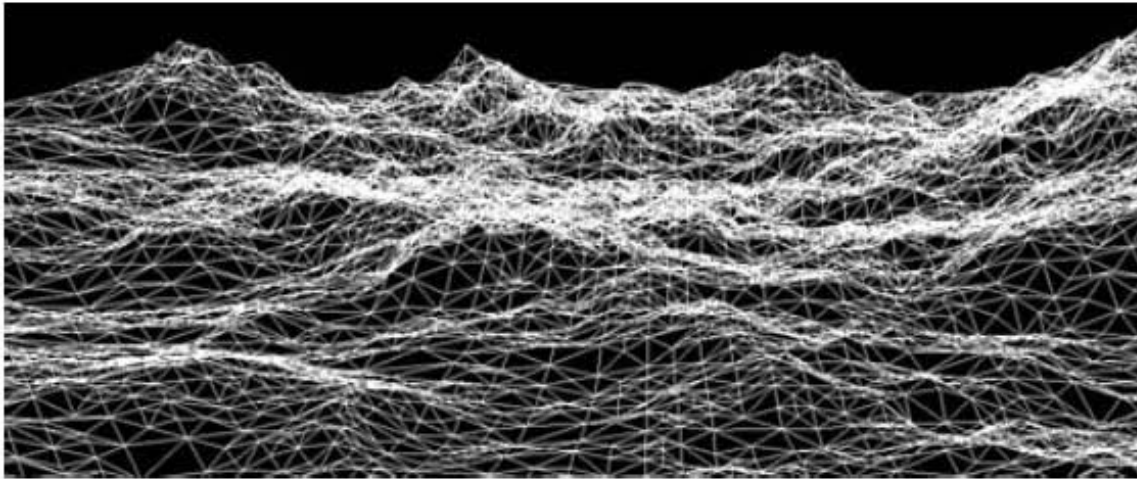
Budú objasnené aj metódy použité pre vysporiadanie sa s problémom priečného prekryvu LIDARových pásov v hornatej oblasti a ich konečný vplyv na nákladovú efektívnosť v porovnaní s plochým, nížinatým terénom.

2. DTM a DSM

DTM (Digital terrain model, Digitálny model terénu) je dôležitým konceptom pre prezentáciu povrchu terénu. DTM je štatistická reprezentácia spojitého povrchu veľkým množstvom vybraných bodov so známymi súradnicami x, y, z. (Obrázok 1)-

Digitálny model terénu je matematický (digitálny) model povrchu terénu. Využíva jeden alebo viacero matematických funkcií na reprezentáciu povrchu podľa špecifických metód na základe súboru nameraných

bodov. Tieto matematické funkcie sa nazývajú aj interpolačné funkcie. Samotný proces reprezentácie povrchu sa nazýva rekonštrukcia povrchu alebo modelovanie povrchu a rekonštruovaný povrch povrch DTM. Z tohto dôvodu sa rekonštrukcia povrchu terénu považuje za vytvorenie povrchu DTM. Po tomto procese je možné extrahovať výškové informácie o akomkoľvek bode povrchu DTM. [1]

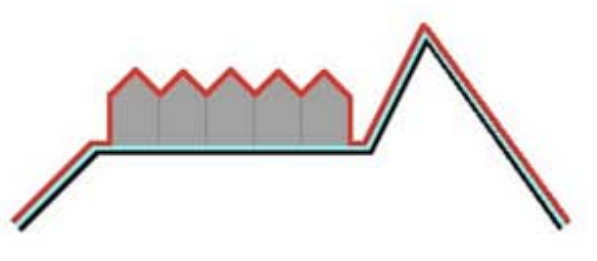


Obrázok 1. Príklad digitálneho modelu terénu [9]

