

**POKROČILÉ TECHNIKY UROVNANIA LETOVÝCH LÍNIÍ DVOJKANÁLOVÉHO LIDAR
SYSTÉMU PRE MAPOVACIE KAMPANE ROZLAHLÝCH ÚZEMÍ****GIS OSTRAVA 2025**

Ján KAŇUK¹, Michal GIRMALA¹, Róbert KRAJČOVIČ¹, Pavol VAŠKO¹, Michal GALLAY²,
Miloslav ĎURICA^{1, 3}

¹ PHOTOMAP, s.r.o., Poludníková 3/1453, 040 12 Košice, Slovenská republika
jan.kanuk@photomap.sk

² Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Jesenná 5, 040 01
Košice, Slovenská republika

³ AERIMAP, s.r.o., Piletická 486, Věkoše, 503 41 Hradec Králové, Česká republika

Abstrakt

Pre dosiahnutie vysokej kvality výsledných dát z leteckého laserového skenovania je nevyhnutné odstrániť chyby spôsobené nesúlalom medzi jednotlivými pásmi, ktorých zdrojom sú nepresnosti v určovaní polohy spôsobené chybami GNSS, drift a oscilácia senzorov inerciálnej meracej jednotky (IMU), nesprávne určenie osí LiDAR senzora voči IMU (boresight misalignment), vibrácie lietadla a variácie v letovej výške, vysoká variabilita a komplexnosť geometrie snímaných povrchov, atmosférické podmienky a pod. Tento problém sa pri súčasnej generácii dvojkanálových LiDAR systémov ešte znásobuje, keďže z jedného letového pásu sú simultánne generované dáta z dvoch skenerov, ktoré je taktiež potrebné zarovnať. V prípade veľkých projektov, ktoré pokrývajú rozľahlé územia (niekoľko stoviek km²), je ďalšou výzvou aj spracovanie takýchto veľkoobjemových dát, ktoré kladú vysoké výpočtové nároky. Z hľadiska úspešného zvládnutia projektu je nemenej dôležité zvažovať časové hľadisko.

V predkladanom príspevku prezentujeme výsledky porovnania dvoch prístupov ku urovňaniu letových pásov z dvojkanálového LiDAR systém Riegl VQ-1560 II-S. Prvý prístup je implementovaný v softvéri TerraMatch. Po predspracovaní, ktoré zahŕňa filtrovanie šumu a klasifikáciu mračien bodov do základných tried, sa extrahujú spojovacie body a línie. Pomocou týchto geometrických prvkov je iteratívnym spôsobom vykonaná optimalizácia lokálnych transformačných parametrov pre korekciu polohy bodov. Druhý prístup je implementovaný v softvéri BayesStripAlign, ktorý je založený na výpočte posteriornej funkcie pravdepodobnosti pomocou Bayesovho pravidla. Ide o štatistický prístup umožňujúci urovňanie letových pásov hľadaním lokálnych transformačných kľúčov pomocou kombinácie odvodených parametrov z mračien bodov a kvantifikáciou neistoty. V tomto procese zohráva kľúčovú úlohu váhovanie bodov pre minimalizáciu šumu a zvýšenie presnosti urovňania letových pásov. Taktiež tento postup eliminuje arbitrárne rozhodnutia pre stanovenie hraničných hodnôt pre filtráciu bodov, na základe ktorých dochádza ku výpočtu lokálnych transformačných funkcií. Zjednodušene by sme mohli povedať, že kým pomocou prvého prístupu sú viac pod kontrolou užívateľa parametre pre výpočet lokálnych transformačných kľúčov, druhý prístup je plne automatizovaný a časovo efektívnejší.

Cieľom príspevku je porovnanie dvoch prístupov k urovňaniu letových pásov pre dvojkanálový LiDAR systém, testovaných na území s rozlohou viac ako 1000 km², kde jednotlivé letové línie dosahovali viac ako 50 km. V oboch prípadoch bola dosiahnutá stredná kvadratická chyba (RMSE) približne na úrovni 0,05 m. Priestorové rozloženie chyby však naznačuje, že presnosť jednotlivých prístupov sa líši v závislosti od charakteru územia a typu krajiny pokrývky.

Abstract

To achieve high-quality data from aerial laser scanning, it is necessary to eliminate errors caused by inconsistencies between individual strips. These inconsistencies arise from inaccuracies in position determination due to GNSS errors, drift and oscillation of inertial measurement unit (IMU) sensors, incorrect determination of the LiDAR sensor axes relative to the IMU (boresight misalignment), aircraft vibrations and variations in flight altitude, high variability and complexity of the geometry of the scanned surfaces, atmospheric conditions, and other factors. This challenge is further amplified in the latest generation of dual-channel LiDAR systems, where data from two scanners are simultaneously generated from a single flight line and must also be aligned.

In large-scale projects covering vast areas (several hundreds of square kilometres), another significant challenge is processing the resulting large-volume data, which imposes high computational demands. From a project management perspective, the time required for data processing is also a critical factor.

This paper presents the results of a comparison between two approaches to flight strip alignment for a dual-channel Riegl VQ-1560 II-S LiDAR system. The first approach is implemented in TerraMatch software. After preprocessing—which includes noise filtering and point cloud classification into basic classes—connection points and lines are extracted. Using these geometric elements, an iterative optimization of local transformation parameters for point position correction is performed.

The second approach is implemented in BayesStripAlign software, which is based on calculating the posterior probability function using Bayes' rule. This statistical method enables flight strip alignment by searching for local transformation keys through a combination of parameters derived from point clouds while quantifying uncertainty. In this process, point weighting plays a crucial role in minimizing noise and improving the accuracy of flight strip alignment. This approach also eliminates arbitrary decisions when determining threshold values for filtering points, which are used to compute local transformation functions.

Simply put, while the first approach gives the user greater control over the parameters used for calculating local transformation keys, the second approach is fully automated and more time-efficient.

The aim of this paper is to compare these two-flight strip alignment approaches for a dual-channel LiDAR system, tested on an area exceeding 1000 km², with individual flight lines extending over 50 km. In both cases, the root mean square error (RMSE) was approximately 0.05 m. However, the spatial distribution of the error suggests that the accuracy of each approach varies depending on the characteristics of the area and the type of land cover.

Klíčová slova: urovnání pásov, dvojkanálový systém LiDAR, bayesovská optimalizace, spracovanie mračna bodov, korekcia polohy

Keywords: Strips alignment, Dual-channel LiDAR systém, Bayesian optimization, Point cloud processing, Georeferencing accuracy.