

Możliwości mobilnych skanerów laserowych na przykładzie marki GeoSLAM

W ruchu lepiej?

Zwolennicy mobilnych skanerów SLAM powiedzą, że są wszechstronne, dojrzałe technologicznie i proste w obsłudze. Sceptycy skwitują zaś, że ten sprzęt rzekomo do wszystkiego jest w praktyce do niczego. Gdzie leży prawda?

Jerzy Królikowski

Jedno jest pewne. Skanery wykorzystujące algorytmy SLAM to obecnie najdynamiczniej rosnący segment branży lidarowej. Nie dość, że szybko zwiększa się wybór tego typu instrumentów oraz ich możliwości pomiarowe, to jednocześnie spadają ceny. Jak wynika z zestawienia publikowanego na łamach niezbędnika SKANOWANIE LASEROWE (dostępnego bezpłatnie na Geoforum.pl), w 2022 r. w ofercie polskich dystrybutorów było już 10 tego typu skanerów produkowanych przez 7 firm (GeoSLAM, Stonex, FJD, Emesent, Basis, Dronetic i Geosun).

Liderem jest bez wątpienia brytyjska spółka GeoSLAM, która weszła na ten rynek jako jedna z pierwszych (jeszcze w 2012 roku) i do dziś ma największą ofertę. Znajdziemy w niej 3 modele skanerów, a także oprogramowanie do obróbki chmury punktów i bogaty zestaw akcesoriów. Historia tej marki dobrze pokazuje zresztą, jak znaczną ewolucję przeszły te urządzenia w ciągu raptem dekady. Producent zaczynał od modelu Zeb 1, który ze względu na specyficzne ruchy skanera na sprężynie przeżył był „kropidłem”. Instrument mierzył do 43 tys. pkt/s na dystansie do 30 metrów z dokładnością 15 mm. Obecnie we flagowym modelu z tym logo (Zeb Horizon) wartości te wynoszą odpowiednio 300 tys. pkt/s, 100 metrów i 6 mm. Tak przynajmniej wynika z oficjalnej specyfikacji producenta. Ile w tym prawdy? To sprawdziliśmy wspólnie z krajowym dystrybutorem rozwiązań GeoSLAM – warszawską firmą TPI.

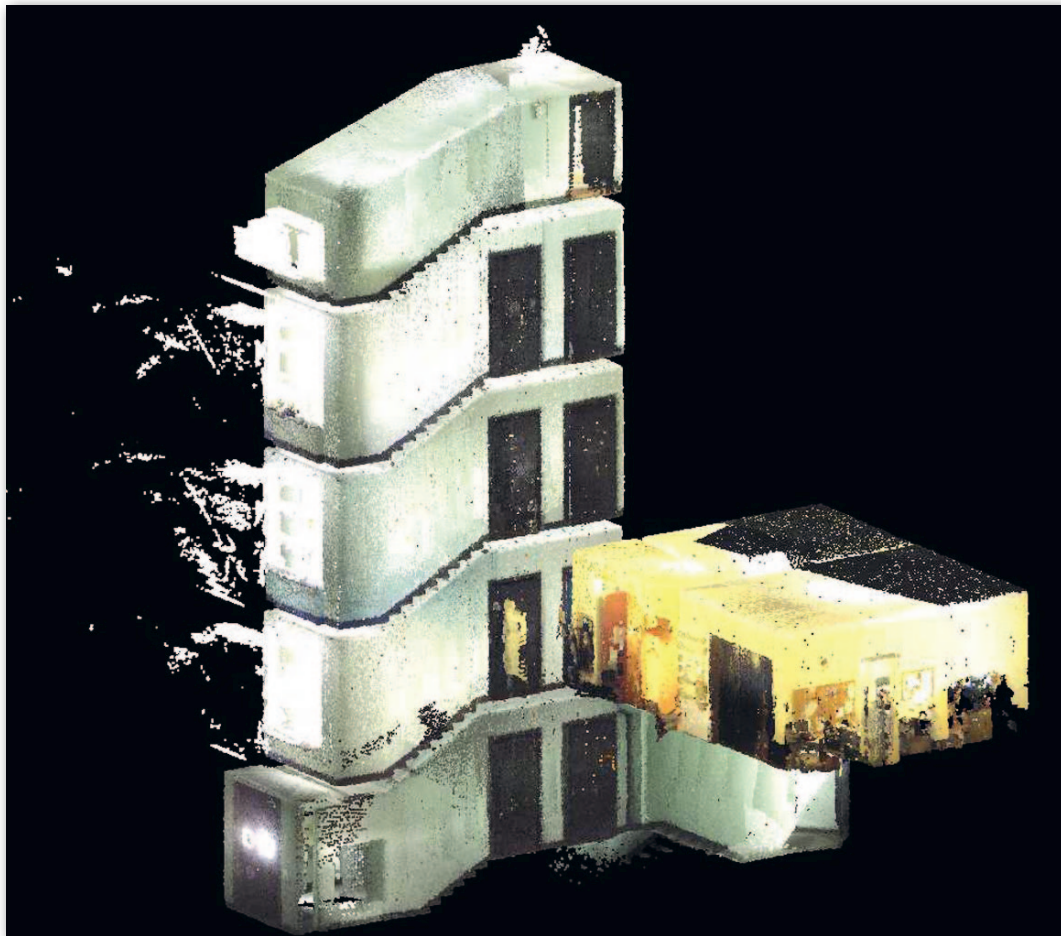
• Z czym się je ten SLAM?

