

Przegląd publikacji porównujących chmury punktów ze skanowania laserowego i dopasowania zdjęć

Skaner vs kamera

Jeszcze do niedawna pozyskiwanie chmury punktów zarezerwowane było dla nielicznej elity, którą stać na skaner laserowy. Teraz wystarczy kupić drona i cyfrową kamerę. Tylko czy dane dostarczane przez te dwie technologie w ogóle można ze sobą porównywać?

Jerzy Królikowski

Patrząc na popularność chmury punktów w geodezji i kartografii, można by zapomnieć, że to przecież stosunkowo nowy typ danych przestrzennych. Jej pozyskiwanie umożliwiło zbudowanie w latach 60. XX wieku skanera laserowego. Początkowo znajdował on zastosowanie w meteorologii, natomiast w pomiarach geodezyjnych zaczął być szerzej wykorzystywany pod koniec wieku. Dopiero jednak od początku obecnego stulecia możemy mówić o boomie na skanowanie. Do popularyzacji tej technologii przyczyniło się wiele czynników – od coraz lepszych parametrów pomiarowych,

przez malejące ceny produktów, po rozwój systemów lotniczych i mobilnych.

Gdy już wydawało się, że LiDAR ma w geodezji świetlaną przyszłość, w 2008 r. pojawił się wynalazek algorytmu SGM (*semi global matching*), który pozwala przetwarzać zdjęcia lotnicze w gęstą chmurę punktów 3D. Choć znacznie zmniejszyło to koszt tych danych, wciąż był on wysoki, bo ich pozyskanie wymagało poderwania w powietrze samolotu wyposażonego w drogą kamerę fotogrametryczną. I wtedy z pomocą nadleciały drony, które nieodwracalnie zmieniły reguły gry. Nagle okazało się, że do wygenerowania dokładnej chmury punktów wystarczy zestaw dostępny w cenie dobrego tachimetru oraz banalnie proste w obsłu-

dze oprogramowanie... A przynajmniej taki obraz rysują niektórzy producenci i dystrybutorzy sprzętu.

Czy faktycznie dane 3D z dopasowania zdjęć są porównywalne z tym, co potrafi wygenerować LiDAR? A może są zdjęć lepsze? W ostatnich latach napisano na ten temat sporo artykułów, postanowiliśmy więc wybrane przestudiować. Skupiliśmy się na analizach danych z dronów, bo to dziś szczególnie popularny temat. Pod lupę wzięliśmy też kilka starszych publikacji, które porównują dane z systemów załogowych, bo i z nich płyną ciekawe wnioski.

• Niebagatelne kryterium ceny

W niemal wszystkich artykułach zwracano uwagę, że kluczową zaletą technologii dopasowania zdjęć jest niższy koszt. Za skaner laserowy dla UAV, jednostkę IMU oraz odbiornik GNSS zapłacimy od 50 tys. do 300 tys. dolarów. Do tego trzeba jeszcze doliczyć 25-50 tys. dolarów za bezzałogowca, który uniesie to bogactwo. Jeśli natomiast dron ma służyć tylko do wykonywania zdjęć, za prostą platformę z sensorem zapłacimy 2-5 tys. dolarów lub 5-20 tys. dolarów za bardziej złożoną (np. z odbiornikiem RTK czy zaawansowanymi kamerami) – wylicza Aleksander Buczkowski z firmy PwC [1]. Jak precyzuje przedstawiciel jednej z krajowych firm geodezyjnych, w jej przypadku pełny koszt inwestycji w fotogrametrycznego drona wyniósł 36 tys. zł. Kwota ta obejmuje zakup: drona z sensorem i akcesoriami (12 tys. zł), tabletu (1 tys. zł), szkolenia UAVO VLOS (1,5 tys. zł), ubezpieczenia OC (0,5 tys. zł za rok), oprogramowania (12-20 tys. zł) oraz stacji roboczej (od 8 tys. zł).

Choć od momentu napisania tego artykułu ceny systemów skaningowych zdą-



Fot. Jerzy Królikowski

Pierwsze krajowe forum LiDAR POLSCAN 2019 w Sękocinie Starym. Choć drony wyposażone w skaner budzą duże zainteresowanie, wciąż pozostają rozwiązaniem niszowym

