

Innowacyjne podejście firmy INTL Robotics do pomiarów wewnątrz magazynów

Fotogrametria pod dachem

Boom na fotogrametrię sprawił, że jest ona coraz chętniej wykorzystywana w pomiarach terenu czy elewacji budynków. Ale przy odpowiednim podejściu technologia ta świetnie sprawdza się również pod dachem.

Jan Sawicki,
Karolina Woźniak,
Michał Choromański

Nieustanny rozwój oprogramowania fotogrametrycznego spowodował, że opracowanie standardowej ortofotomapy czy chmury punktów z drona przestało stanowić wyzwanie. Maszyny te automatycznie latają po zaprogramowanych ścieżkach, a kameralną obróbkę zdjęć często da się sprowadzić do kilkunastu minut pracy operatora stacji fotogrametrycznej. Można też przypuszczać, że branża geodezyjna będzie dążyła do coraz szerszego wykorzystania lidarów

– chociażby ze względu na ich zdolność penetracji roślinności przy pomiarach rzeźby terenu. Rodzi się zatem pytanie, czy jest sens dalszego rozwijania usług fotogrametrycznych bazujących wyłącznie na przetwarzaniu obrazów.

Nasz zespół INTL Robotics Sp. z o.o. tworzą specjaliści branży fotogrametryczno-geodezyjnej oraz logistyczno-transportowej. Za główny cel stawiamy sobie dostarczanie innowacyjnych rozwiązań wykorzystujących drony i fotogrametrię klientom świadczącym usługi związane z produkcją, przewozem i magazynowaniem towarów. W niniejszym artykule przedstawimy nasze dwie przykładowe realizacje dotyczące inwentaryzacji objętościowej hałd znajdujących się pod dachem magazynów.

W ramach tych prac wykonaliśmy kilka ciekawych analiz dotyczących niekonwencjonalnych pomiarów fotogrametrycznych.

• Pomiar objętości tekstyliów

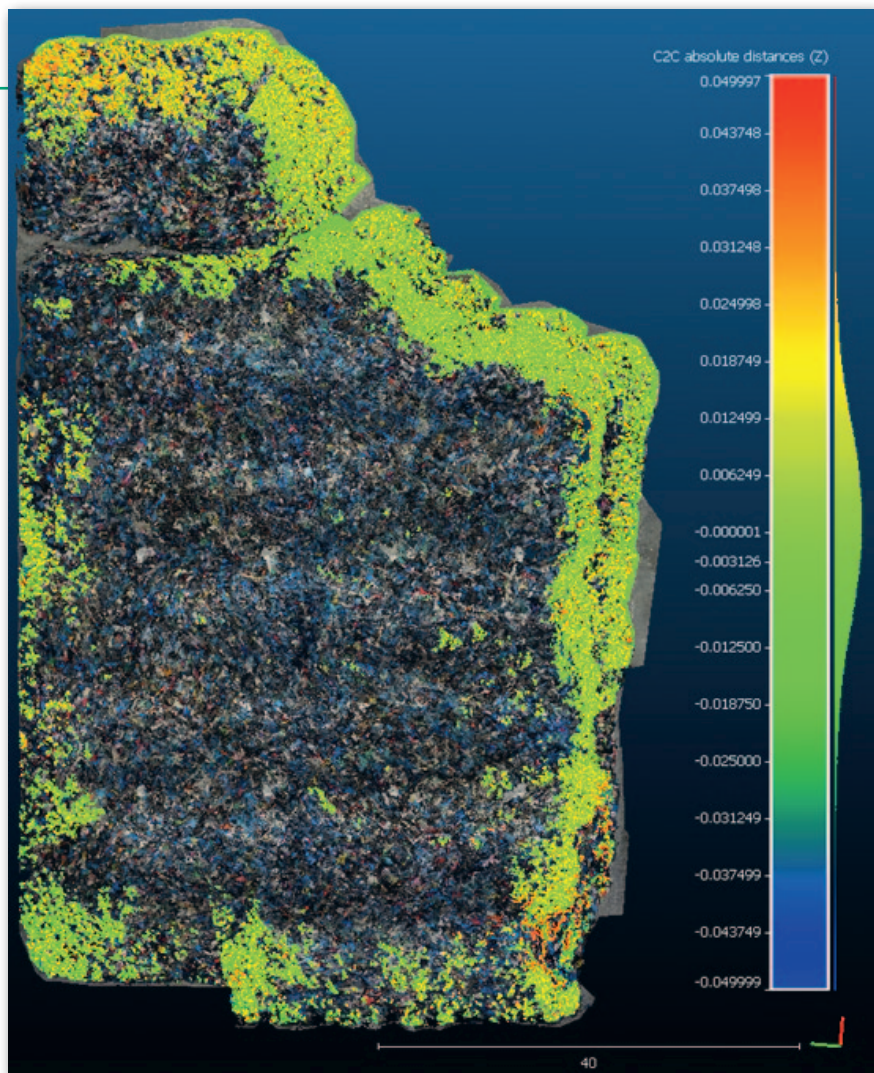
Pod koniec 2020 r. dwukrotnie przeprowadziliśmy inwentaryzację hałdy tekstyliów o objętości ok. 22 tys. m³. Zajmowała ona powierzchnię o wymiarach 100 x 45 m, a jej szczyt dzieliło od zwisających lamp i instalacji przeciwpożarowych zaledwie 3-4 metry. Początkowo planowaliśmy wykonać pomiar metodą naziemnego skaningu laserowego. Niestety, okazało się to niemożliwe – u szczytu hałdy występowały liczne lokalne przewyższenia (istotne dla obliczenia objętości), które nie były widoczne dla skanera laserowego nawet po podniesieniu go o 10 metrów na wózku widłowym. Poruszanie się po powierzchni hałdy w celu wykonania pomiarów wykluczyliśmy ze względów bezpieczeństwa – geodeci lub instrumenty pomiarowe mogłyby dosłownie zatonać w składowanym asortymencie.

