Doświadczenia firmy MSP w skanowaniu laserowym z użyciem bezzałogowych systemów latających (BSL)

Modne, ale czy praktyczne?



Rys. 1. Samolot bezzałogowy NEO2 ze skanerem Riegl VUX1 na wózku startowym

W branży bezzałogowców pomysły często prześcigają rzeczywistość. Przeciętnemu obserwatorowi wydaje się, że dron wykona każde zadanie: „O, można nawet przeskanować 100 km drogi!”. Wyjaśnijmy, dlaczego to nie takie proste.

Michał Choromański,
Wieńczysław Plutecki

Integrowanie LiDAR-u z systemami bezzałogowymi jest dziś w modzie, bo to temat chwytliwy, nowy, a jednocześnie technologicznie dojrzewający. Skanery laserowe są wciąż znacznie rzadziej instalowane na dronach niż kamery niemetryczne. Związane jest to głównie z wysoką ceną skanerów, a – co za tym idzie – również z podwyższonym ryzykiem ekonomicznym dotyczącym ich eksploatacji. Coraz wyraźniej widać jednak spadek cen oraz miniaturyzację skanerów czołowych producentów, takich jak Riegl, YellowScan czy Velodyne. Można więc przypuszczać, że w najbliższej przyszłości LiDAR-y staną się dla branży BSL narzędziem stosowanym równie często jak dziś kamery.

Kwestia orientacji

Od skanera oczekujemy kartometrycznej informacji o terenie lub o obiekcie będącym przedmiotem pomiaru. Poprzez kartometryczność należy rozumieć zarówno dokładność wzajemną, jak i bezwzględną chmury punktów. W przypadku tradycyjnego skanowania statycznego (naziemnego) obiektów architektonicznych lub dziedzictwa kulturowego nierzadko potrzebujemy jedynie wysokiej dokładności wzajemnej. Wystarczy bowiem, że skany z poszczególnych stanowisk dobrze ze sobą powiążemy, a otrzymamy przestrzenny i metryczny model o odpowiedniej dokładności wewnętrznej (przy jednoczesnym braku orientacji w globalnym układzie odniesienia).

Sytuacja przedstawia się zupełnie inaczej w przypadku mobilnego skanowania wykonywanego za pomocą skanerów instalowanych w samolocie lub na samochodzie, gdzie wymagana jest również wysoka dokładność bezwzględna. By ją osiągnąć, niezbędne jest zastosowanie inercyjnego systemu nawigacji (INS), którego kluczowym elementem jest jednostka inercyjna (IMU). Służy ona do pomiaru orientacji kątowej skanera oraz przyspieszeń liniowych. Jako że jej wskazania charakteryzują się dość dużym dryftem, wymagane jest również wykorzystanie wysokiej jakości sygnałów GNSS pozwalających na wyznaczenie pozycji z dokładnością pojedynczych centymetrów. W takiej konfiguracji (INS/GNSS) chwilowe



Rys. 2. Układanie pasa startowego z płyt dla samolotu NEO2

zaburzenia w odbiorze sygnałów satelitarnych nie są szkodliwe, jednak dłuższe braki powodowałyby zauważalny wpływ dryftu systemu inercyjnego na geometrię danych.

W dobie powszechnej miniaturyzacji również urządzenia IMU zmniejszyły swoje rozmiary na tyle, że możliwe stało się ich montowanie w systemach bezzałogowych. Niestety – w porównaniu z jednostkami cięższymi i większymi stosowanymi w fotogrametrii wysokopułapowej – stało się to kosztem dokładności kątowej. Na szczęście ten niekorzystny wpływ jest z nawiązką rekompensowany przez niski pułap operacyjny platform bezzałogowych. Przy poprawnym doborze IMU osiągnięcie odpowiednio małego bezwzględnego błędu pomiaru nie przysparza większych problemów.

Ponadto w przypadku skanowania z dużych wysokości – typowego dla platform załogowych – konieczne jest wzajemne wyrównywanie pasów skanowania z uwagi na wymaganą wysoką dokładność kątową trajektorii. Problem ten nie jest aż tak istotny w przypadku chmur punktów pozyskiwanych z niskiego pułapu. Odpowiednio obliczona trajektoria pozwala otrzymać dokładność kątową w zupełności wystarczającą do wykonania georeferencji wprost, co znacznie redukuje czas potrzebny na przetworzenie danych do postaci kartometrycznej.

