

Piotr Marzec, Celina Pasternak

Naziemny i lotniczy skaniny laserowy jako nowa technika pomiarowa

Acta Scientifica Academiae Ostroviensis nr 34, 39-47

2010

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Piotr Marzec
Celina Pasternak

Naziemny i lotniczy skaniny laserowy jako nowa technika pomiarowa

1. Lotniczy skaniny laserowy (LIDAR)

Historia lotniczego skaniny laserowego jest krótka. Ponieważ pierwsze komercyjne konstrukcje skanerów pojawiły się w pierwszej połowie lat 90-tych. Na dany system lotniczego skaniny laserowego składają się trzy segmenty: dalmierz laserowy, inercyjny system nawigacyjny (INS) i różnicowy GPS (dGPS). Dopiero w latach 90-tych zaawansowanie technologiczne tych komponentów umożliwiło sprzętową produkcję koncepcji skaniny. Powstało wiele konstrukcji rozwijanych przez firmy komercyjne oraz budowlane jako jednostkowe konstrukcje prototypowe przez ośrodki naukowo-badawcze. Technika ta stale i bardzo szybko się rozwija. A liczba działających instalacji od 1990 r. gwałtownie się powiększa. W gronie tych kompozycji obserwuje się duże zróżnicowanie rozwiązań, skutkujące różnymi parametrami użytkowymi. Większość systemów konstruowanych przeznaczonych jest do instalacji na pokładzie samolotu. Część jednak projektowana jest z zamiarem o instalacji na pokładzie helikoptera lub podwieszeniu pod helikopterem.

1.1. Zasada działania i architektura obiektu

Pojęcie skaniny laserowego można sprowadzić do zasady laserowego pomiaru odległości z lecącego samolotu (helikoptera) do punktów powierzchni terenu. W razie, gdy gęstość terenowych punktów pomiarowych jest tak duża, że ich średnia odległość stanowi około metra do kilku metrów. To w efekcie uzyskuje się quasi-ciągłą, przestrzenną prezentację powierzchni terenu.

W praktyce promień dalmierza laserowego, poprzez zwierciadło skanujące lub układ światłowodów "przeczesuje" teren w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku lotu. Laser działa impulsowo i z dużą częstotliwością "próbkuje" obszar. Energia częściowo odbita od powierzchni terenu jest przez układ optyczny skanera odbierana i rejestrowana. Tak samo jak w tradycyjnym dalmierzu laserowym, na podstawie pomiaru czasu powrotu odbitego sygnału określa się odległość: samolot - punkt terenowy.

Z dalmierzem synchronicznie współpracuje system GPS, określający pozycję samolotu, z której wysłano impuls, oraz inercyjny system nawigacyjny (INS). System ten określa aktualne nachylenia katowe platformy, na której zamontowana jest optyczna głowica skanująca. Integracja danych z tych trzech systemów pomiarowych wskazuje położenie, z którego zrobiono pomiar

odległości, samą odległość i jej kierunek w przestrzeni. Pozwala to określić współrzędne punktu terenowego X, Y, Z, w który w danym momencie był wycelowany laser.

Na podstawie opisanej zasady działania nietrudno zauważyć podobieństwo skanera laserowego do radaru, merytoryczna różnica sprowadza się do tego, że radar działa w zakresie mikrofalowym, a skaner w zakresie optycznym. Z tych powodów skaner laserowy często określa się mianem radaru laserowego, lub LIDAR-u (ang.: Light Detection and Ranging), tj. systemu, na który składa się laser i odbiornik światła odbitego. Pozwala to określić odległość do obiektu.

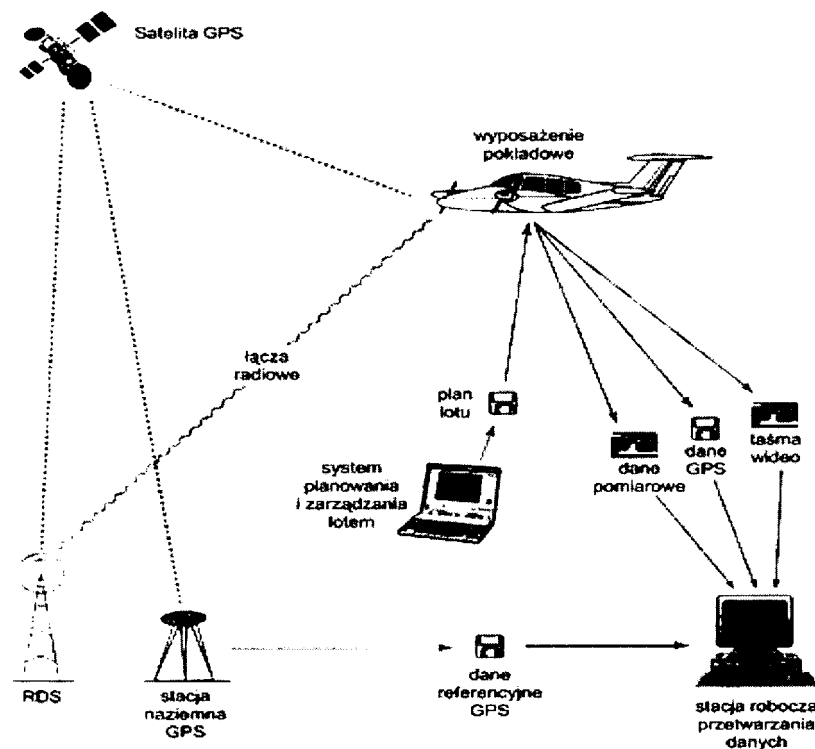
Na system lotniczego skaningu laserowego składają się dwa podzespoły: pokładowy (latający) i naziemny.

