

Analiza dokładności lotniczego skanera laserowego DJI Zenmuse L1

Demokratyczny, ale czy dokładny?

Zaprezentowany dwa lata temu przez firmę DJI lidar dla dronów L1 pozwolił uwierzyć, że skanowanie laserowe wreszcie stanie się dostępne także dla mniej zasobnych geodetów. Tylko czy sensor ten w ogóle sprawdza się w zastosowaniach geodezyjnych?



Dron DJI Matrice 300 RTK ze skanerem L1

Fot. DJI

Jerzy Królikowski

Jak zachwala DJI, chiński dronowy potentat, L1 demokratyzuje dostęp do lotniczego skanowania laserowego. I na pierwszy rzut oka trudno odmówić mu racji. Jeszcze raptem dekadę temu, przed dronową rewolucją w geodezji, koszt lotniczego lidaru był liczbą siedmiocyfrową. Gdy producenci tych urządzeń dostrzegli potencjał w bezzałogowcach, wypuścili wprawdzie na rynek rozwiązania znacznie tańsze, ale i tak wciąż bardzo drogie. Na sensor dla bezzałogowych systemów skanujących (ULS) trzeba było wyłożyć przynajmniej 100 tys. euro. Inwestycja była zatem opłacalna jedynie dla firm geodezyjnych ze sporym portfelem zleceń.

Wszystko zmieniło się jesienią 2020 roku, gdy cały rynek ULS wywróciło do gó-

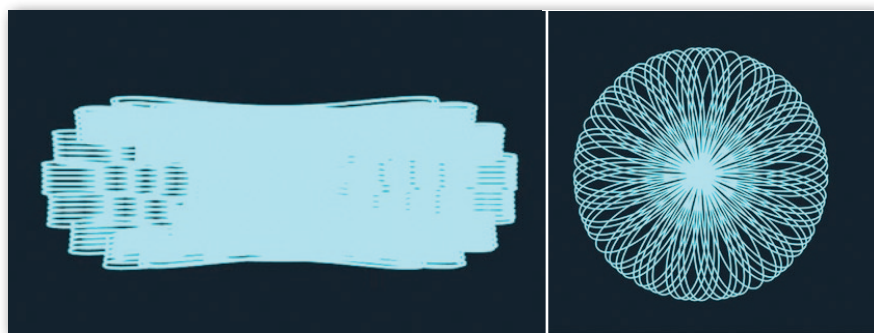
ry nogami jedno urządzenie – DJI Zenmuse L1. System ten mierzy 480 tys. pkt/s na dystansie do 450 metrów z deklarowaną dokładnością sięgającą 10 cm. Do tego wyposażony jest w kamerę 20 Mpx, która może być wykorzystana nie tylko do kolorowania chmury punktów, ale i do tworzenia ortofotomapy. System wyróżnia waga poniżej 1 kg, która przekłada się na dłuższy czas nalotu niż w wielu konkurencyjnych rozwiązaniach. Wspomnieć warto również o montażu skanera na gimbalu, co pozwala odchylić go od nadiru (właściwość przydatna chociażby w pomiarach linii energetycznych).

Istotną zaletą L1 jest ponadto intuicyjność obsługi. Ścisła integracja sensora z dronem DJI Matrice 300 RTK oraz oprogramowaniem DJI Pilot sprawia, że planowanie i wykonywanie misji fotogrametrycznych jest bardzo proste. Auto-

matyczne funkcje same dbają o to, by ryzyko ewentualnych błędów ograniczyć do minimum.

Ale nie oszukujmy się – najważniejszą zaletą tego lidaru jest bezkonkurencyjna cena. Jego właścicielem można stać się już za nieco ponad 50 tys. zł. W stosunku do innych tego typu rozwiązań sprzed dwóch lat oznaczało to aż kilkukrotną przecenę (dziś różnice te nie są już tak wielkie).