Ciężkie początki

Pierwszy test warszawskiej firmy MSP ze skanerem zainstalowanym na bezzałogowym samolocie został wykonany zimą 2015 roku. Na płatowcu NEO2 (o rozpiętości skrzydeł 3,6 m) zainstalowano skaner VUX firmy Riegl. Za tym prostym zdaniem kryje się jednak żmudne przygotowanie systemu do lotu. Skaner VUX skonstruowano, co prawda, z myślą o systemach bezzałogowych, ale waży on grubo ponad 4 kg, co w kategoriach BSL jest wartością znaczącą. Samolot NEO2 nie był projektowany do uniesienia takiego ładunku (za to jego następca, NEO3, już tak). Przy nominalnej masie startowej 11 kg przeciążenie sięgało 3,5 kg. Oczywiste było, że startujący normalnie z ręki NEO2 w tym przypadku będzie musiał wzbić się w inny sposób. Wykonany został więc specjalny wózek startowy pełniący funkcję podwozia w momencie startu (rys. 1), a z płyt OSB ułożono pas startowy (rys. 2). Ponadto wprawdzie skaner mieścił się w kadłubie NEO2, ale jego instalacja i tak wymagała wykonania wielu modyfikacji konstrukcji, w tym zaprojektowania specjalnej kasety. Nie trzeba chyba dodawać, że właściwy lot z instrumentem poprzedzony został testami z ładunkiem zastępczym.

Tak przygotowana konstrukcja zdała egzamin i NEO2 z VUX-em wzniósł się w powietrze. Wykonano jeden kilkunastominutowy lot, w trakcie którego zarejestrowano podwójną (lecąc tam i z powrotem) chmurę punktów dla dystansu około 4 km. Testowe dane cechowały się dużą gęstością chmury (30-40 pkt/m^2), poprawną równomiernością oraz były spójne geometrycznie. W postprocessingu zostały zorientowane z dokładnością bezwzględną poniżej 5 cm.

Dlaczego firma zdobyła się na taki stresujący test? Otóż jej zamiarem było jednoznaczne i praktyczne sprawdzenie tej technologii oraz parametrów skanowania z wykorzystaniem systemów bezzałogowych tak szeroko zachwalanych w folderach reklamowych oraz komentowanych w internecie. W planach firmy było ponadto przygotowanie zaawansowanych technologii pomiarowych oraz przeprowadzenie projektów badawczo-rozwojowych, a skaner VUX posiada parametry odpowiednie do operowania z samolotu. Są to: znaczny zasięg pomiaru (do kilkuset metrów) i wysoka (regulowana) częstotliwość próbkowania (nawet 500 Hz).



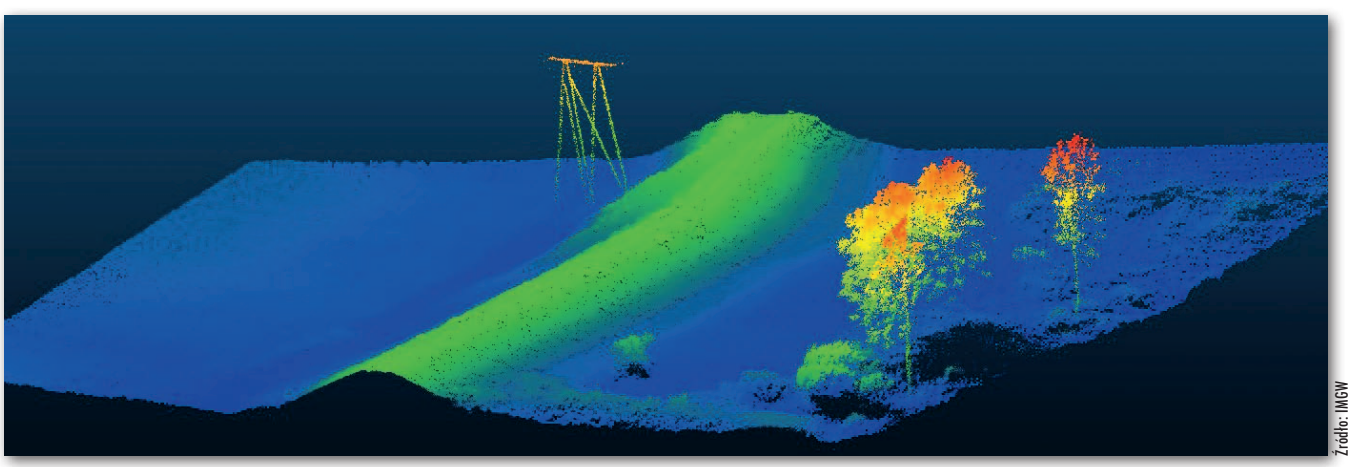
Rys. 3. System skanowania produkcji MSP: wielowirnikowiec ZAWISAK z LiDAR-em Yellowscan Surveyor

