AUTOMATICKÁ KLASIFIKÁCIA MRAČNA BODOV Z TERESTRICKÉHO LASEROVÉHO SKENERA

AUTOMATIC CLASSIFICATION OF POINT CLOUDS FROM A TERRESTRIAL LASER SCANNER

Miroslav KOŽUCH[1], Veronika ZAJACOVÁ[2]

Abstrakt

Terestrické laserové skenovanie (TLS) patrí v súčasnosti k najpresnejším metódam bezkontaktného 3D mapovania prírodných povrchov. Vykonáva sa skenerom, ktorý automatizovane zaznamenáva milióny bodov za sekundu. Výsledkom merania je husté mračno bodov zachytávajúce trojrozmernú geometriu povrchu s milimetrovou až centimetrovou presnosťou.

Kľúčovým krokom pri spracovaní týchto dát je ich klasifikácia, ktorá umožňuje oddeliť jednotlivé priestorové body a pripraviť ich na ďalšie využitie. Cieľom predkladaného príspevku je preto klasifikácia mračna bodov za účelom rozlíšenia povrchu terénu od vegetačného krytu.

Skúmaným územím bol erózny svah rieky Rudava na hranici katastrálnych území Studienka a vojenského obvodu Záhorie (okres Malacky, Slovenská republika). Lokalita sa vyznačovala pomerne hustou vegetáciou a popadanými stromami. Skenovanie sa realizovalo v marci 2025 terestrickým laserovým skenerom FARO Focus S350 z niekoľkých stanovísk. Lícovacie body v podobe terčíkov boli zamerané GNSS prijímačom Trimble Geo 7X s korekciou SKPOS. Registrácia jednotlivých skenov pomocou referenčných sfér a lícovacích bodov prebehla v softvéri FARO SCENE, pričom následné spracovanie a klasifikácia sa uskutočnili v programe CloudCompare. Z dôvodu zhoršenej dostupnosti bolo záujmové územie rozdelené na dve samostatné lokality.

Pred samotnou automatickou klasifikáciou bolo potrebné dáta predspracovať. Tento proces zahŕňal orezanie záujmového územia (odstránenie bodov mimo skúmanú oblasť) a redukciu hustoty bodov na polovicu. Keďže priestorová hustota po TLS býva nerovnomerná, táto redukcia výrazne znížila objem dát pri zachovaní ich reprezentatívnosti. Nasledovala filtrácia šumu, ktorá z mračna odstránila izolované body nevzniknuté odrazom od povrchu skúmaného objektu.

Pre automatickú klasifikáciu bola využitá metóda CANUPO (CAractérisation de NUages de POints). Jej princípy navrhli Brodu a Lague v roku 2012, ako spôsob spracovania bodov v zložitých prírodných podmienkach. Metóda je založená na multi-škálovej analýze rozmernosti, pri ktorej sa pre každý bod vyhodnocuje geometrická štruktúra jeho okolia v rôznych priestorových mierkach. Ide o binárny klasifikátor, ktorý rozlišuje dve triedy povrchov na základe natrénovaného modelu.

[1] Mgr. Miroslav KOŽUCH, PhD., Univerzita Komenského v Bratislave, Katedra fyzickej geografie a geoinformatiky, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, miroslav.kozuch@uniba.sk

[2] Mgr. Veronika ZAJACOVÁ, Slovenská správa ciest, Dúbravská cesta 1152/3, 841 04 Bratislava, veronikazajacova86@gmail.com

V súlade s klasifikačnou schémou *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* boli zvolené dve triedy: trieda 2 – *Ground* (reliéf) a trieda 5 – *High Vegetation* (stromy, kríky a ďalšia vysoká vegetácia). Voľba odrážala charakter územia, kde bolo potrebné odlíšiť samotný povrch erózneho svahu od prekrývajúcej vegetácie.

Trénovanie klasifikátora prebiehalo iteratívne v dvoch fázach pomocou segmentačných nástrojov v softvéri CloudCompare. Aby bolo experimentovanie s parametrami rýchlejšie, trénovanie sa najskôr realizovalo na menšej vzorke dát. Pre každú triedu boli manuálne vybrané reprezentatívne skupiny bodov zachytávajúce rôzne reálne situácie. Pre triedu *Ground* išlo o naklonené časti svahu, zatiaľ čo pre triedu *High Vegetation* o kmene, konáre, kríky a popadané stromy. Tieto vzorky sa následne zlúčili do samostatných mračien pre každú triedu.

Na základe týchto dát sa vypočítala multi-škálová geometrická charakteristika bodov a určila sa optimálna lineárna separačná hranica oboch tried. Proces vlastnej klasifikácie prebiehal najskôr s predvolenými a druhej fáze na celom mračne bodov s upravenými parametrami. Testovali sa rôzne kombinácie tréningových vzoriek a menili sa hodnoty parametra výberu bodov (*Core points*).

V tejto fáze sa hľadal najlepší kompromis medzi správnosťou klasifikácie a výpočtovým časom v parametri výberu bodov. Nižšia hodnota tohto parametra znamená hustejšie prevzorkovanie a vyššiu správnosť, avšak za cenu výrazne dlhšieho výpočtu.

Metóda CANUPO korektne rozlíšila povrch erózneho svahu (*Ground*) od vegetačného krytu (*High Vegetation*). Algoritmus správne zaradil do vegetácie nielen stojace stromy, ale aj popadané kmene ležiace na svahu a v rieke a odhalené korene. To potvrdzuje, že táto metóda dokáže efektívne separovať povrch reliéfu aj v takto náročnom a husto zarastenom teréne.

Súčasťou klasifikácie bol aj report pre skalárne pole každého bodu s hodnotou klasifikačnej spoľahlivosti, ktorá vyjadruje, s akou istotou bol daný bod zaradený do príslušnej triedy. Pre obe lokality dosahovala hodnota správnosti úroveň okolo 92 %.

Výsledkom práce je klasifikované mračno bodov, ktoré umožňuje detailnú analýzu morfológie erózneho svahu a jeho priestorových charakteristík. Dôležitým metodickým zistením je, že optimálne nastavenie parametra *Core points* závisí od veľkosti dát a dostupného výpočtového výkonu. Pre plánovanie budúcich meraní to znamená, že vhodné nastavenie bude potrebné vždy stanoviť experimentálne.

Predložená metodika slúži ako podklad pre budúce opakované merania na rovnakom území, ktoré umožnia kvantifikovať dynamiku zmien svahu a odhadnúť objem erodovaného materiálu. Podľa dostupných zdrojov zatiaľ nebola v slovenských podmienkach publikovaná štúdia, ktorá by kombinovala TLS s automatickou klasifikáciou mračna bodov v takomto prírodnom prostredí.

Práca vznikla s podporou projektu APVV-22-0024 Fyzikálna geomorfometria pre fyzickogeografický výskum.

Kľúčové slová: terestrický laserový skener, mračno bodov, klasifikačná schéma, klasifikácia CANUPO, fyzikálna geomorfometria

Keywords: terrestrial laser scanner, point cloud, classification scheme, CANUPO classification, physical geomorphometry