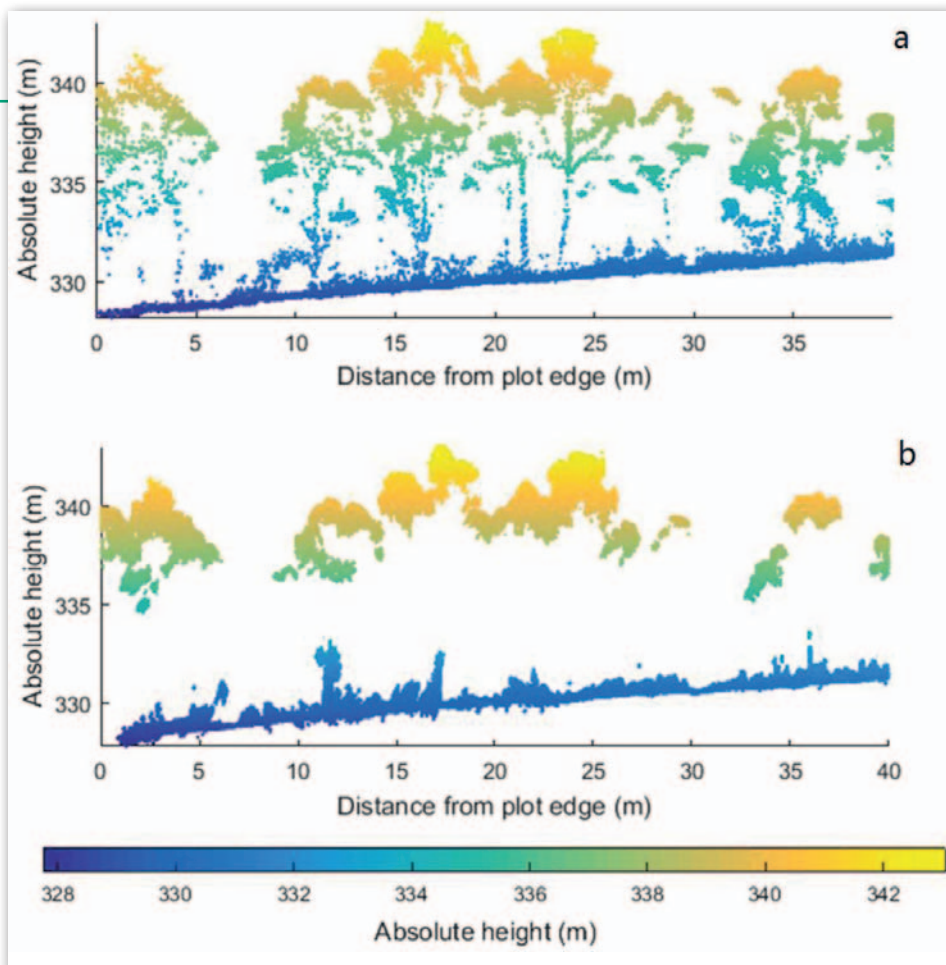
żyły już spaść, trzeba sobie zadać pytanie, czy warto sięgać do niższych półek. Owszem, na rynku jest coraz więcej tanich skanerów (już nawet po kilka tysięcy dolarów), ale ich dokładność często okazuje się odpowiednia do ceny. Poza tym system skanujący to nie tylko LiDAR – jego ważną częścią jest jednostka inercyjna, która też swoje kosztuje. Artykuł szwedzkich naukowców [2] udowadnia zaś, że wybór słabszej IMU bardzo wyraźnie rzutuje na dokładność wynikowej chmury punktów.

W biznesplanie trzeba także uwzględnić zakup oprogramowania do przetwarzania danych – zwraca uwagę Aleksander Buczkowski. W przypadku dopasowania zdjęć wybór jest imponujący, a ceny – relatywnie niskie (zob. niezbędnik „Drony dla geodety 2019” dostępny na Geoforum.pl). Kupując skaner laserowy, oprogramowanie do podstawowej obróbki chmury z reguły otrzymuje się już w pakiecie. Jeśli jednak chcemy wykonywać bardziej zaawansowane analizy, konieczna może okazać się kosztowna inwestycja w niszową aplikację (nawet 20-30 tys. dol.) – przestrzega przedstawiciel PwC.

Żeby bardziej skomplikować rachunek zysków i strat, zaznaczmy, że pozyskanie chmury ze zdjęć (*image-derived point cloud* – IPC) jest bardziej pracochłonne. Po pierwsze, niezbędne jest pomiarzenie w terenie fotopunktów. Po drugie, musimy zapewnić wyższe pokrycie poprzeczne i podłużne (nawet 70-90% względem około 20% w przypadku ALS), co mocno komplikuje kartowanie obiektów podłużnych, np. linii energetycznych. Spór pozostaje natomiast co do tego, czy wydłużyć to czas misji. Tak twierdzi Aleksander Buczkowski, choć grupa austriackich naukowców utrzymuje – szczególnie analizując specyfikację sensorów dostępnych w 2010 roku (a wiele się od tego czasu zmieniło) – że przy pozyskiwaniu chmury zdecydowanie bardziej wydajne są zdjęcia lotnicze. W ich ocenie ta różnica jest nawet 13-krotna [3]. Po trzecie, nawet jeśli zaakceptujemy te wyniki, największa różnica w pracochłonności i tak wychodzi podczas postprocessingu danych. Czas nalotu liczony jest bowiem w kwadransach, podczas gdy generowanie IPC – w godzinach, a czasem nawet w dniach. W zależności od projektu obróbka danych ze zdjęć trwa od dwóch [4] do nawet dziesięciu razy [1, 5] dłużej niż w przypadku danych z lotniczego skanowania laserowego (ALS).