Zdecydowaliśmy się więc na przeprowadzenie inwentaryzacji metodą fotogrametryczną z wykorzystaniem drona, i to mimo uciążliwości związanych z brakiem sygnału GPS, zakłóceniami elektromagnetycznymi czy zmiennym oświetleniem (rys. 1). Dodatkowym wyzwaniem było poprawne zaprojektowanie nalogu – pojedyncze zdjęcie wykonane z odległości kilku metrów obejmuje swoim kadrem niewielki fragment powierzchni obiektu.

Aby zapewnić dostateczne pokrycie hałdy zdjęciami



Rys. 1. W trakcie nalogu hałdy tekstyliów



Rys. 2. Porównanie chmur punktów dla hałdy tekstyliów opracowane na podstawie zdjęć z drona oraz naziemnego skanowania laserowego

mi, kamera rejestrowała obrazy ukośne (a nie pionowe – jak w przypadku większości opracowań wykonywanych na zewnątrz) w dwóch seriach szeregów zorientowanych krzyżowo. Aerotriangulację zdjęć wykonaliśmy z wykorzystaniem ok. 10 fotopunktów rozmieszczonych dookoła hałdy, których współrzędne pomierzono tachimetrem z dokładnością ok. 2 mm. Przez całą misję dron sterowany był ręcznie. Jednocześnie jego kamera była ustawiona w trybie automatycznego robienia zdjęć, a operator musiał jedynie raz na jakiś czas dostosowywać parametry ekspozycji do zmiennego oświetlenia lub korygować kąt wychylenia obiektywu.

Aby zweryfikować dokładność tego niestandardowego opracowania, równoległe do lotów dronem przeprowadziliśmy naziemny skaning laserowy widocznych z ziemi fragmentów hałdy z dokładnością ok. 5 mm. Choć dane ze skaningu były niewystarczające do obliczenia objętości tekstyliów, to pozwoliły na wykonanie powierzchniowej analizy odchyłek wysokości modelu fotogram-

trycznego względem pomiarów ze skanera (rys. 2 i 3).

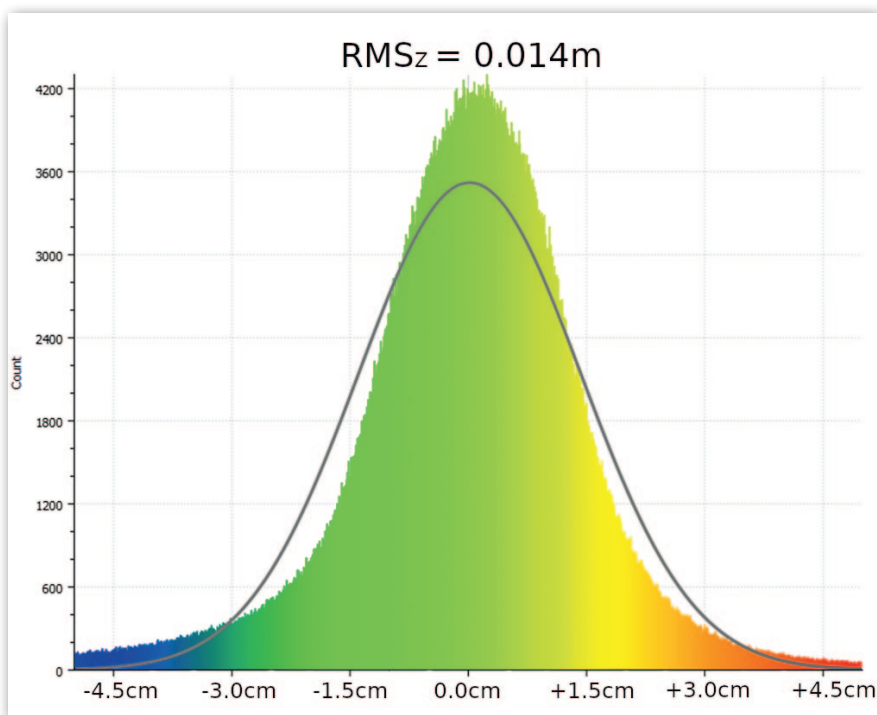
Ta i kilka kolejnych analiz potwierdziły, że model uzyskany z wykorzystaniem drona nie jest obciążony błędami