W skład segmentu pokładowego wchodzi:

- dalmierz laserowy (LRF – Laser Range Finder),
- system pozycjonowania trajektorii lotu oparty na GPS (Global Positioning System),
- inercyjny system nawigacyjny INS (Inertial Navigation System),
- kamera (lub kamery) wideo,
- blok rejestracji danych,
- system planowania i zarządzania lotem.

Na segment naziemny składa się:

- naziemna, referencyjna stacja GPS,
- stacja robocza do obróbki i przetwarzania danych i generowania wynikowego DTM (tryb off-line).



Rys. 1. Komponentny system lotniczego skaningu laserowego

Poniższa tabela przedstawia klasyczne parametry komercyjnych systemów skanerowych:

Parametr	Typowe wartości
długość fali lasera	1,064 μm
częstotliwość generowania impulsu	5-33 kHz (max 100 kHz)
długość impulsu	10 ns
rozbieżność wiązki impulsu	0,25-2 mrd
częstotliwość skanowania	25-40 Hz
wysokość lotu	Helikopter: 200-300 m, samolot: 500-1000 m, (maks. 6000 m)
kąt skanowania (całkowity)	20°-40° (maksymalnie 75°)
szerokość obrazowanego pasa	0,35-0,7 wysokości lotu

odległość punktów laserowych	0,5-2 m
częstotliwość rejestracji GPS	1-2 Hz
częstotliwość rejestracji INS	50 Hz (maksymalnie 200 Hz)
dokładność wysokości punktów laserowych	0,15-0,20 m

Tabela 1. Typowe parametry lotniczych skanerów laserowych

1.2. Dokładność

Dokładność sytuacyjna i wysokościowa punktów laserowych jest zdeterminowana przez precyzje trzech składowych komponentów aparatury:

- Dalmierza laserowego,
- Inercjalnego systemu nawigacji – INS określającego orientację kątową impulsu,
- Systemu GPS określającego pozycję, z której wysłano impuls.

Przy ocenie dokładności rezultatu końcowego, którym jest NMT. Powinno uwzględnić się dodatkowo rozkład punktów laserowych oraz skuteczność "czyszczenia" danych z punktów odstających od powierzchni terenu. Uwzględniając te elementy, można w uproszczeniu przyjąć, że dokładność wysokościowa NMT wygenerowanego techniką skaningu laserowego wynosi (błąd średni):

$$m_{Z,NMT} = 0,15-0,25 \text{ m}$$

Jest to bardzo wysoka dokładność możliwa jedynie do osiągnięcia z bezpośrednich pomiarów terenowych lub z opracowania zdjęć lotniczych w dużej skali.

1.3. Zalety i ograniczenia

Technika skaningu laserowego ma wiele istotnych korzyści, wyróżniających ją spośród innych technik pomiarowych:

- Skaner laserowy jest systemem aktywnym (ma własne źródło "oświetlenia"), co czyni go całkowicie samodzielnym od warunków oświetleniowych.
- Obrazowanie tą techniką jest możliwe nawet przy pełnym zachmurzeniu, o ile podstawa chmur jest wyższa od wysokości lotu. Tylko silny deszcz i mgła, stanowią przeszkodę. Oznacza to, że w naszych warunkach klimatycznych prawie połowa dni w roku to dni "lotne". Stanowi to bardzo istotną przewagę nad zdjęciami lotniczymi.
- Niepowtarzalną cechą lotniczego skanera laserowego jest możliwość przenikania przez warstwę roślinności. Właściwość ta czyni technologię

skaningu laserowego przydatną na obszarach zalesionych, gdzie tradycyjne zdjęcia nie sprawdzają się.

- Charakteryzuje się bardzo wysoką dokładnością wysokościową danych pomiarowych.