• Szanuj zieleni

Drugą oczywistością, na jaką zwraca uwagę większość publikacji, jest radzenie



Przy mało zwartych lasach dane IPC (dolny przekrój) mogą posłużyć do opracowania NMT. Górny przekrój: chmura ALS [5]

sobie obu technologii z penetracją roślinności. Skanery laserowe mają tu niekwestionowaną przewagę. Rejestrując kilka odbić wiązki lasera, mierzą nie tylko koronę drzew, ale także poszczególne piętra roślinne oraz – co szczególnie ważne w zastosowaniach geodezyjnych – grunt. Chmura punktów ze skanera pozwala więc uzyskać nie tylko numeryczny model pokrycia terenu, ale także numeryczny model terenu, a ponadto wykonywać różnorodne analizy przestrzenne, np. dotyczące biomasy.

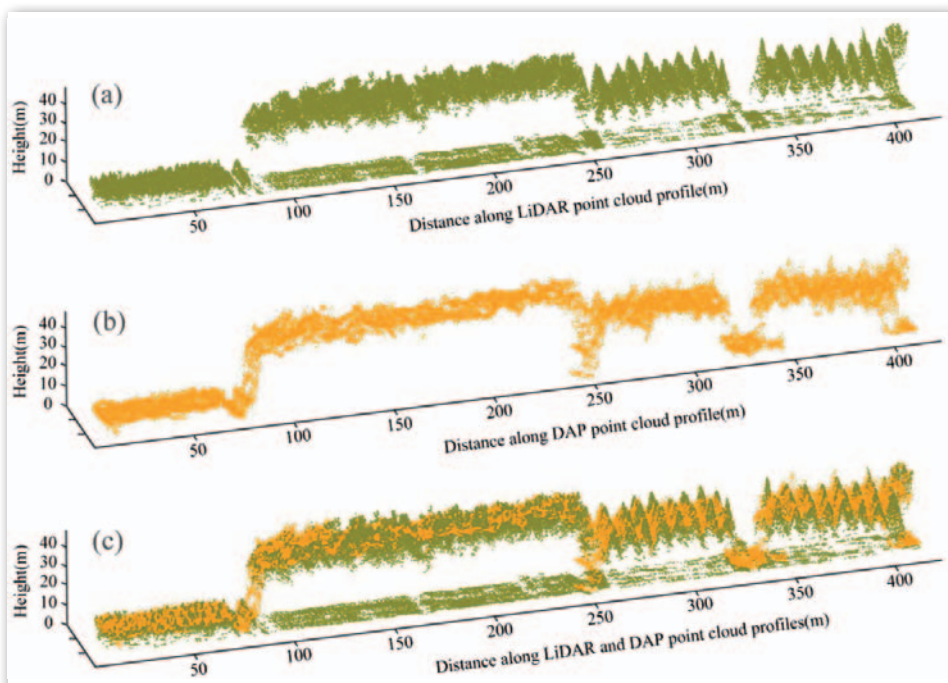
W przypadku dopasowania zdjęć możemy być pewni tylko otrzymania NMPT, choć i z tym bywa problem – wiele zależy od typu roślinności oraz pory roku. Badania wykonane przez Wojciecha Dominika [6] wykazały, że IPC wyraźnie ustępuje chmurze punktów ALS nawet pod względem odwzorowania kształtu koron drzew. Żadna z analizowanych przez niego chmur ze zdjęć wykonanych poza okresem wegetacji nie przedstawiła choćby przybliżonego kształtu koron drzew. Stwierdził też przypadki, gdy chmura ze zdjęć w miejscu drzewa prezentowała jedynie grunt. Dodajmy, że w badaniu tym wykorzystano zobrazenia z platformy załogowej, wyposażonej w profesjonalny sprzęt fotogrametryczny.

Absolutnie nie jest jednak tak, że nad lasami drony stają się bezużyteczne – podkreślają autorzy dwóch artyku-

łów opublikowanych w czasopiśmie „Forest”. Czwórka naukowców z Australii i Czech udowodniła, że dron z kamerą całkiem dobrze radzi sobie z pomiarem mniej zwartych lasów (tutaj eukaliptusowych), w tym gruntu, na którym rosną [5]. Przy większej zwartości koron zaczynają się jednak problemy, bo gęstość IPC dla gruntu spada do raptem 0,6 pkt/m kw, a jej dokładność drastycznie maleje. Na 132 drzewa rosnące na poligonie badawczym chmura ALS pozwoliła zidentyfikować 122, a z dopasowania zdjęć – 112. Obu technologiom gorzej poszło z identyfikacją pni – 52 dla ALS i 24 dla zdjęć. Jeśli chodzi o błąd RMS wyznaczenia wysokości drzew, dla ALS wyniósł 0,92 m, a dla zdjęć – 1,30 m.