Nim przejdziemy do omówienia naszych wrażeń z pomiarów, krótki wstęp,



Fot. Damian Czekaj

Rys. 1. W trakcie redakcyjnego testu skanera Zeb Horizon



Rys. 2. Redakcja GEODETY i klatka schodowa na pokolorowanej chmurze punktów

czym jest wspomniany SLAM. Otóż pierwsze mobilne systemy skanowania bazowały na integracji lidar z odbiornikiem GNSS, inercyjną jednostką pomiarową oraz ewentualnie innymi sensorami (choćby odometrem). Wprawdzie takie połączenie na ogół dobrze się sprawdza, ale nie jest wolne od wad. Kluczowym ograniczeniem jest uzależnienie od dostępności sygnałów GNSS, co skutkuje brakiem przydatności w pomiarach np. szybów kopalnianych czy wnętrz budynków. Do tego dochodzi wysoki koszt systemu oraz jego spore wymiary i waga.

Odpowiedzią na te problemy jest właśnie SLAM. Jak podpowiada już samo rozwinięcie skrótu (*Simultaneous localization and mapping*), są to algorytmy, dzięki którym kartowanie i lokalizowanie instrumentu odbywa się jednocześnie. W technologii tej punkty pozyskiwane przez skaner w ruchu są składane w jedną chmurę na podstawie znajdujących się w okolicy charakterystycznych elementów geometrycznych, np. krawędzi. Uzyskane dane są nie tylko samym wynikiem pomiaru, ale służą także do wyznaczenia bieżącej lokalizacji skanera. Co istotne, do sprawnego funkcjonowania algorytmów SLAM w ogóle nie są potrzebne sygnały GNSS, wystarczy niższej jakości IMU. W efekcie otrzymujemy zatem zestaw, który w stosunku do tradycyjnych systemów kartowania jest bardziej kompaktowy, tańszy, prostszy w obsłudze i mający więcej zastosowań. Czyli same zalety?

• Na pewno jest łatwo...

Choć producenci tradycyjnych mobilnych systemów skanowania robią w ostatnich latach dużo, by obsługa ich produktów była prosta, to osiągnięcie wysokiej dokładności wyników danych wciąż wymaga sporej wiedzy i doświadczenia. Nie inaczej jest w przypadku skanerów naziemnych, szczególnie przy łączeniu danych z dużej liczby stanowisk. To z pewnością zniechęca część użytkowników do wejścia w tę technologię.