Oprócz tego dane mogą być klasyfikowane z uwzględnieniem wielu odbić (ech) wysłanego impulsu. Przy prędkości przelotowej 80-100 km/h powyższe parametry umożliwiają pozyskiwanie chmury punktów o gęstości 20 pkt/m^2 lub nawet większej. Oczywistym minusem skanera jest jego waga, duży pobór energii i cena.

Gdzie płatowiec nie może

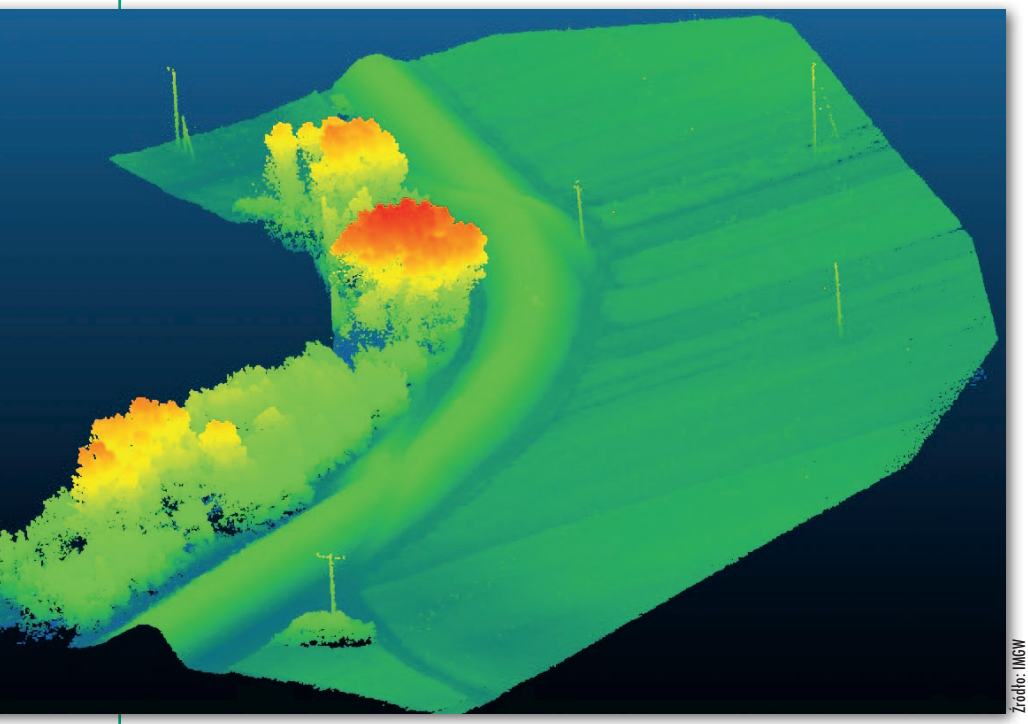
Niewątpliwie montaż i użytkowanie małych skanerów na platformach wielowirnikowych są łatwiejsze i skuteczniejsze niż w przypadku płatowców. To kwestia zarówno prostszej procedury startu oraz lądowania, jak i parametrów skanerów dostępnych obecnie na rynku (przede wszystkim krótkiego zasięgu pomiaru). Jeśli chodzi o ten drugi element, to na razie wybór LiDAR-ów dla BSL oferujących odpowiednio niską wagę (ok. 2 kg) oraz dostarczających dokładne, wiarygodne i powtarzalne dane, jest niewielki. Na uwagę zasługują przede wszystkim Surveyor firmy Yellowscan (zaprezentowany w 2016 r.) oraz miniVUX firmy Riegl (2016 r.).