Zespół naukowców z Chin porównał z kolei przydatność obu typów chmur do wyliczania różnych wskaźników w lasach gospodarczych strefy subtropikalnej [7]. W ich ocenie wprawdzie dane ze zdjęć okazują się mniej dokładne, ale zapewniają jakość, która do pewnych celów jest wystarczająca. Chińczycy wskazują nawet, że z punktu widzenia gospodarowania lasem korzystnym rozwiązaniem wydaje się połączenie NMT z ALS z systematycznie pozyskiwaną chmurą ze zdjęć.

Sporo ciekawych wniosków płynię z artykułu naukowców z Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie i Uniwersytetu w Kolumbii Brytyjskiej [8]. Zestawili oni



Porównanie chmury z dopasowania zdjęć (kolor pomarańczowy) oraz z ALS (zielony) [7]

rezultaty 9 badań, w których porównano przydatność chmury ze zdjęć oraz ALS do szacowania objętości drewna w lasach. Przytoczone publikacje są zgodne – w tym konkretnym zastosowaniu różnice między analizowanymi typami danych są generalnie niewielkie. Autorzy artykułu postanowili jednak sprawdzić to na własną rękę na przykładzie borów sosnowych w Lasach Janowskich. Również te badania potwierdziły podobną przydatność obu chmur, choć udało się wygenerować szacunki na znacznie wyższym poziomie dokładności niż w cytowanych artykułach – to w dużej mierze zasługa specyfiki badanych lasów. Podkreślić jednak należy, że do tego typu modelowania niezbędny jest również NMT – w tym przypadku wykorzystano dane z lotniczego skaningu z projektu ISOK. Jeśli ich nie było, przydatność chmury ALS byłaby więc w tym zastosowaniu większa – zapewnia bowiem i NMT, i NMPT.

Nie wyobrażamy sobie jednak, że ALS jest niezawodnym sposobem na pomiar terenów porośniętych roślinnością. I ta technologia czasem zawodzi. Pokazują to chociażby badania australijskich naukowców, w których chmury zarówno ze skanera laserowego, jak i z dopasowania zdjęć (obie pozyskane z niskiego pułapu) nie były w stanie spenetrować gęstych krzewów rosnących na skraju plaży [9].

Na ciekawy aspekt zwracają uwagę naukowcy z AGH [10], podkreślając, że na jakość chmury punktów wpływa nie tylko technologia jej pozyskania, ale także... orientacja sensora. Dla trawiastego stoku porównali oni dokładność danych z naziemnego skanera oraz ze zdjęć z drona. Okazało się, że znacznie lepiej poradziło sobie to drugie rozwiązanie, szczególnie po zastosowaniu algorytmów filtracji (po-

zwoliły one zredukować błąd o 25-40%). Dla wysokiej trawy naziemny skanowanie nie dał wiarygodnych wyników, a dla niższej – błąd RMS okazał się dwukrotnie większy niż w przypadku IPC.

• Czego oczy nie widzą

Do wielu interesujących wniosków prowadzi już samo wizualne porównanie obu typów chmur. Większość przeanalizowanych przez nas artykułów jest zgodna: przy zbliżonych parametrach nalotu zdjęcia zapewniają zdecydowanie gęstszą chmurę – czasem różnice wynoszą kilkadziesiąt procent [11], ale częściej są kilku- lub nawet kilkudziesięciokrotne [4, 5, 6]. W oczywisty sposób sprawia to, że IPC pozwala uchwycić więcej szczegółów. Co ważne, na aspekt ten zwraca uwagę już jeden z pierwszych artykułów na ten temat, napisany zresztą przez twórcę algorytmu SGM [12].

Nie zawsze jednak wszystkie badania prowadzą do tych samych wniosków. Na przykład w swojej analizie Wojciech Dominik stwierdził zarówno obiekty widoczne tylko na chmurze punktów LiDAR, jak i rozpoznawalne tylko na danych ze zdjęć [6].

W większości artykułów zwraca się także uwagę, że modele bazujące na zdjęciach cechuje większa ilość szumu oraz odstających pikiet [6, 9, 11]. Autorzy podkreślają, że algorytmy SGM kiepsko radzą sobie nie tylko z roślinnością (szczególnie, gdy liśćmi porusza wiatr [7]), ale także z cieniami czy wodą [6, 9].

Analiza przeprowadzona przez holenderską firmę Skeye wykazała jednak, że z szumami może być też odwrotnie [4]. Z wykonanych przez nią pomiarów pewnego betonowego falochronu jasno wynika, że to model ze zdjęć zdecydowanie wierniej i ładniej odwzorował ten obiekt.

Skąd te odmienne wnioski? Może zawiął kiepskiej jakości skaner, a może ten stosunkowo nowy artykuł (z początku 2019 r.) pokazuje postęp, jaki niewątpliwie dokonał się w algorytmach dopasowania zdjęć?