systematycznymi. Błąd przypadkowy wysokości RMSz wyniósł z kolei około 1 cm. Ponadto chmura punktów wygenerowana ze zdjęć charakteryzowała się równomierną gęstością i o wiele mniejszą liczbą tzw. martwych pól. Przed pomiarem mieliśmy wiele obaw związanych z niesprzyjającą geometrią bloku fotogrametrycznego. Stosunkowo duża liczba zdjęć i ich nieregularne wzajemne pokrycie zwiększają bowiem prawdopodobieństwo występowania błędów systematycznych w postaci uginania się modelu fotogrametrycznego, zwłaszcza przy braku możliwości optymalnego rozmieszczenia fotopunktów. Mimo to naszemu zespołowi udało się osiągnąć zamierzony cel i obliczyć objętość tekstyliów z dokładnością <math><0,5\%</math>.

• Wysięgnik zamiast drona

Bogatsi o nowe doświadczenia chętnie podjęliśmy się podobnego zlecenia, ale na znacznie mniejszym – również zadaszonym – składowisku materiałów sypkich. Rozmiar hałd sugerowałby, że pomiar objętości wykonany z użyciem zwykłych miarek, obciążony nawet kilkunastoprocentowym błędem, powinien być wystarczający. Jednak z uwagi na wysoką wartość magazynowanych towarów (były to specjalistyczne materiały do produkcji ceramiki) zamawiającemu zależało na przeprowadzeniu jak najdokładniejszego pomiaru.

Magazyn składał się z kilkunastu boksov o głębokości około 15 metrów. Pierwszą inwentaryzację wykonaliśmy przy użyciu drona, co sprawdziło się również w tym przypadku. Jednak z uwa-



Rys. 3. Różnice wysokości między dwiema chmurami punktów dla hałdy tekstyliów



Rys. 4. Pomiar kamerą immersyjną na 5-metrowym wysięgniku

gi na zapylenie i pozostałe wymienione w poprzednim przykładzie uciążliwości postanowiliśmy opracować prosty w obsłudze system pomiarowy niewymagający użycia bezzałogowca. Na potrzeby kolejnej inwentaryzacji na tym obiekcie przygotowaliśmy zatem blisko 5-metrowy wysięgnik teleskopowy, na którego końcu zamontowaliśmy immersyjną kamerę 360° (rys. 4). Pomiar z użyciem wysięgnika wykonaliśmy w czasie około 5 minut, czyli ponad trzy razy szybciej, niż zajęłoby nalot dronem.

Również w tym przypadku przeprowadziliśmy powierzchniową analizę dokładności. Na fragmencie jednej z hałd porównaliśmy wysokości uzyskane z danych z drona i z kamery 360° na wysięgniku. Mimo znacznie gorszej rozdzielczości zdjęć i niezbyt sprzyjającej geometrii bloku fotogrametrycznego (chaotyczny spacer między boksami – rys. 5) uzyskany model charakteryzował się błędem średnim wysokości (RMSz) na poziomie 5 cm.