Spośród ograniczeń skaningu laserowego można wymienić:

- Brak odbić od powierzchni wody, co czyni trudności w lokalizacji linii brzegowej.
- Trudności określenia linii szkieletowych i linii nieciągłości terenu.
- Stosunkowo wysoki koszt samej aparatury i usługi.

1.4. Przykłady zastosowań

Lotniczy skaningu laserowy odnajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie potrzebna jest precyzyjna i szybko dostępna wiadomość o ukształtowaniu terenu. Jako przykłady można tu wymieniać następujące zastosowania:

- budowa precyzyjnego NMT dla różnorodnych potrzeb,
- pomiar wysokości szaty roślinnej,
- opracowanie wysokościowe morskiej strefy brzegowej,
- opracowanie wysokościowe obszarów zagrożonych powodzią,
- rejestracja obszarów zagrożonych erozją i lawinami,
- kartowanie lodowców,
- obrazowanie obszarów kopalń odkrywkowych dla oceny wielkości urobku, kontroli zwałowisk, rekultywacji itp.
- budowa przestrzennego modelu aglomeracji miejskich (tzw. model miasta 3-D) dla potrzeb telekomunikacji, urbanistów, planistów itp.
- inwentaryzacja i konserwacja linii energetycznych, dróg, rurociągów, wałów przeciwpowodziowych i innych wydłużonych obiektów infrastruktury.

2. Naziemny skaningu laserowy

Naziemny skaningu laserowy umożliwia wykonanie pomiarów do dowolnie wybranych elementów terenu, maszyn, urządzeń i wnętr architektonicznych. Rezultatem pomiarów są współrzędne wyznaczone w dowolnym odstępnie np. (co 1 cm, 2.5 cm, 5cm, itd.).

Z wyznaczonych współrzędnych odpowiednie oprogramowanie tworzy modele numeryczne, których wpasowanie do wyników pomiaru jest z dokładnością 2mm.

Praktyczne wykorzystanie skanera to m.in.: geodezyjne pomiary inżynierskie, pomiary wykorzystywane w archeologii i ochronie zabytków, pomiary

inwentaryzacyjne drogowe i w kolejnictwie jak choćby nawet do prac badawczych z zakresu nauk leśnych.


Laserowy skaner to bardzo zawansowana mutacja tachimetru elektronicznego. Skaner podobnie wyznacza współrzędne przestrzenne mierzonych punktów, określając kąt i odległość. Bardzo zbliżone są też dokładności realizowanych przez skaner czynności pomiarowych. Parametrem najbardziej odróżniającym te dwa urządzenia jest prędkość pracy, oczywiście na korzyść skanera. Skaner ma również dużą przewagę nad metodami obrazowymi, a mianowicie rejestruje czwarta współrzędną – siłę odbicia powracającego sygnału świetlnego wysłanego przez skaner.

2.1. Przykłady naziemnych skanerów laserowych

Skanowanie laserowe jest nieocenionym narzędziem inwentaryzacji obiektów architektonicznych, inżynierskich, instalacji przemysłowych czy budowli i mas ziemnych. Do opracowania tego typu obiektów stosuje się urządzenia przenośne. Obracając się wokół własnej osi skaner punkt po punkcie mierzy wszystkie obiekty będące w jego zasięgu. Większość skanerów wyposażona jest również w kamery cyfrowe przypisujące punktom ich naturalne kolory.

Jak bardzo zmieniają się czasy i technika, świadczy fakt, że w użyciu są już instrumenty, które pozwalają mierzyć 1000-2000 punktów w ciągu 1 sekundy i tworzyć z nich bardzo dokładny i użyteczny model 3D. Mowa tu o skanerach laserowych. Na świecie jest ich kilkaset, a dwa dotarły także do Polski: CYRAX 2500 oraz Callidus. Charakteryzują się one wysoką precyzją, wygodą i ekonomią pomiaru. I chyba tylko cena może dziś powstrzymać potencjalnego użytkownika przed zamianą tachimetru na to nowoczesne i bardzo funkcjonalne urządzenie.

Spośród różnorodnych rodzajów instrumentów na wyróżnienie zasługują skanery, zobrazowane w tabeli poniżej. Przedstawia ona modele kilku skanerów wyprodukowanych przez wiodące firmy wraz z ich opisem i parametrami:

						
Marka	Trimble	Zoller+Fröhlich	Topcon	Leica HDS	Optech Incorporated	Faro Technologies
Model	GX	IMAGE	GLS-	Leica	ILRIS-	Photon