Ważnym zastosowaniem chmur punktów jest modelowanie zabudowy. Twórca algorytmu SGM twierdzi, że jeśli chodzi o odwzorowanie szczegółów, nieporównanie lepiej wypadają dane ze zdjęć [12]. Zwraca także uwagę, że chmura ta zapewnia zdecydowanie więcej pikiet dla fasad (co potwierdzają też badania Wojciecha Dominika [6]), natomiast na NMPT z ALS pionowe ściany są często nachylone. Z drugiej strony obaj naukowcy stwierdzają, że chmura ALS lepiej radzi sobie w wąskich ulicach. Dane te dokładniej odwzorowują także dachy zacienione lub przesłonięte przez drzewa.

Wizualne różnice między dwoma typami chmur trafnie ujmuje Wojciech Dominik. Jakość danych ze zdjęć jest po prostu trudno przewidywalna. „Są bardziej podatne na szereg czynników trudnych do kontrolowania (jakość zdjęć) i niejednorodnych na obszarze opracowania (geometria wcięcia, cienie). Skanowanie laserowe jest bardziej niezawodne, mniej zależne od czynników zewnętrznych. Planując nalot LiDAR przy zadanych parametrach, możemy się spodziewać, jaki produkt otrzymamy. Jakość jest w przybliżeniu jednolita na całym obszarze opracowania. Z góry wiadomo, w jakich miejscach jakość chmur punktów LiDAR może być słabsza – np. brak odbić od wody czy niektórych typów pokrycia dachowego” – pisze [6]. W obronę chmury ze zdjęć bierze Gabriel Torres z firmy MicaSense [13]. Jak wyjaśnia, duża redundancja danych sprawia, że jeśli w wynikowej chmurze zauważymy poważny błąd, z reguły możemy go poprawić, nie ruszając się z biura, poprzez wyeliminowanie wadliwych fotografii i powtórne uruchomienie algorytmu. W przypadku chmury z ALS jedynym wyjściem często okazuje się tylko powtórzenie nalotu.

Trzeba też wspomnieć, że chmura punktów ze zdjęć jest już od razu pokolorowana, co w przypadku ALS wymaga dołączenia kamery i większych nakładów pracy. Krótko mówiąc, ten pierwszy typ danych jest zdecydowanie łatwiejszy w wizualnej interpretacji. Są one zatem bardziej przydatne w różnego rodzaju inwentaryzacjach, inspekcjach czy w zarządzaniu majątkiem [1]. Mogą być także źródłem informacji spektralnych do analiz przestrzennych, np. w ochronie przyrody czy rolnictwie [5], zapewniają także dane do tekstuowania modeli 3D zabudowy [3].

• Z miarką w rękę

Może i gęsta chmura ze zdjęć ładniej wygląda, ale czy zapewnią dokładne dane? Autorzy większości artykułów zgodnie twierdzą, że pod tym względem oba typy danych są porównywalne. W szczególności oczywiście znacznie się różnią – zależnie od przyjętej metodyki, użytych sensorów, mierzonego obiektu czy nawet pory roku.

Badania Michaela Schwinda objęły jedną z holenderskich zapór wodnych. Wykazały one rozbieżność wysokościową obu typów danych w przedziale do 0,8 m dla 95% punktów. Co jednak istotne, dla samej konstrukcji różnice nie przekroczyły 15 cm [11].

Warto tutaj także przytoczyć wyniki, jakie uzyskali geodeci Warszawskiego Przedsiębiorstwa Geodezyjnego podczas eksperymentu na 500-metrowym odcinku wiaduktu na Południowej Obwodnicy Warszawy (badania niepublikowane). Jego betonowa powierzchnia została pomierzona dwiema metodami: naziemnym skanerem laserowym (pomiar referencyjny) oraz poprzez nalot fotogrametryczny, którego celem było pozyskanie jak najdokładniejszej chmury punktów (pozyskano zdjęcia z pikselem <math><1\text{ cm}</math>, zastosowano pokrycie podłużne/poprzeczne 80/80%, wykorzystano 10 fotopunktów). Uzyskana ze zdjęć chmura została porównana z tą ze skaningu laserowego. Na powierzchniach odkrytych wartość błędu średniego obliczonego z różnic wysokości wyniosła $\pm 1,5\text{ cm}$ (do obliczenia błędu wykorzystano ponad 12 mln pkt).

Intrygują wyniki uzyskane w eksperymencie holenderskiej firmy Skeye, który przeprowadzono na terenie falochronu. Błąd RMS względem niwelacji precyzyjnej okazał się znacznie większy w przypadku ALS niż zdjęć (20 vs 4 mm) [4].

Skaner wypadł gorzej również w badaniu niemieckich naukowców [2]. W zależności od analizowanego przekroju średni błąd pomiaru ALS wynosił od 0,5 cm do 60,7 cm, podczas gdy dla chmury ze zdjęć było to 8 cm. Autorzy tłumaczą te wyniki dobraniem kiepskiej jakości jednostki IMU.