W 2015 r. firma MSP przygotowała bezzałogowy system skanujący bazujący na własnym, sprawdzonym wielowirnikowcu ZAWISAK, pierwotnie zapro-



Źródło: IMGW

Rys. 4. Fragment chmury punktów wału przeciwpowodziowego



Źródło: IMGW

Rys. 5. Fragment chmury punktów wału przeciwpowodziowego

jektowanym do długotrwałej eksploatacji w zastosowaniach militarnych. W tamtym okresie najbardziej obiecującym skanerem na rynku był model Mapper firmy Yellowscan. Pod względem wagi odpowiadał bowiem możliwościom ZAWISAK-a. Dobra współpraca z firmą Yellowscan oraz uzyskane przeszkolenie pozwoliły na sprawną integrację skanera z platformą. Partnerem w tym przedsięwzięciu był Wydział Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej, który wykonał ekspertyzy dotyczące osiąganych dokładności.

Niedługo po integracji podjęto decyzję o zmianie skanera na model Surveyor – nowszy, z dużo lepszymi osiągami. Charakteryzuje się on 2,5 raza wyższą dokładnością pomiaru odległości (4 cm) i pozyskuje chmurę punktów o 3 razy większej dokładności bezwzględnej (5 cm). Ponadto oferuje 7,5 raza większą częstotliwość (do 300 Hz). Co równie ważne, jest jednocześnie niemal o 1/5 lżejszy (1,6 kg).

Oprócz skanera zainstalowano aparat Sony a6000 pozyskujący zdjęcia pionowe do opracowania ortofotomapy, kolorowania chmury punktów oraz wizualizacji 3D modelu terenu. Warto dodać, że system wyposażony jest również w bardzo skuteczny spadochronowy system ratowniczy działający powyżej 30 m.

Dziś ZAWISAK (rys. 3) jest już w pełni operacyjną platformą, która może unosić się w powietrzu do 15 minut. Wykonuje naloty fotogrametryczne nad wałami przeciwpowodziowymi oraz budowlami hydrotechnicznymi, dostarczając chmury punktów i zdjęcia pionowe. Do tej pory pozyskał dane dla ok. 20 km wałów (rys. 4, 5) oraz zapory na Wiśle. Na bieżąco wykonuje kolejne misje nad zabezpieczeniami przeciwpowodziowymi. Ponadto na prośbę firmy Yellowscan uczestniczył w nalocie testowym fragmentu kopalni odkrywkowej Bełchatów. Skanowaniu podlegał obszar 100 ha odkrywki ze średniej wysokości 50 m. Kontrolne płaszczyzny naziemne (użyte jedynie do weryfikacji danych) wykazały dokładność pionową pozyskanej chmury punktów na poziomie 5 cm. Nie ma jednak co ukrywać, że system dojrzewał z czasem. Na skutek uwag użytkowników modyfikowane były zespoły napędowe platformy czy oprogramowanie autopilota.