Każde to zadać sobie pytanie, czy za tę niezwykle atrakcyjną ofertą nie kryje się drastyczna obniżka jakości danych pozyskiwanych przez L1? Jako że dwa lata po premierze skanera ten ma już spore grono użytkowników, którzy zrealizowali przy jego użyciu wiele praktycznych projektów, znalezienie rzetelnej odpowiedzi na to pytanie nie powinno być trudne.



Źródło: DJI

Skanowanie w trybie „repetitive” (po lewej) i „non-repetitive” (po prawej)

• Rozłożmy L1 na części

Nim jednak zagębimy się w analizie dokładnościowe, przyjrzyjmy się, z czego zbudowany jest system L1. To niezbędne, by zrozumieć, co wpływa na jego finalny błąd. Oczywiście najważniejszym elementem jest sam **lidar**, który – jak geodetom doskonale wiadomo – działa na zasadzie dalmierza laserowego. W L1 zamontowano skaner Avia firmy Livox. Jego deklarowana dokładność pomiaru wynosi: 3 cm na dystansie 30 metrów, 6 cm na 60 metrach oraz 12,4 cm na 120 metrach. Dla porównania najbardziej topowe lidary austriackiego Riegla oferują dokładność na poziomie 1 cm przy znacznie większym zasięgu (nawet do blisko 2 km). Tu warto dodać dwie ciekawostki. Po pierwsze, Avia montowana jest w kilku innych systemach ULS konkurencyjnych marek (szczególnie tych z niższej półki). Po drugie, firma Livox jest częścią DJI, a więc – przynajmniej w teorii – to właśnie L1 powinien być najlepszą implementacją modelu Avia.

Drugi oczywisty element lotniczego systemu pomiarowego to **odbiornik GNSS**. W przypadku drona DJI Matrice 300 RTK (przeznaczonego dla skanera L1) mamy do czynienia z instrumentem pracującym zarówno w technologii RTK, jak i PPK (o różnicach między nimi pisaliśmy w *GEODECIE 5/2022*). Obydwa rozwiązania pozwalają na wyznaczanie pozycji z dokładnością pojedynczych centymetrów, choć oczywiście może ona zostać obniżona np. przez wysoką aktywność jonosfery, większą odległość od stacji referencyjnej czy celowe bądź przypadkowe zakłócenie.

Elementem systemu ULS, który jest niezwykle istotny, choć mało się o nim mówi, jest **inercyjna jednostka pomiarowa (IMU)**. Każdy, kto obserwował drona, szczególnie na wietrze, z pewnością zauważył, jak dynamicznie zmienia się jego orientacja. Odbiornik GNSS nie jest w stanie kompensować wpływu tych ruchów, dlatego potrzebna jest IMU. I niewątpliwie ten sensor czyni tu różnicę i jednocześnie przekłada się na znacznie niższą cenę. W przypadku L1 kąty *roll* i *pitch*

wyznaczane są z błędem 0,025°. Gorzej sytuacja wygląda z kątem *yaw*, gdzie dokładność spada do 0,15°. By ograniczyć związany z tym błąd, w L1 zamontowano dodatkowy sensor optyczny nazwany „optical flow” (niewielki obiektowy obok kamery). Dla porównania, w znacznie droższych jednostkach renomowanej marki Applanix (część grupy Trimble) te dokładności mogą osiągać nawet 0,015° dla *roll* i *pitch* oraz 0,035° dla *yaw*.

A w finalnym zestawie błędów nie można pominąć tych niezwiązanych ściśle z pracą L1, a np. z niedoskonałościami **osnowy pomiarowej (fotopunktów)**. Okazuje się, że po uwzględnieniu wyżej przytoczonych wartości potencjalny błąd pomiaru L1 może sięgać 11,7–14,0 cm przy pułapie 30 metrów do nawet 25,6–36,6 cm przy 120 metrach. Z punktu widzenia pomiarów geodezyjnych wartości te prezentują się kiepsko. Wynika z nich bowiem, że zgodnie z polskim prawem system ten nie nadaje się do pomiarów szczegółów I grupy. Podkreślamy, że mowa jest tu wyłącznie o wartościach czysto teoretycznych. A jak L1 radzi sobie w praktyce?