2.1. Rozdiely medzi DTM a DSM

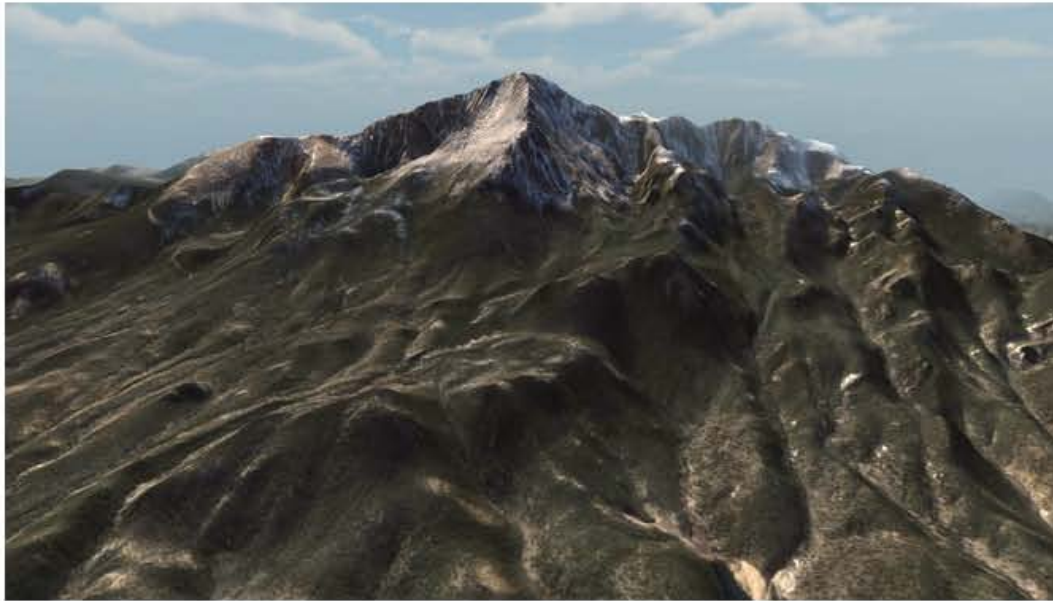
Medzi DTM a DSM (Digital surface model, Digitálny model povrchu) je zásadný rozdiel. Z väčšiny metód primárneho zberu dát je možné získať digitálny model povrchu. Tento model obsahuje všetky prvky povrchu pokrývky zeme, ako napríklad budovy, vegetáciu a človekom vytvorené konštrukcie. Na druhej strane pre väčšinu aplikácií je potrebné DTM. DTM je možné získať odstránením nadzemných prvkov. Výhodou laserového scanovania je, že každý vyslaný lúč môže byť odrazený viackrát, napríklad na viacerých vrstvách olistenia vegetácie a od zemského povrchu. To uľahčuje proces tvorby DTM pomocou klasifikácie laserových bodov.

Hlavný rozdiel medzi DTM a DSM je ilustrovaný na obrázku 2, kde DTM je zobrazené čiernou čiarou a DSM červenou čiarou.



Obrázok 2. Rozdiel medzi DSM a DTM [4]

Na obrázku 3 je možné vidieť digitálny model terénu pokrytý textúrou. Táto textúra môže byť umelo vytvorená alebo fotorealistická, získaná fotogrametriou.



Obrázok 3. Príklad digitálneho modelu terénu pokrytého textúrou. [8]

3. Fotogrametrické vybavenie Žilinskej univerzity

Žilinská univerzita získala fotogrametrické vybavenie pre využitie v aplikovanom výskume pre letecké organizácie a organizácie z iných odvetví na základe potrieb výskumu. Príkladom môže byť prieskum poškodenia lesa po veternej smršti, periodické kontroly zosuvov pôdy a podobne.

3.1. Kamera

Systém zakúpený Žilinskou univerzitou je Trimble Harrier 68i, ktorý pozostáva z kamery a LIDARu.

Kamera použitá v tomto systéme je Trimble AC P65+ s prevádzkovou výškou 10000 ft AGL (above ground level), ohniskovou vzdialenosťou 50 mm, rozlíšením 60 megapixel, tromi kanálmi (RGB) rýchlosťou spúšte 2.8 s a rozlíšením GSD (ground sampling distance) do 0.03 m/pixel.

Hlavnou nevýhodou kamery je absencia NIR (near infra-red) kanálu, ktorý je súčasťou alternatívnych riešení. Toto sčasti limituje použitie kamery pre účely mapovania zdravia lesov, keďže teplota je jedným zo základných diagnostických nástrojov veľkých lesných plôch.