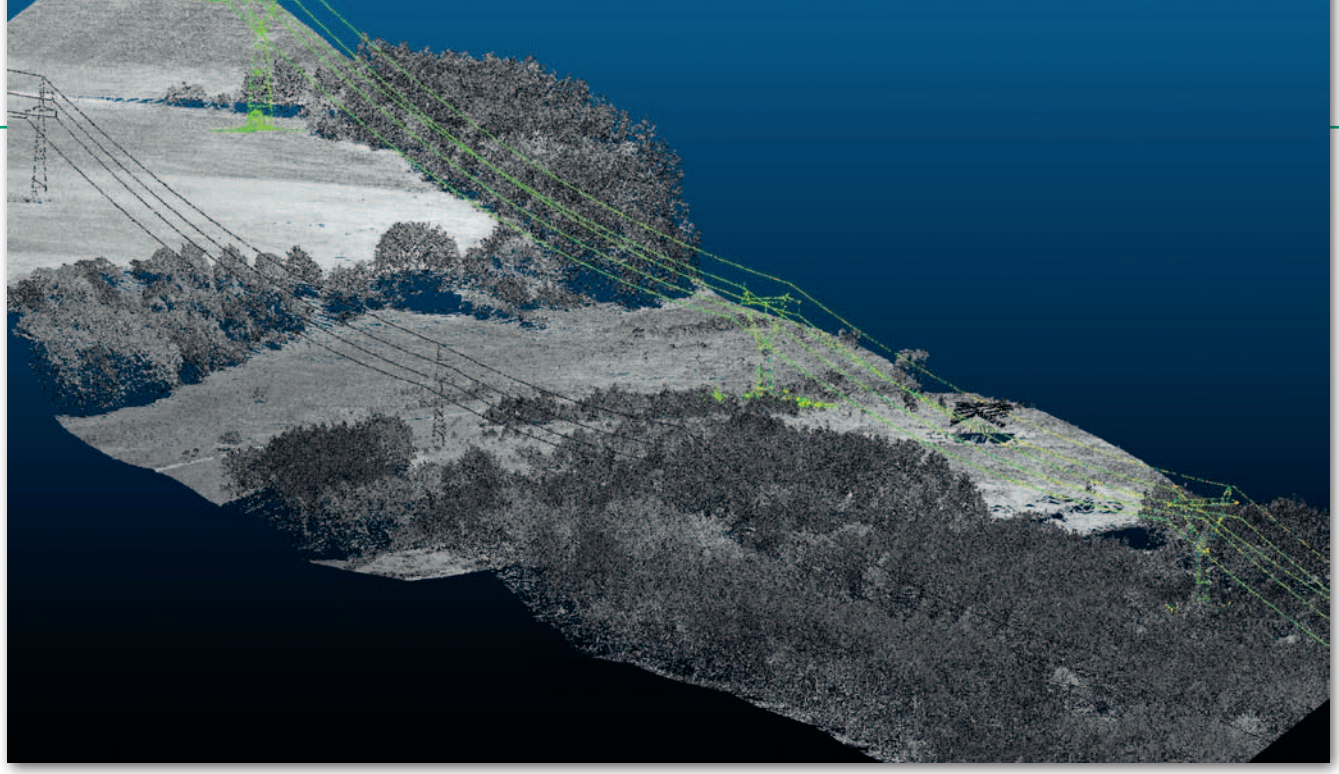
Rys. 6. Samolot NEO3 gotowy do startu z wyrzutni pneumatycznej

Dron przypilnuje wału

Obecnie firma MSP jest partnerem w projekcie SAFEDAM „Zaawansowane technologie wspomagające przeciwdziałanie zagrożeniom związanym z powodziami" (dofinansowanym przez NCBiR ze środków na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa). Przedsięwzięciem kieruje Wydział Geodezji i Kartografii PW, a obok MSP uczestniczą w nim jeszcze: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Centralna Szkoła Państwowa Straży Pożarnej w Częstochowie i firma Astri Polska.

W ramach projektu powstaje pełny system informatyczny oraz rozwiązania do monitorowania zagrożeń powodziowych. Jednym z jego elementów jest podsystem prewencyjny do monitorowania obiektów ochrony przeciwpowodziowej, który składać się będzie z bezzałogowej platformy latającej wyposażonej w skaner lotniczy i kamery RGB oraz NIR do pozyskiwania zdjęć pionowych. Wybór padł na LiDAR miniVUX firmy Riegl z systemem INS/GNSS Applanix AP-15 oraz aparaty Sony a6000. Za tym modelem skanera przemawiał zasięg około 100 m (nieco większy niż w przypadku Yellowscan Surveyor), gdyż docelowym nośnikiem sensorów będzie samolot bezzałogowy NEO3. Platforma przeszła już próby startu z pneumatycznej wyrzutni, lotu i lądowania z obciążeniem adekwatnym do wagi skanera i kamer (łączna masa startowa do 16 kg – rys. 6).

Natomiast miniVUX jest w trakcie testów naziemnych, w tym na samochodzie, w celu zebrania doświadczenia w jego obsłudze i sterowaniu procesem pozyskiwania danych. Wariantem alternatywnym jest ZAWISAK. Wersja z samolotem dysponować będzie znacznie większą wydajnością, podczas gdy wielowirnikowca cechować będzie łatwiejsza obsługa w terenie. W fazie badawczej



Rys. 7. Fragment linii energetycznej zeskanowanej podczas testów MSP

projektu wykorzystany został ponadto skanerowy pomiarowy system bezzałogowy IMGW, dostarczając 10 km bieżących danych: chmur punktów i zdjęć. Projekt SAFEDAM potrwa do końca 2018 roku.