W przypadku badań Wojciecha Dominika rezultaty nie są już tak jednoznaczne. „Chmury punktów LiDAR są obciążone większym błędem systematycznym niż chmury punktów SGM wygenerowane na podstawie zdjęć z ka-

mer wielkoformatowych. (...) Niemal wszystkie zestawy zdjęć z kamer wielkoformatowych DMC I i DMC II dostarczają chmurę punktów o większej dokładności (mniejszym błędzie średnim) niż chmury punktów LiDAR. Odchylenie standardowe chmury punktów LiDAR jest mniejsze od niemal wszystkich chmur punktów SGM. Jedynie chmury punktów generowane na podstawie zdjęć o największym stosunku bazowym dorównują pod tym względem chmurom punktów LiDAR” [6].

Z kolei w badaniu studentów AGH porównano NMT z danych ISOK oraz ze zdjęć z drona. Mimo znacznej różnicy pułapu pozyskania danych błędy obu modeli okazały się podobne (RMS 12 cm dla ALS i 16 cm dla IPC), ale tylko wtedy, gdy do analizy wzięto zdjęcia z marca. Podczas sezonu wegetacyjnego błąd modelu z drona sięgnął natomiast aż 51 cm. Gdy jednak ograniczono badanie tylko do terenu odkrytego, oba modele znów miały podobną dokładność [14].

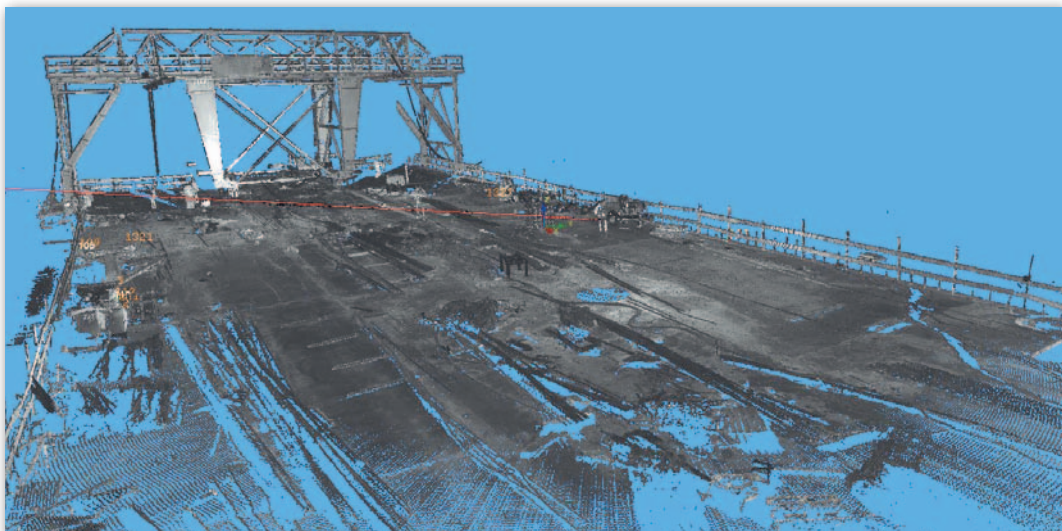
Australijscy naukowcy przebadali natomiast oba typy danych pozyskane z drona na plaży. W tym przypadku znacznie dokładniejsza okazała się chmura ALS – błąd RMS wyniósł 29 mm w porównaniu z 92 mm ze zdjęć. Badacze stwierdzili, że algorytmy SGM generalnie kiepsko radziły sobie z tego typu powierzchnią, generując spory błąd systematyczny oraz pojedyncze błędy rzędu nawet 30 cm. Głównym celem artykułu było jednak zbadanie przydatności obu technologii do obliczania objętości erodowanych i akumulowanych mas piasku. Autorzy stwierdzili, że mimo tej różnicy w dokładności wysokościowej obie chmury pozwoliły wyznaczyć objętości z dokładnością wymaganą dla tych prac [9].

• Co najlepsze pod strzechy?

Przytoczone wyniki badań i eksperymentów pokazują, że dokładność chmury ze zdjęć może być bardzo różna. Jak zwraca uwagę część źródeł, nie mały wpływ na to mają umiejętności i wiedza operatora. Jeśli chcemy osiągnąć dokładność rzędu 1-3 cm, odpowiednie kwalifikacje są niezbędne już przy planowaniu nalotu – chodzi przede wszystkim o zapewnienie odpowiednio wysokiego wzajemnego pokrycia zdjęć, a tu trzeba uwzględnić chociażby typ kartowanego terenu. Nie mniej istotne jest także przygotowanie odpowiednio gęstej sieci fotopunktów [1, 2, 12].