Jedným z limitujúcich faktorov v systéme je maximálna frekvencia uzávierky 2,8 sekundy. Keďže to je minimálny čas medzi jednotlivými snímkami, je to limitný faktor pre maximálny pozdĺžny prekryv snímok pri letoch v malých výškach, t.j. s vysokým rozlíšením.

3.2. LIDAR

Laserový skener tvorí druhú časť systému. Laserový lúč je vychyľovaný rotujúcim polygónom pri nastaviteľnom PRR (pulse repetition rate) 80 KHz až 400 KHz, čo znamená, že je možné zoskenovať až 400 000 bodov za sekundu. Toto číslo môže byť o niečo vyššie vďaka tomu, že každý lúč sa môže odraziť na niekoľkých vrstvách nad sebou, napr. na vegetácii a zemskom povrchu.

FOV (Field of view), t.j. snímaný uhol, je nastaviteľný medzi 45 a 60°, pričom kamera má FOV 56°. Z toho vyplýva, že FOV pre plánovanie prekryvu je vždy stanovený iným zariadením. Ak je LIDAR nastavený na 60°FOV, kamera je limitujúcim faktorom a naopak.

Pracovná výška je 30 až 1600 m nad zemou. Pri porovnaní s maximálnym dosahom kamery, zistíme, že LIDAR je použiteľný asi do polovice dosahu kamery. To značne limituje použitie skenera v hornatých oblastiach, keďže v týchto malých výškach dochádza k problémom s bočným prekryvom. Tento problém bude rozobratý v ďalšej kapitole.

Celý systém je zobrazený na obrázku 4:

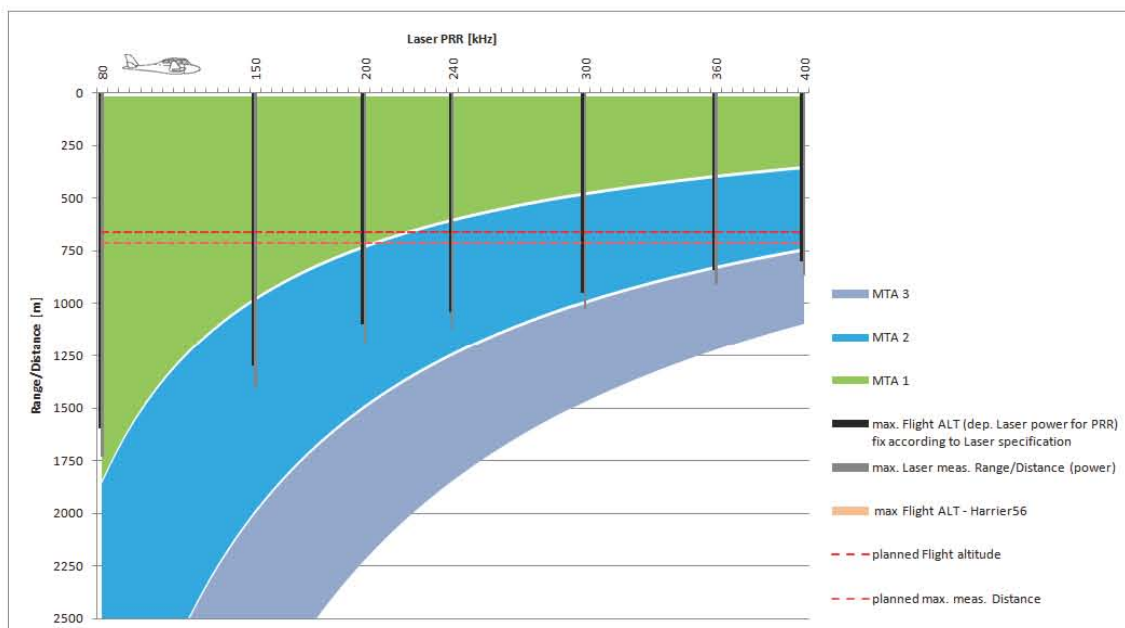


Obrázok 4. Trimble Harrier 68i [7]

Tento systém sa skladá z počítačovej skrine, kde sú uložené všetky záznamové médiá, riadiaci počítač a záložný zdroj, ďalej z integrovanej skrine kamery a LIDARu a z dvoch displayov pre pilota a operátora. Kamera s LIDARom môžu byť umiestnené v lietadle, ale aj na jeho vonkajšom povrchu. V prípade riešenia Žilinskej univerzity je vytvorený otvor vo vonkajšom plášti trupu lietadla Piper Seneca III, nad ktorým je umiestnená príslušná skriňa.