Problem ten nie dotyczy jednak testowanego przez nas skanera GeoSLAM Zeb Horizon. By rozpocząć pomiar, wystarczy podłączyć głowicę skanującą do data loggera, włączyć urządzenie i ruszyć w trasę. Oczywiście również przy tej technologii obowiązują pewne specyficzne reguły pracy. Ich poznanie wymaga jednak tylko krótkiego szkolenia. Podstawową zasadą jest to, że pomiar powinniśmy zakończyć w punkcie startu (choć GeoSLAM udostępnił w swoim oprogramowaniu opcję, która pozwala z tego wymogu zrezygnować, ale kosztem gorszej jakości danych). Jak wylicza Karol Derejczyk z TPI, znaczenie ma także sposób, w jaki poruszamy skanerem, szczególnie przy przejściu między dwoma sąsiednimi pomieszczeniami (przez próg najlepiej przechodzić bokiem). Jeśli chodzi o prędkość poruszania się, sugeruje się powolny spacer, choć producent udowodnił, że jego skaner radzi sobie ze składaniem chmury pozyskanej z prę-

kością nawet 50 km/h. Należy przy tym pamiętać, że wyższa prędkość przekłada się wprost na niższą gęstość wynikowej chmury. Na liście zalet jest także ograniczenie jednego pomiaru do 20 minut. Przekroczenie tego limitu znacząco wydłuża postprocessing i obniża dokładność.

A skoro o obliczeniach mowa, etap ten również nie powinien przysparzać problemów. W podstawowych zastosowaniach wystarczy zgrać pozyskane dane do oprogramowania GeoSLAM Connect, a całą obróbkę wykona ono automatycznie. Program oferuje też narzędzia, które dzięki manualnej interwencji pozwalają na różne sposoby podnieść jakość wyników danych.

Całkiem proste jest również powiązanie pozyskanej chmury z układem współrzędnych. Skaner ma bowiem podstawkę z otworem, który podczas pomiaru należy na 10 sekund umieścić na punkcie o znanych współrzędnych. Następnie na etapie postprocessingu wystarczy wskazać w pliku tekstowym, które współrzędne odpowiadają poszczególnym punktom. I gotowe.

Jeśli mielibyśmy szukać dziury w całym, powiedzielibyśmy, że do osiągnięcia lepszej intuicyjności pracy przydałaby się opcja wizualizacji pozyskiwanej chmury na żywo. W ten sposób użytkownik jeszcze w terenie miałby pewność, że pomierzył wszystkie potrzebne mu obiekty. Ale producent jakby usłyszał tę uwagę, bo na początku sierpnia ogłosił udostępnienie tej funkcji dla skanerów Horizon.

• ...ale czy dokładnie?

Dla wielu potencjalnych użytkowników tego skanera kluczową kwestią jest błąd pomiaru. W oficjalnej specyfikacji Zeb Horizon znajdziemy jedynie lakoniczną informację, że dokładność względna wynosi 6 mm. Biorąc jednak pod uwagę specyfikę algorytmów SLAM, liczba ta niewiele mówi. Z jakimi błędami musimy się zatem liczyć przy wykorzystaniu tego typu sprzętu?

Odpowiedź na to pytanie nie jest prosta, bo na wynikową dokładność wpływ ma kilka czynników. Kluczowym jest z pewnością trasa pomiaru – im dłuższa droga oraz im mniejsza

liczba przecięć, tym dokładność złożenia chmury będzie gorsza. Istotna jest także geometria okolicznych obiektów. Algorytm SLAM gorzej radzą sobie z otwartymi terenami (np. łąkami czy polami), a świetnie funkcjonują chociażby w lesie czy fabryce. Podobnie jak w każdym innym skanerze, także i w tym przypadku znaczenie ma rodzaj mierzonego materiału. Przykładowo, czarne obiekty obniżają zasięg i podwyższają poziom szumów.