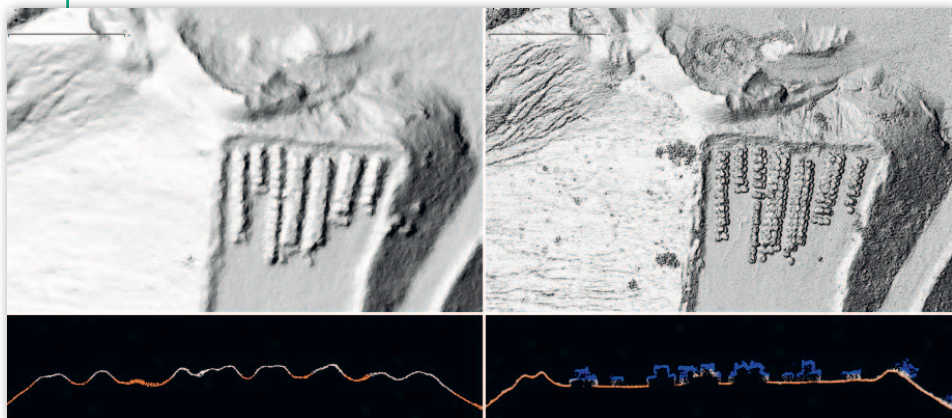
Sporym wyzwaniem przy generowaniu precyzyjnych danych jest także dobór parametrów przetwarzania zdjęć. Każdy, kto miał kiedyś okazję pracować z aplikacjami bazującymi na algorytmach SGM, doskonale wie, że choć produkty te są proste w obsłudze, osiągnięcie zadowalającego rezultatu wymaga sporego doświadczenia. Do czego może doprowadzić wykorzystanie domyślnych parametrów aplikacji, świetnie pokazuje eksperyment przeprowadzony przez członków koła naukowego „Dahlta” z AGH [15]. Studenci zaprezentowali w nim wyniki modelowania niemieckiej wyrzutni rakiet „Córka Renu”. Jak sami piszą, pierwszy efekt przetwarzania przy użyciu jednego z popularniejszych programów bardziej przypominał smoka wawelskiego niż rakietę i dopiero po zmianie parametrów otrzymali poprawny efekt.

Tymczasem w przypadku ALS dokładność rzędu kilku centymetrów dostajemy niemal na tacy, i to bez dużej liczby punktów kontrolnych. Warunkiem jest jednak posiadanie wysokiej klasy systemu pomiarowego – podkreśla Aleksander Buczkowski [1]. Z tym poglądem polemizuje



Fot. WPG

Eksperyment przeprowadzony przez WPG na estakadzie w ciągu południowej obwodnicy Warszawy wykazał, że przy zachowaniu odpowiedniej metodyki pomiaru chmura z dopasowania zdjęć może mieć zbliżoną dokładność do naziemnego skanowania (na fot.)



Porównanie szczegółowości modelu z dopasowania zdjęć (po lewej) oraz z połączenia chmury IPC i ALS z wykorzystaniem georeferencji wprost (po prawej) [16]

Gabriel Torres z firmy MicaSense. Uważa on, że osiągnięcie 1 cm dokładności chmury ze zdjęć to nie fizyka kwantowa. Trzeba się trzymać pewnych reguł, które znajdziemy choćby w materiałach dostępnych za darmo w internecie. Niezbędny jest także dobrej jakości sprzęt oraz oprogramowanie – to oczywiście dodatkowy koszt, który i tak jest jednak nieporównywalny z precyzyjnym systemem ALS dla dronów. Poza tym proces dopasowania zdjęć jest w jego ocenie „bardziej wybaczący błędy”, a to za sprawą dużej redundancji danych [13].

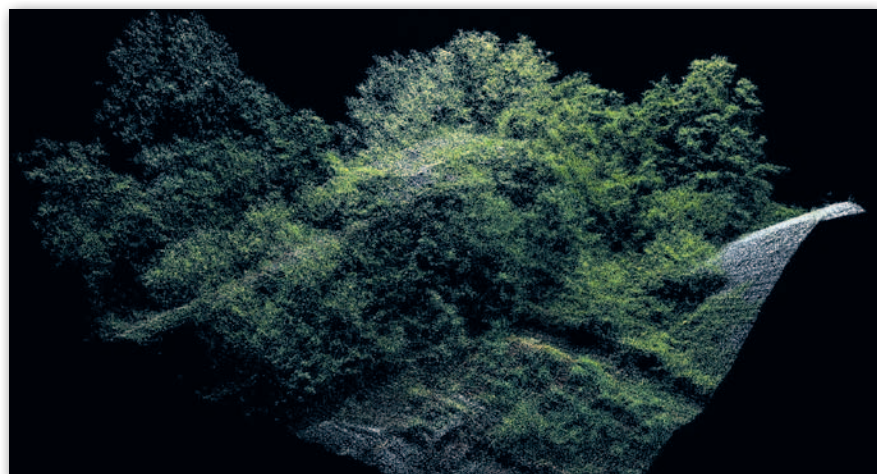
● Podwójne korzyści

A może zamiast rozstrzygać, która technologia jest najdokładniejsza, lepiej je połączyć? Do takich wniosków prowadzi eksperyment zrealizowany w jednym z francuskich kamieniołomów przez firmę YellowScan [16]. Wykazał on istotne korzyści, jakie płyną z użycia drona wyposażonego zarówno w skaner, jak i cyfrową kamerę. Po pierwsze, możemy zrezygnować z fotopunktów. Po drugie, mimo braku fotopunktów dokładność finalnych danych rośnie. Po trzecie, wynikowa chmura jest znacznie gęstsza, bar-