Bazując na tym autorskim przyrządzie pomiarowym, zaoferowaliśmy kliento-

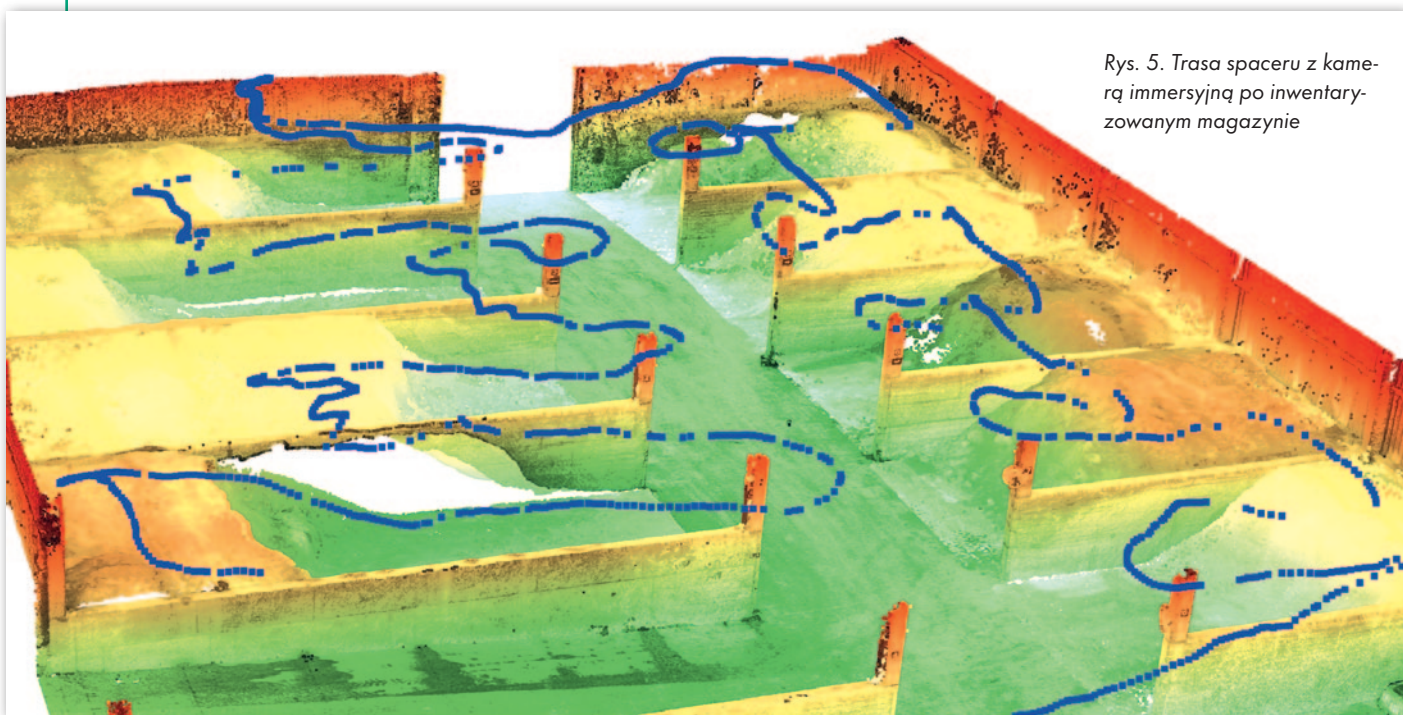
wi usługę obejmującą: udostępnienie wysięgnika z kamerą immersyjną, przeszkolenie pracowników magazynu pod kątem wykonywania pomiarów i przetwarzanie pozyskanych danych w formie usługi sieciowej.

• Nadchodzi złota era fotogrametrii

Szeroko pojęte techniki przetwarzania obrazów ulegają dynamicznemu rozwojowi. Usługi fotogrametryczne koncentrujące się na pozyskaniu geometrii obiektów z wykorzystaniem zdjęć mają duży potencjał ze względu na możliwość dopasowywania ich do potrzeb danego klienta czy obiektu – do dyspozycji mamy przecież nie tylko drony, ale i kamery ręczne, wózki samojezdne AGV (*Automated Guided Vehicle*) czy sieci wielu kamer zainstalowanych trwale na obiekcie.

Jesteśmy zatem pewni, że zainteresowanie fotogrametrią będzie coraz większe i jednocześnie obejmie kolejne rynki. Konfrontując obecne możliwości technologiczne z oczekiwaniami naszych klientów (często wykraczającymi poza pomiary geodezyjne, jak np. klasyfikowanie obrazów czy czytanie kodów kreskowych), staramy się tworzyć innowacyjne, przeznaczone dla specyficznych potrzeb rozwiązania fotogrametryczne, nie zapominając o analizach dokładności wykonywanych pomiarów. Jednocześnie cieszy nas, że przy kreowaniu niekiedy pionierskich systemów i usług kluczową rolę odgrywają również specjaliści z branży geodezyjnej.

Jan Sawicki, Karolina Woźniak,
Michał Choromański
INTL Robotics



Rys. 5. Trasa spaceru z kamerą immersyjną po inwentaryzowanym magazynie