• Chmura pod amerykańską lupą

Na ten temat powstało już sporo opracowań naukowych. My przytoczymy analizę przeprowadzoną przez amerykańską firmę BAAM Tech, która działa m.in. w branży fotogrametrycznej. Podstawową zaletą jej badań jest to, że bazują one nie na sztucznych poligonach badawczych, lecz na konkretnych pracach geodezyjnych. Pozwalają zatem wszechstronnie ocenić, co L1 może zdziałać w praktyce geodezyjnej.

W swoim pierwszym teście eksperci z BAAM Tech przeanalizowali dane pozyskane podczas skanowania 31 obiektów na przestrzeni kilku miesięcy 2022 roku. Badanie wykazało, że w skrajnych przypadkach odchyłki wysokości potrafią przekraczać +10,5 cm oraz –8,7 cm. Dla geodety istotne są jednak wartości uśrednione i tu firma BAAM Tech skupiła się na średniokwadratowym błędzie wysokości (RMSEz). Je-

go maksymalną zarejestrowaną wartością podczas realizacji 31 projektów było 7,0 cm, minimalną – 0,3 cm (średnia – 2,0 cm, mediana 2,2 cm). W ocenie Christiana Stallingsa z BAAM Tech kluczowym wnioskiem z tego testu jest to, że L1 zapewnia spójne wyniki w długim okresie użytkowania.

Drugi sprawdzian dotyczył już tylko jednej lokalizacji. Podczas realizacji projektu wymiany mostu w stanie Kansas wykonawca prac chciał porównać różnorodne technologie pomiarowe. Na niewielkim obszarze założono więc bardzo gęstą sieć precyzyjnej osnowy wysokościowej – łącznie 176 punktów. Dla każdego z nich współrzędne X, Y wyznaczono techniką GNSS, a Z – cyfrowym niwelatorem. Nad tym obszarem testowym wykonano trzy loty ze skanerem L1. Misje nr 1 i 3 zrealizowano na wysokości 60 metrów, a nr 2 – na 30 metrach. Jednocześnie w lotach nr 1 i 2 wykorzystano tryb skanowania „repetitive”, a w nr 3 „non-repetitive” – potencjalnie mniej dokładny, choć przydatny w niektórych zastosowaniach, np. gdy wymagamy wysokiej szczegółowości (patrz rys.).

Wyniki testu prezentuje tabela poniżej. Jak komentuje Christian Stallings z BAAM Tech, były one generalnie pozytywnym zaskoczeniem, szczególnie lot nr 3, który w teorii powinien wypaść

Różnice między chmurą punktów z L1 a 176 pkt osnowy [m]

	lot 1	lot 2	lot 3
minimalna	-0,030	-0,070	-0,080
maksymalna	0,033	0,035	0,033
RMS	0,013	0,015	0,013

najgorzej. Wspomnieć też warto, że na 528 przeanalizowanych wyników (czyli 3 x 176) największa odchyłka wyniosła tylko 8 cm. Należy tu podkreślić, że mówimy o pomiarach płaskiej betonowej powierzchni. Gdyby analiza objęła tereny porośnięte trawą czy lasem, błąd z pewnością byłby znacznie większy. Potwierdzają to zresztą inne badania, które można znaleźć w czasopiśmie naukowych czy na blogach.