dziej szczegółowa i penetruje roślinność. Żeby nie było tak różowo, wadą jest blisko dwukrotnie dłuższy czas przetwarzania danych i – o czym nie wspomina autor prezentacji – znacznie wyższy koszt sensorów. Bez wątpienia tego typu połączenie technologii będzie w najbliższych latach zyskiwać na popularności. Na rynku są już bowiem dostępne odpowiednie systemy pomiarowe dla dronów (np. True View firmy GeoCue), a także programy dopasowujące zdjęcia z wykorzystaniem chmury LiDAR (choćby Correlator3D firmy SimActive).

● Fachowiec potrzebny od zaraz

Bez wątpienia zarówno skanery laserowe, jak i fotogrametryczne drony dokonały rewolucji w geodezji. Gęsta i dokładna chmura punktów wreszcie stała się produktem łatwo dostępnym i tanim, co otworzyło nowe pola jej zastosowań. Choć z przytoczonych artykułów często płyną odmienne wnioski, to wydają się zgodnie potwierdzać, że pewne rzeczy pozostają w geodezji niezmiennie od wieków. Wciąż bowiem niezbędny jest fachowiec, który umiejętnie dobierze narzędzia pomiarowe do potrzeb klienta.



Sensor TrueView stanowi połączenie skanera laserowego z cyfrowymi kamerami, które integruje zalety danych IPC i ALS

Musi przy tym uwzględniać nie tylko wymaganą dokładność, ale i specyfikę projektu, w tym jego harmonogram i budżet. Podsumowując przeanalizowane tu artykuły, można powiedzieć, że potrzeba takich specjalistów jeszcze nigdy nie była tak palącą!

Jerzy Królikowski

Literatura

- [1] A. Buczkowski: Drone LiDAR or Photogrammetry? Everything you need to know, Geoawesomeness, <https://geoawesomeness.com/drone-lidar-or-photogrammetry-everything-you-need-to-know/>;
- [2] G. Conte, P. Rudol, P. Doherty: Evaluation of a Light-weight Lidar and a Photogrammetric System for Unmanned Airborne Mapping Applications, „Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation” 4/2014;
- [3] F. Leberl, A. Irschara, T. Pock, P. Meixner, M. Gruber, S. Scholz, A. Wiechert: Point Clouds: Lidar versus 3D Vision, „Photogrammetric Engineering & Remote Sensing”, October 2010;
- [4] C. Chatzikyriakou: Comparing Drone Lidar And Photogrammetry, <https://terra-drone.eu/en/articles-en/comparing-drone-lidar-and-photogrammetry/>;
- [5] L. Wallace, A. Lucieer, Z. Malenovsky, D. Turner, P. Vopenka: Assessment of Forest Structure Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structure from Motion (SfM) Point Clouds, „Forests” 7/2016;
- [6] W. Dominik: Porównanie właściwości chmury punktów wygenerowanej metodą dopasowania obrazów zdjęć lotniczych z danymi z lotniczego skanowania laserowego, „Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji” vol. 26;
- [7] L. Cao, H. Liu, X. Fu, Z. Zhang, X. Shen, H. Ruan: Comparison of UAV LiDAR and Digital Aerial Photogrammetry Point Clouds for Estimating Forest Structural Attributes in Subtropical Planted Forests, „Forests” 10/2019;
- [8] P. Hawryło, P. Tompański, P. Wężyk: Area-based estimation of growing stock volume in Scots pine stands using ALS and airborne image-based point clouds, „Forestry” 90/2017;
- [9] L. Shaw, P. Helmholz, D. Belton, N. Addy: Comparison of UAV LiDAR and imagery for beach monitoring, „The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, Volume XLII-2/W13, 2019;
- [10] W. Gruszczyński, W. Matwij, P. Ćwiakata: Comparison of low-altitude UAV photogrammetry with terrestrial laser scanning as data-source methods for terrain covered in low vegetation, „SPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing” 126 (2017);
- [11] M. Schwind: Comparing Lidar and Photogrammetric Point Clouds, „GiM International” 1-2/2018;
- [12] H. Hirschmüller, T. Bucher: Evaluation of Digital Surface Models by Semi-Global Matching, materiały konferencyjne DGPF Tagungsband 2010;
- [13] G. Torres: Drone photogrammetry vs. LIDAR: what sensor to choose for a given application, <https://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/>;
- [14] G. Maniak, D. Mielczarek: Oblicza NMT, GEODETA 3/2019;
- [15] W. Dziok: Cyfrowa „Córka Renu”, GEODETA 2/2019;
- [16] LiDAR, Photogrammetry and TLS, a case study in a Quarry, <https://youtu.be/0lpcDBgCKsQ>.