Tyle teoria, a co z praktyką? W swoim własnym badaniu firma GeoSLAM zeskanowała pomieszczenie, a następnie pomierzyła na chmurze punktów wybrane odcinki oraz porównała je ze wskazaniami laserowego dalmierza typu Disto. Test wykazał względny błąd pomiaru Horizonta na poziomie 6 ± 4 mm.

W celu sprawdzenia dokładności bezwzględnej sięgnięto po dane dla kilku sąsiednich pomieszczeń i porównano je z chmurą punktów pozyskaną przez statyczny skaner Riegl VZ-400. Wynik: na poziomie prawdopodobieństwa 68% błąd wyniósł 6 mm, a dla 95% sięgnął 19 mm.

Podobne testy przeprowadziła firma TPI. – W przypadku skanów trwających około 20 minut i bez wykorzystania punktów kontrolnych błąd pomiaru nie przekracza 10 cm. Natomiast z punktami kontrolnymi spada do 5-6 cm – wylicza Piotr Matyjasek z TPI. – Jeśli natomiast zależy nam tylko na wymiarach pojedynczego pomieszczenia, błędy nie przekraczają milimetrów, a różnice w powierzchni są nie większe niż kilka centymetrów kwadratowych. W takich przypadkach głównym źródłem błędów jest zresztą nie urządzenie, ale ewentualny problem z precyzyjnym wskazaniem mierzonych punktów – tłumaczy.

W innym teście firma TPI wykonała pomiar okolic dworca kolejowego w Rumi i porównała wyniki z pomiarem GNSS i tachymetrycznym. W tym przypadku różnice współrzędnych nie przekraczały 4 cm.

• Okiem GEODETY

Nie bylibyśmy sobą, gdybyśmy sami nie przeanalizowali tego zagadnienia. W tym celu pomierzyliśmy zarówno całą naszą redakcję z klatką schodową, jak i okoliczny skwer o wymiarach około 190 x 115 metrów.

Wynikiem kilkuminutowego pomiaru wnętrza budynku (fot. 2) jest chmura 17,7 mln pokolorowanych punktów. Co zastanawiające, przed kolorowaniem liczyła ona aż 42,5 mln pkt. Skąd ta dość znacząca różnica? – Punkty, które nie są kolorowane, to najczęściej jakieś oddalone fragmenty widziane niewystarczająco dobrze przez kamerę lub różnego rodzaju szumy – wyjaśnia Karol Derejczyk.

Oczywiście, gdybyśmy zmierzyl ten sam obiekt skanerem naziemnym (a prędkość topowych modeli dochodzi już do 2 mln pkt/s), otrzymalibyśmy znacznie gęstszą chmurę pozwalającą uchwycić znacznie więcej detali. Jak to jednak zwykle w geodezji bywa – coś za coś. Taki pomiar oraz jego post-processing trwałyby przecież znacznie dłużej. Należy też zadać sobie pytanie, czy ta większa szczegółowość chmury jest nam w ogóle potrzebna. Dane pozyskane przez GeoSLAM pozwalają bowiem bez większych problemów zidentyfikować nie tylko ściany, ale również poszczególne meble i urządzenia biurowe, a nawet pojedyncze książki. Ponadto przecież urok skanerów SLAM polega na tym, że szczegółowość chmury możemy łatwo zwiększyć – wystarczy wolniejszy spacer i bardziej skomplikowana trajektoria ruchu instrumen-

tu (np. zagłębienie z nim w każdy zakamarek).