		R 5006	1000	Scan Station 2	3DER	80/20
Tryb pracy skanera	Impulso wy	Fazowy	Impulso wy	Impulso wy	Impulso wy	Fazowy
Długość wyznacznia						
Odległości [mm/m]	4/50	1	4	4/50	7/50	1,2/25
kat[°]	0,0006	0,007	0,006	0,0012	0,0046	brak
Rozdzielczość skanowania [mm]	3,2	0,1	brak	<1	1,2	0,6
Prędkość skanowania						
Maksymalna [pkt/s]	5000	500000	3000	50000	2500	120000
Średnia [pkt/s]	5000	250000	3000	Zależy do gęstości i zakresu	2500	120000
Zasięg skanowania						
Minimalny [m]	brak	1	1,5	1	3	0,6
Maksymalny [m]	350	79	350	300	1800	76
Pole widzenia						
W pionie [°]	60	310	70	270	360	320
W poziomie [°]	360	360	360	360	360	360
Min. wielkość mierzonego przyrostu						

W pionie	0,0009	0,0018	brak	<1mm	0,0004	0,009
W poziomie	0,0018	0,0018	brak	<1mm	0,0004	0,00076
Zasilanie / czas pracy [h]	brak / 8	Li-lon / 1,5	Li-lon / 4	brak / 3	Hytron14 0 / 3-4	brak / 5-8
Wymiary (dł.x szer. x wys.) [mm]	343x323x404	268x190x372	260x576x356	265x370x510	320x32x220	410x160x280
Waga [kg]	13,6	14	12	18,5	13	14,5
Temperatura pracy [°C]	0 do +40	0 do +40	Brak danych	0 do +40	0 do +40	5 do +40

Tabela 2. Skanery laserowe

2.2. Zastosowanie

Inwentaryzacja obiektów architektonicznych i zabytkowych

Inwentaryzacja ta w połączeniu z fotografią barwną służy do tworzenia dokumentacji w procesie prac konserwatorskich, jak również jest formą uwiecznienia stanu obiektów, zabytków.

- Budynków i pomieszczeń,
- Elewacji i detali architektonicznych,
- Konstrukcji nośnych,
- Stanowisk archeologicznych.

Inwentaryzacja obiektów inżynierskich

- Mostów i wiaduktów,
- Zapór i obiektów hydrotechnicznych,
- Kominów i chłodni kominowych.

Inwentaryzacja i modelownie instalacji przemysłowych

- Podstacji energetycznych,
- Stacji bazowych telefonii komórkowej,
- Instalacji chemicznych,
- Węzłów ciepłowniczych.

Inwentaryzacja obiektów ziemnych

- Pomiar objętości hałd i składowisk,
- Inwentaryzacja nasypów i wykopów,
- Monitorowanie przemieszczeń i przyrostów mas ziemnych.

3. Podsumowanie

W Polsce metoda naziemnego skaningu laserowego jest stosowana dopiero od kilku lat, ale już można zauważyć, że z roku na rok staje się coraz

popularniejsza. Nie ulega wątpliwości, że z uwagi na czas i dokładność realizacji, jest to najlepsza metoda inwentaryzacji różnych obiektów. Szybkość skanowania na poziomie kilkudziesięciu tysięcy punktów na sekundę jest wystarczająca do tego typu prac. Pomiary te mogą posłużyć do różnego rodzaju analiz. Bądź też do oceny zniszczeń i stanowić podstawowy materiał dokumentacyjny.

W przypadku lotniczego skaningu laserowego następuje faza przejścia od eksperymentów do wdrożenia. Realizacja dużych projektów wskazuje na to, że technologia jest obecna na rynku usług fotogrametrycznych i weszła w fazę operacyjną. Główne zalety skaningu, jakimi są zapewne wysoka dokładność pomiaru i duża dyspozycyjność, wyrażająca się znaczną niezależnością od pogody i pokrycia terenu. Oraz krótkim czasem dostarczenia produktu końcowego. Ta technologia jest szczególnie przydatna w budowie precyzyjnego NMT. Należy oczekiwać, że w tym zakresie wyprze zdjęcia lotnicze. Przewaga nad zdjęciami jest wyraźnie widoczna, jeśli produktem finalnym ma być tylko NMT. Jeżeli oprócz NMT przewiduje się również inne produkty pochodne zdjęciom, takie jak ortofotomapa, to dominacja ta nie jest już tak ewidentna i wymaga bardziej szczegółowej analizy konkretnej sytuacji.

Literatura:

1. Kurczyński Z., *Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
2. Kurczyński Z., Preuss R., *Podstawy fotogrametrii*, WPW, Warszawa 2004.
3. Kurczyński Z., *Lotniczy skaner laserowy – nowa technologia pozyskiwania danych o rzeźbie terenu*; Geodeta, NR 2 (45), luty 1999.
4. *Skanery laserowe*; „Geodeta” Dodatek, nr 4 (155), kwiecień 2008 r.
5. Strona internetowa
http://www.geoforum.pl/pages/index.php?page=Isl_tel
6. Strona internetowa <http://www.atomnet.pl/~geodeta/1999/45text.htm>
7. Strona internetowa
<http://www.wpg.com.pl/index.php/eng/Geodezja/Fotogrametria>