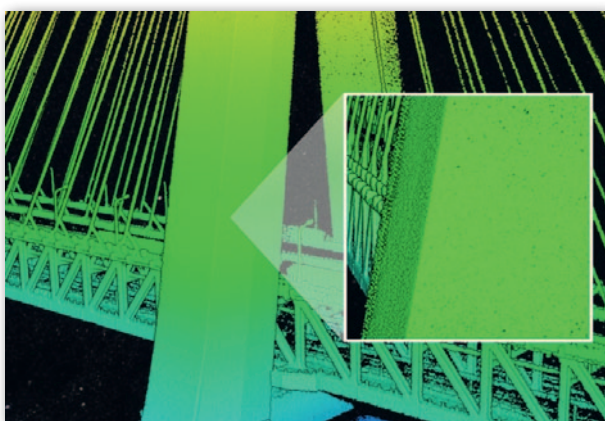
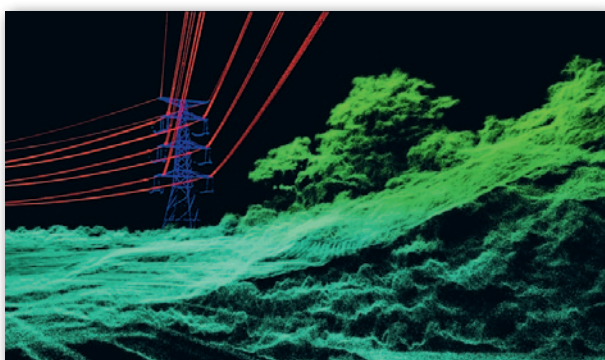
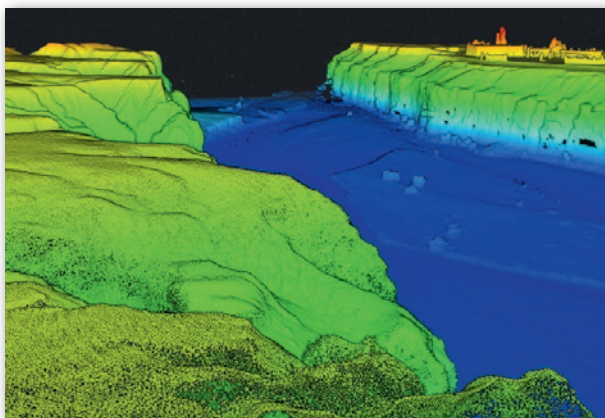
• Szumiący problem

W eksperckich opiniach bodaj najczęstszym zarzutem formułowanym wobec skanera L1 są relatywnie wysokie szumy, które niekorzystnie rzutują na precyzję pomiaru. Ujmując rzecz prosto, jeśli skanujemy płaską powierzchnię, np. asfaltową drogę, wynikowa chmura wyjdzie nam w przekroju względnie

Przykładowe chmury punktów pozyskane przez L1

„gruba”. Istnienie tego problemu potwierdzają specjaliści z BAAM Tech. Ale zaznaczają jednocześnie, że można sobie z tym łatwo poradzić. Christian Stallings zaleca wykorzystanie pakietu oprogramowania fotogrametrycznego TerraSolid, w którym zaimplementowano nawet specjalne narzędzie do łatwej obróbki chmury z L1.

Jego funkcjonowanie również było przedmiotem testu firmy BAAM Tech. Podobnie jak w poprzedniej analizie sięgnięto po chmurę punktów z trzech wspomnianych już nalotów, a następnie podzielono ją na 52 segmenty odpowiadające w teorii idealnie płaskim odcinkom betonowej drogi. Wynik? Precyzja z prawdopodobieństwem 95% wyniosła 0,5 cm dla lotu nr 1 oraz 0,7 cm dla lotów nr 2 i 3. Według Christiana Stallingsa rezultaty te okazały się nawet 5 razy lepsze niż przed postprocessingiem w pakiecie TerraSolid. Co więcej, obróbka chmury, choć zmniejszyła jej gęstość, pozwoliła znacznie lepiej uchwycić detale mierzonych obiektów.



my bowiem nową funkcję *Smooth Point Cloud*, która powinna minimalizować szumy z L1.