Drugi pomiar wykonaliśmy na mokotowskim skwerze Słonimskiego o powierzchni około 21,7 tys. m kw. (fot. 4). Jego wynikiem była chmura 32,1 mln pokolorowanych punktów, co – jak łatwo obliczyć – daje średnią gęstość na poziomie niecałe półtora tys. pkt/m kw. W tym teście skoncentrowaliśmy się na zasięgu i szczegółowości pomiaru. Co z niego wynikło? Deklarowany przez producenta zasięg 100 metrów nie wydaje się przesadzony. Jeśli jednak zależy nam na uzyskaniu wysokiej szczegółowości, powinniśmy poruszać się w znacznie bliższej odległości od mierzonych obiektów niż owe 100 m – najlepiej do kilku metrów (fot. 5). Po spełnieniu tego warunku skaner z powodzeniem pomierzył nie tylko sam skwer, ale i fasady okolicznych 5-kondygnacyjnych budynków czy wysokie drzewa. Na pozyskanej chmurze możemy ponadto rozpoznać szczegóły architektoniczne kamienic, samochody, znaki drogowe (w tym malowanie jezdni), latarnie, włazy studzienek czy ławki.

A co z dokładnością pomiaru? Wizualna analiza pozyskanych danych pozwala stwierdzić, że są one pozbawione ewidentnych zniekształceń geometrii,



Rys. 3. Przekrój przez redakcyjne pomieszczenia



Rys. 4. Pokolorowana chmura punktów dla skweru Słonimskiego na Górnym Mokotowie

np. pochylonych czy nierównych ścian. Z przekrojów przez chmurę punktów wynika ponadto, że „grubość” takich obiektów, jak ściany, sufity czy fasady wynosi około 1-2 cm, co podpowiada, z jakimi wielkościami szumów należy się liczyć.

W ramach naszej analizy pomierzyliśmy ponadto wybrane obiekty dobrze widoczne na chmurze (zarówno wewnątrz budynku, jak i na dworze) i porównaliśmy je z wielkościami określonymi przy użyciu miarki. Pod lupę wzięliśmy np. stół, półki, framugi, fragmenty fasady czy okna. Wynik? Różnice z reguły wynosiły około 1 cm, przy czym w najlepszych przypadkach zgodność miar zamykała się w pojedynczych milimetrach, a w najgorszych dochodziła do 2 cm. W tej drugiej grupie znalazły się przede wszystkim obiekty, których krawędzie było wizualnie trudniej wskazać na chmurze punktów.

● Różnica tkwi w oprogramowaniu

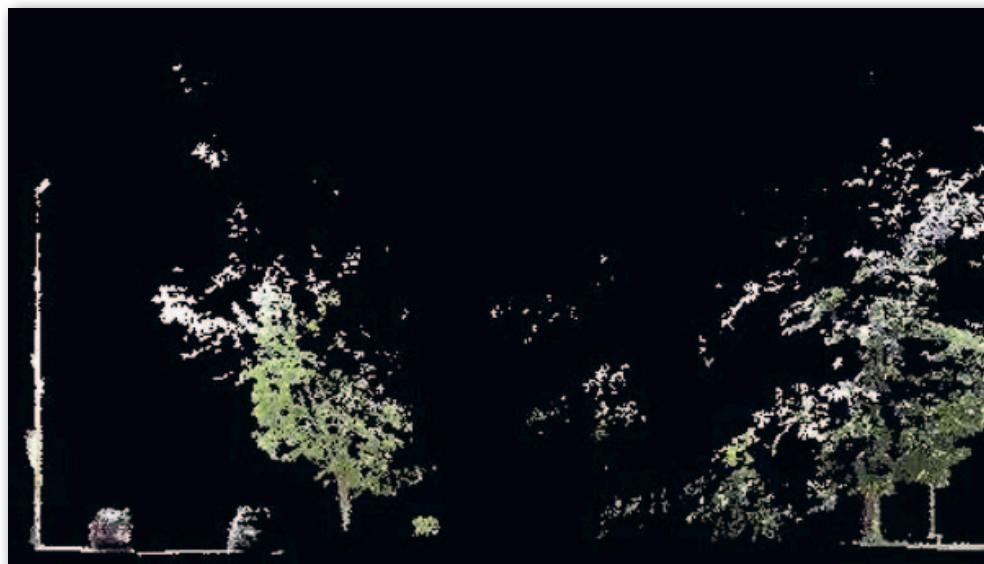
Skoro na rynek trafia w ostatnim czasie coraz więcej tego typu skanerów o zbliżonych parametrach pomiarowych, na usta ciśnie się pytanie, co akurat wyróżnia markę GeoSLAM. – To, że działa i się nie psuje, co u konkurencji wcale nie jest oczywiste – śmieje się Piotr Matyjasek. Zaraz jednak dodaje, że kluczowa prze-