4. Problém hornatého terénu

Ako už bolo povedané, čím je menšia výška nad terénom, tým je menší bočný prekryv. Na obrázku 5 môžeme vidieť maximálne letové výšky pri rôznych módoch LIDARu, ako aj MTA (Multi-time around) zóny. MTA dovoľuje vyslať viacero laserových pulzov pred prijatím prvého odrazu.



Obrázok 5. Multi-time-around zones [Trimble documentation]

Pre znázornenie efektu hornatého terénu na bočný prekryv obsahuje tabuľka 1 hodnoty plánovaných a skutočných prekryvov pri rôznych výškach terénu. Všetky tieto lety boli plánované pri takmer maximálnej letovej výške pre 400 KHz PRR a prekryve 50%, ktorý by poskytol teoretický priemerný počet 10 bodov na meter štvorcový, keďže jeden pás samotný poskytuje 5 bodov na meter štvorcový. Ako je však vidno, pri maximálnom rozdiel výšok terénu môže klesnúť prekryv až na 8%, čo je príliš málo pre úspešné uskutočnenie letu z dôvodu absencie gyroskopického stabilizátora v našom systéme. Navyiac, pre spracovanie fotografií je potrebných cca 30% bočného krytia.

V prvom stĺpci je príklad prispôsobenia plánovania podmienkam s vysokým terénom. Zvýšením plánovaného prekryvu sme dosiahli zvýšenie skutočného prekryvu na použiteľnú hodnotu.

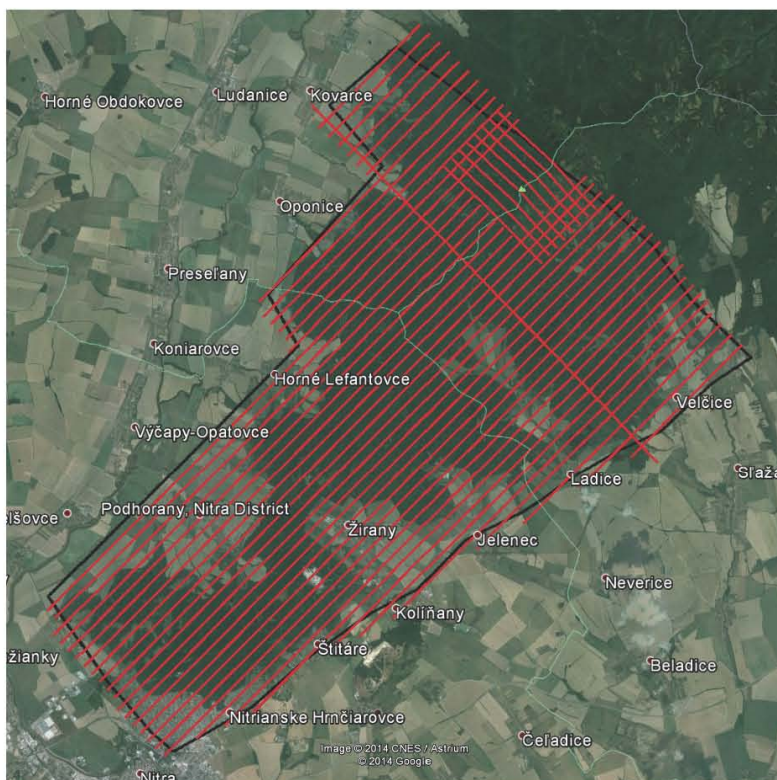
Táto úprava plánovania však pôsobí negatívne na nákladovú efektivitu, keďže zvýšením prekryvu o 10% došlo aj k zvýšeniu nákladov o 10%.

V prípade ešte väčšieho zvýšenia terénu môže dôjsť k nemožnosti alebo neefektívnosti plánovania pre dané PRR. Znížením PRR však dôjde k zníženiu výsledného rozlíšenia a k vynútenému viacnásobnému náletu. Ekonomický efekt takéhoto opatrenia je nedozierny a môže zvýšiť náklady na rovnaké rozlíšenie niekoľkonásobne.