Płatowce czekają na lepsze czasy

Niezależnie od wspomnianych projektów w ramach własnych testów firma MSP przeprowadziła próbne misje, w trakcie których pozyskano dane skanerowe dla fragmentów linii energetycznych (rys. 7 i 8), obiektów inżynieryjnych czy obszarów zalesionych. Dzięki tym przedsięwzięciom uzyskano doświadczenie w integracji i obsłudze bezzałogowego systemu skanowania oraz w przetwarzaniu chmur punktów.

Obserwuje się, że dostawcy tego typu rozwiązań czynią szybkie postępy w kierunku ich doskonalenia i miniaturyzacji. Twórcy skanerów muszą jednak jeszcze powalczyć z wagą sensorów (przynajmniej jej nie zwiększać), zasięgiem (wydłużyć do kilkuset metrów), częstotliwością (utrzymać kilkaset Hz) oraz liczbą odbić (zwiększyć do więcej niż dwóch).

Obecnie parametry dostępnych skanerów pozwalają na ich instalację na wielowirnikowcach. Te statki powietrzne pionowego startu i lądowania umożliwiają udźwig pojedynczych kilogramów, zachowując jeszcze sensowne operacyjnie rozmiary i masę całkowitą (kilkanaście do dwudziestu kg). Pamiętajmy, że według obecnych przepisów po przekroczeniu 25 kg musimy dodatkowo przeprowadzić proces rejestracji maszyny. Bilans energetyczny wielowirnikowców pozwala, niestety, na niezbyt długie loty z takim obciążeniem: kilkanaście do dwudziestu kilku minut. Zaletą skanujących wielowirnikowców jest za to możliwość dowolnego regulowania gęstości skanowania poprzez dobór prędkość przelotu. Tym samym można używać skanerów, których częstotliwości próbkowania nie są duże. Drugą zaletą jest niewielkie ograniczenie wysokości lotu (pomijając warunki narzucane przez topografię terenu lub charakter samych skanowanych obiektów). Statki te latają równie dobrze nisko (np. na 30 m), jak i wysoko (np. 75 m).

Inaczej sytuacja przedstawia się w przypadku płatowców. Z racji swoich właściwości maszyny te nie mogą zejść poniżej pewnego pułapu (zależnego od topografii terenu i jego pokrycia) oraz latają z pewną minimalną prędkością (80-100 km/h). Stąd od razu narzucają się dwa warunki dla skanera: zasięg pomiaru musi wynosić ponad 100 m, a częstotliwość próbkowania powinna wynosić minimum 100 Hz. Inaczej otrzymamy chmurę punktów o niskiej gęstości. Cięższy samolot (kilkanaście kg) wymaga także startu wspomaganego wyrzutnią.

Musimy jeszcze wziąć pod uwagę co najmniej jeden czynnik pozatechnologiczny: cenę skanerów (w okolicach 80-100 tys. euro), a co za tym idzie, zabezpieczenie tak drogiego sprzętu. Robi się to na dwa sposoby: ubezpieczając system oraz wprowadzając odpowiednie rozwiązania technologiczne (np. spadochronowy system ratowniczy). Na marginesie: to dziwne, ale spotyka się pomysły „oszczędnego" instalowania skanera na platformach z marketu.

Nie ma wątpliwości, że w perspektywie kilku lat skanery dla systemów bezzałogowych osiągną poziom cenowy akceptowalny także przez mniej zdeterminowanych użytkowników i staną się zdecydowanie bardziej popularne. Pozostaje jeszcze kwestia regulacji prawnych, które pozwolą swobodnie latać na dłuższych dystansach i wtedy bezzałogowe systemy skanujące będą miały szansę stać się powszechnym wyposażeniem firm geodezyjnych.

Michał Choromański, Wieńczysław Plutecki
MSP



Rys. 8. Fragment linii energetycznej zeskanowanej podczas testów MSP