• Standardowo – tak, z wysoką precyzją – niekoniecznie

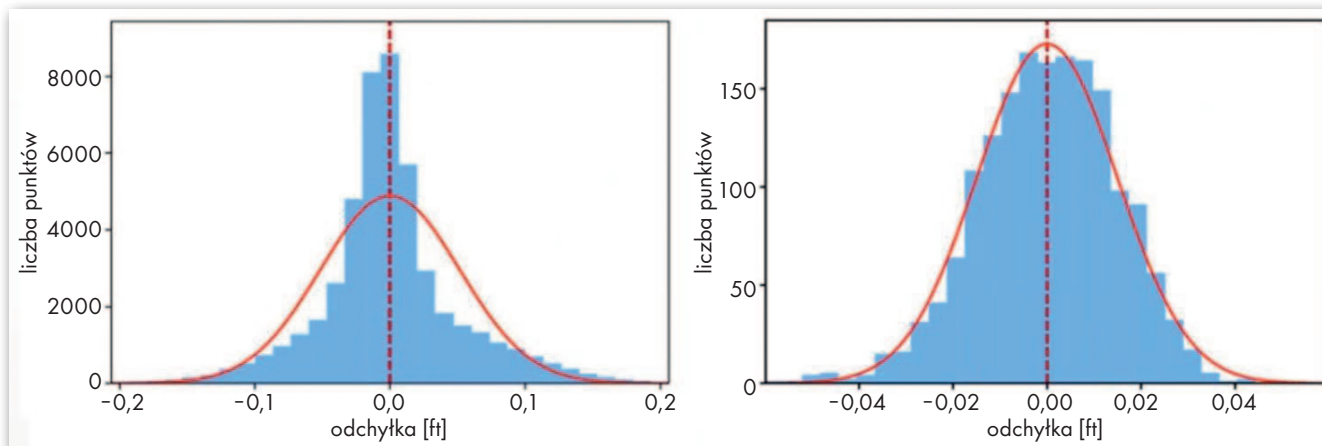
Opisując badania BAAM Tech, można przytaczać jeszcze setki innych liczb. Tylko jaki praktyczny wniosek z nich płynie? By odpowiedzieć na to pytanie, otrzymane wyniki zestawiono ze specyfikacją danych geoprzestrzennych opracowaną w 2014 roku przez Amerykańskie Stowarzyszenie Fotogrametrii i Teledetekcji (ASPRS). „To złoty standard w pracach geodezyjnych” – ocenia ten dokument Christian Stallings. Znajdziemy tam m.in. wyszczególnione kategorie dokładnościowe „*standard grade*” oraz „*max grade*”. Pierwsza w praktyce obejmuje zdecydowaną większość prac geodezyjnych, druga odpowiada zaś zleceniom wymagającym najwyższej dokładności i precyzji.

Podsumowując swoje wyniki badań, eksperci z BAAM Tech stwierdzają, że dron wyposażony w skaner L1 zapewni powtarzalne i wiarygodne wyniki spełniające wymogi „*standard grade*”, a w sprzyjających warunkach pozwala nawet osiągnąć specyfikację „*max grade*”. L1 nie jest zatem lidarem doskonałym i nie do wszystkiego się nadaje. Wymaga ponadto umiejętnej obsługi, głównie w zakresie postprocessingu danych. Niewątpliwie jednak oferuje niezwykle korzystny stosunek ceny do oferowanej jakości i może okazać się świetnym narzędziem dla mniejszych firm geodezyjnych – konkludują autorzy badania.

Jerzy Królikowski

Na marginesie dodajmy, że problem „grubej chmury” dostrzegła już także firma DJI. W wypuszczonej w listopadzie 2022 roku aktualizacji oprogramowania fotogrametrycznego DJI Terra znajdzie-

Artykuł opracowany na podstawie internetowego seminarium zorganizowanego przez firmę DJI



Porównanie precyzji chmury punktów z L1 przed (po lewej) i po postprocessingu (po prawej); 1 ft = 30,48 cm