Tabuľka 1. Plánovanie v horratom teréne

Parameter	Vysoký terén a zmena plánovania	Vysoký terén	Stredný terén	Nízky terén
Maximálna výška letu[m]	660	660	660	660
Rozdiel výšok terénu [m]	300	300	150	50
Prekryv	60% $\leftrightarrow$	50%	50%	50%
Šírka pásu [m]	546.8	546.8	546.8	546.8
Vzdialenosť pásov [m]	218.7	273.4	273.4	273.4
Minimálna šírka pásu [m]	298.2	298.2	422.5	505.3
Minimálny prekryv [m]	79.5	24.9	149.1	232
Minimálny prekryv [%]	27%	8%	35%	46%

Obrázok 6 ukazuje problematickú oblasť okolo hory Zobor. Rozdiel výšok v danej oblasti je približne 650 m, čo znamená, že nie je možné použiť 400 KHz PRR. Bol použitý veľký plánovaný prekryv, plus rozdelenie oblasti na dve časti s rôznou nadmorskou výškou náletu. Toto riešenie je špecifické pre danú oblasť a nemusí byť použiteľné v zložitejších oblastiach.



Obrázok 6. Príklad plánovania v hornatej oblasti

Smery náletu sú rozdielne z dôvodu potreby krížneho LIDARového pásu pre vzájomné nastavenie výšok pri spracovaní. V tomto prípade všetky pásy z menšej oblasti fungujú aj ako tieto krížne pásy.

5. Záver

Tento článok poskytuje základný prehľad problematiky fotogrametrie a laserového skenovania a ich použitia pre tvorbu digitálneho modelu terénu. Okrem toho poskytuje aj informácie o počiatočných skúsenostiach s touto technológiou na Žilinskej univerzite, a to najmä s plánovaním náletu v hornatom teréne Slovenskej republiky.

Tento problém je špecifický pre daný model skenera, ktorý je vhodnejší pre mapovanie koridorov ako mapovanie väčších súvislých plôch, a to najmä v hornatom teréne. Každé takéto zariadenie trpí spomenutým problémom, avšak u iných modelov tento problém pravdepodobne nastane pri väčších rozdieloch výšky terénu.

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry; ITMS 26220220156“.



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Literatúra

- [1] 3D Surface Mapping from Remote Sensing, Available at: <http://www.surveygraphics.com.au/dtm-dem> (2014).
- [2] Digital Terrain Modelling, Available at: <http://www.pointtopointsurvey.com/digital-terrain-modeling/> (2014).
- [3] <http://forum.unity3d.com/threads/real-world-terrain-test.157815/>
- [4] <http://gis.stackexchange.com/questions/5701/what-is-the-difference-between-dem-dsm-and-dtm>
- [5] <http://www.trimble.com/imaging/Harrier-68.aspx?dtID=product-information>
- [6] <http://www.wassenberg.dreamhosters.com/projects.html>
- [7] <https://www.trimble.com/3d-laser-scanning/> (2014).
- [8] Kuznetsov B., Serebryakov M., Proshkin V., Bormotov A. (2011), Upgrading The Efficiency Of Airspace Flight Simulators For Emergency-Response Training Of Space Crewmembers, Riga: Transport and Telecommunication Institute, (ISSN 1407-6179)
- [9] Li z., Zhu Ch., Gold Ch. (2005) *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. Boca Raton, Florida: CRC Press,
- [10] Unit 38 - Digital Elevation Models, Available at: <http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/ncgia/u38.html> (2014).
- [11] Ziemann, H. and Grohmann, D. (2009) Photogrammetric Procedures for Digital Terrain Model Determination. Available at: http://www.kolleg.loel.hs-anhalt.de/studiengaenge/mla/mla_fl/conf/pdf/conf2003/12zieman.pdf, Heidelberg: Wichmann Verlag, (ISBN 3879074682).
- [12] LAZAR T., PIČA J., KURDEL P.: _Aircraft assistance systems and flight safety_, 2011. In: Acta Avionica. Roč. 13, č. 21 (2011), s. 93-95.