waga tkwi w oprogramowaniu. Wraz ze skanerem firma GeoSLAM oferuje bowiem program do postprocessingu Connect. Oprócz podstawowej funkcji, jaką jest złożenie wszystkich punktów do jednej pokolorowanej chmury i jej eksport do popularnego formatu LAS, software ten oferuje wiele innych narzędzi. Niedawną nowością jest chociażby automatyczna eliminacja ze skanu ruchomych obiektów, takich jak ludzie czy samochody. Dodatkowy moduł Draw oferuje zaś narzędzia automatyzujące wektoryzację i generowanie planów pomieszczeń czy wykrywanie różnic między skanami pozyskiwanymi w różnym czasie.

Jak zwraca uwagę Piotr Matyjasek, wszystko to użytkownik otrzymuje w ramach jednorazowej opłaty, bez konieczności kupowania jakiegokolwiek abonamentu. A skoro już o pieniądzach mowa, to koszt skanera Horizon wraz z niezbędnym zestawem akcesoriów i oprogramowaniem Connect powinien zamknąć się w kwocie około 200 tys. zł. Dla porównania, podstawowy model marki GeoSLAM, czyli Zeb Go, kosztuje około 26 tys. euro.

● Wszechstronność wadq czy zaletq?

Już w standardowym zestawie Zeb Horizon wydaje się urządzeniem

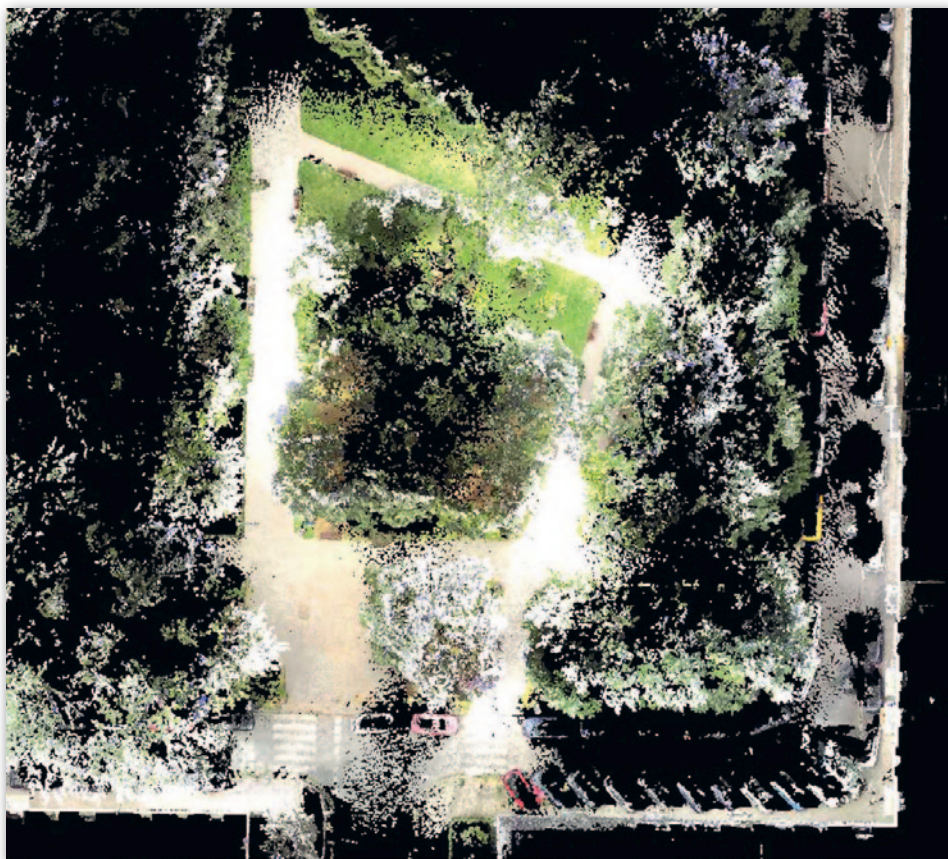


Rys. 6. Przekrój przez chmurę punktów dla skweru Słonimskiego

wszecznym, a przecież można jeszcze dokupić do niego różnorodne akcesoria. My testowaliśmy go razem z kamerą Zeb Vision, która wykonuje panoramiczne zdjęcia 4K w tempie 2 klatek na sekundę. Jej podstawowym zastosowaniem jest kolorowanie chmury punktów. Oprócz tego skaner ten jest oferowany ze specjalnym uchwytem, który pozwala zamienić go w lotniczy lidar. Na dziś rozwiązanie jest kompatybilne z dronami DJI M300 i M600 oraz Freefly Alta 8, Alta 8 Pro i Alta X. Dostępny jest też uchwyt do montażu na samochodzie bądź plecaku, a także do pomiarów studzienek i podwieszanych sufitów. Kupując zatem jeden instrument, otrzymujemy rozwiązanie, które pozwala łatwo i niewielkim kosztem poszerzać zakres świadczonych usług.

Oczywiście jest i druga strona medalu. W pomiarach pomieszczeń skaner naziemny da nam bowiem nieporównanie lepszą szczegółowość i dokładność pomiaru. Specjalistyczny skaner lotniczy będzie mieć z kolei lepszy zasięg i zdolność penetrowania roślinności. A system zaprojektowany wyłącznie dla samochodów będzie mógł operować przy wyższej prędkości jazdy.

Lektura zagranicznych forów internetowych pokazuje jednak, że skanery SLAM stały się już dość popularne i są wykorzystywane np. jako uzupełnienie naziemnych skanerów do pomiarów statycznych. Inaczej jest u nas w Polsce, gdzie taki instrument jest często jedynym lidarem na wyposażeniu klienta – wynika z obserwacji firmy TPI. Jak wyjaśnia Piotr Matyjasek, krajowi użytkownicy zwykle wykorzystują tego typu skanery w pomiarach lokali oraz górnictwie, a w mniejszym stopniu także w archeologii czy leśnictwie.



Rys. 5. Choć skaner Horizon ma zasięg 100 metrów, to wysoką szczegółowość danych zapewnia w promieniu kilku-kilkunastu metrów

• Rewolucję czas zacząć?

To, że coraz więcej producentów wchodzi na rynek skanerów SLAM, dobrze pokazuje ogromny potencjał tego sprzętu. A szybko rosnąca liczba różnorodnych zastosowań tej technologii tylko to potwierdza. Z dużym prawdopodobieństwem należy się zatem liczyć w najbliższym czasie z szybką ewolucją tej kategorii instrumentów. W jakim kierunku? Z pewnością przydałoby się odchudzenie i zmniejszenie wymiarów skanerów, bo przy

dłuższych pomiarach ich użytkowanie może być uciążliwe. Producenci będą też dążyć do zwiększenia prędkości pomiarów, by wynikowa chmura była jeszcze gęstsza i ułatwiała rozpoznanie jeszcze mniejszych detali. Nie da się także wykluczyć dalszego podkręcania dokładności, a temu z pewnością towarzyszyć będzie rozwój oprogramowania do obróbki danych. Przyszłość tego sprzętu rysuje się zatem bardzo ciekawie!

Tekst i wizualizację Jerzy Królikowski

