

**KAMERA CYFROWA LEICA ADS40, SKANER LASEROWY
LEICA ALS50 – DOŚWIADCZENIA PRODUKCYJNE**

**AIRBORNE DIGITAL SENSOR LEICA ADS40
AND LASER SCANNER ALS50, WORKSHOP EXPERIENCES**

Sławomir Boczar, Rafał Dąbrowski, Witold Fedorowicz-Jackowski, Jacek Zych

GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o.

SŁOWA KLUCZOWE: kamera cyfrowa, LIDAR, numeryczny model terenu, ortofotomapa

STRESZCZENIE: Ostatnie dwie dekady to era rewolucji w fotogrametrii. Począwszy od skanerów fotogrametrycznych poprzez zautomatyzowane i coraz szybsze cyfrowe stacje robocze, obecnie jesteśmy świadkami implementacji kamer cyfrowych o rozdzielczości podobnej lub większej niż kamery analogowe. Ostatni krok przejścia od technik analogowych do cyfrowych można dziś uznać za dokonany. Czołowi producenci kamer lotniczych obrali różne podejścia do zagadnienia cyfrowego obrazowania. Obecnie możemy wyróżnić dwie zasadnicze idee konstrukcji cyfrowych kamer lotniczych: liniową - konstrukcyjnie zbliżoną do sensorów satelitarnych, jak np. QuickBird lub powierzchniową - konstrukcyjnie podobna do kamer analogowych, co nie wymaga zasadniczej zmiany oprogramowania. Jedną z ciekawszych konstrukcji kamer dostępnych na rynku oferuje obecnie firma Leica Geosystems. Kamera Leica ADS40 jest skanerem liniowym, obrazującym powierzchnię ziemi w 8 kanałach spektralnych (2 panchromatyczne, 2 czerwone, 2 zielone, niebieski i podczerwień), w trzech kierunkach (wstecz, nadirowo, w przód). Pozyskane obrazy umożliwiają generowanie kompozycji w barwach naturalnych i w podczerwieni. Kanały panchromatyczne rejestrowane są z wychyleniem sensora wstecz i w przód umożliwiając automatyczne lub manualne pozyskiwanie i edycję lub weryfikację informacji wysokościowej. Wszystkie kanały mają równą rozdzielczość – po 12 000 elementów w każdej linii. Dzięki temu wszystkie zobrazowania są równie szczegółowe, co eliminuje potrzebę stosowania metody wyostrażania (*pan-sharpening*) obrazów wielospektralnych, często konieczna w przypadku kamer z matrycą powierzchniową. Leica ADS40 jest jedną z najlepiej sprzedających się fotogrametrycznych 'kamer' cyfrowych. Do dziś sprzedano ponad 50 egzemplarzy ADS40. W nowoczesnej fotogrametrii coraz powszechniejsze staje się zastosowanie skanerów laserowych LIDAR. Firma Leica Geosystems również w tym segmencie oferuje narzędzie: skaner laserowy Leica ALS50 rejestrujący nawet do 4 odbić wiązki laserowej. Wielokrotność odbić wiązki pozwala na otrzymanie precyzyjnych modeli wysokościowych. Dzięki filtracji pozyskanych z ALS50 danych możliwe jest wygenerowanie np. numerycznego modelu terenu (NMT) i numerycznego modelu powierzchni terenu (NMPT). Jednoczesne zastosowanie kamery Leica ADS40 i skanera laserowego Leica ALS50 zapewnia otrzymanie unikalnego zestawu zobrazowań i złożonej informacji wysokościowej. W artykule przedstawiono doświadczenia produkcyjne firmy GEOSYSTEMS Polska sp. z o.o. uzyskane w trakcie realizacji projektu z zastosowaniem skanera Leica ALS50 i kamery Leica ADS40. Przedstawiono cały cykl produkcyjny zrealizowany w środowisku Leica Photogrammetry Suite (LPS). W artykule zamieszczono fragmenty produktów końcowych: różne rodzaje ortofotomap i numerycznych modeli wysokości. Projekt zrealizowany przez GEOSYSTEMS Polska sp. z o.o. był pierwszym projektem w Polsce, w którym jednocześnie wykorzystano obydwa urządzenia firmy Leica Geosystems.

1. WPROWADZENIE

Kamera ADS40 – produkt firmy Leica Geosystems – jest jednym z ciekawszych rozwiązań w pełni cyfrowego sposobu pozyskiwania obrazu powierzchni Ziemi z pułapu lotniczego. Od roku 2000 sprzedano ponad 30 egzemplarzy kamer ADS40. Nabywcami są znane i liczące się firmy z branży, m. in. PASCO, ISTAR, North West Geomatics, TerraDigital i inne. W roku 2004 na XX kongresie ISPRS w Stambule opublikowano ponad 30 prac dotyczących kamery ADS40. W roku 2005 kamera ADS40 została wykorzystana po raz pierwszy w Polsce wraz ze skanerem laserowym LIDAR Leica ALS50.

2. PARAMETRY ZASTOSOWANYCH URZĄDZEŃ

2.1. ALS 50 – podstawowe dane

- 83 000 pomiarów na sekundę
- Rejestracja wielokrotnego odbicia (1,2,3, i ostanie)
- Pomiar intensywności.
- Maksymalny kąt widzenia do 75 stopni
- Możliwość integracji z kamerą cyfrową
- Maksymalna wysokość lotu: 4 km
- Automatyczna kompensacja wychyleń

2.2. ADS40 – podstawowe dane

Kamera ADS40 rejestruje obraz powierzchni ziemi w 8 kanałach i w trzech kierunkach. W tabeli 1 podano szczegółowe parametry wszystkich kanałów.

Tabela 1. Charakterystyka kanałów spektralnych kamery ADS40

Nazwa	Zakres nm	Piksel [μm]	Ilość pikseli	Wchylenie	Kierunek
PANB	400-700	6.5	12 000	14	wstecz
PANF	400-700	6.5	12 000	28	w przód
REDN	610-660	6.5	12 000	0	nadir
GRNN	535-585	6.5	12 000	0	nadir
BLUN	430-490	6.5	12 000	0	nadir
NIRF	835-885	6.5	12 000	16	w przód
REDF	610-660	6.5	12 000	16	w przód
GRNF	535-585	6.5	12 000	16	w przód

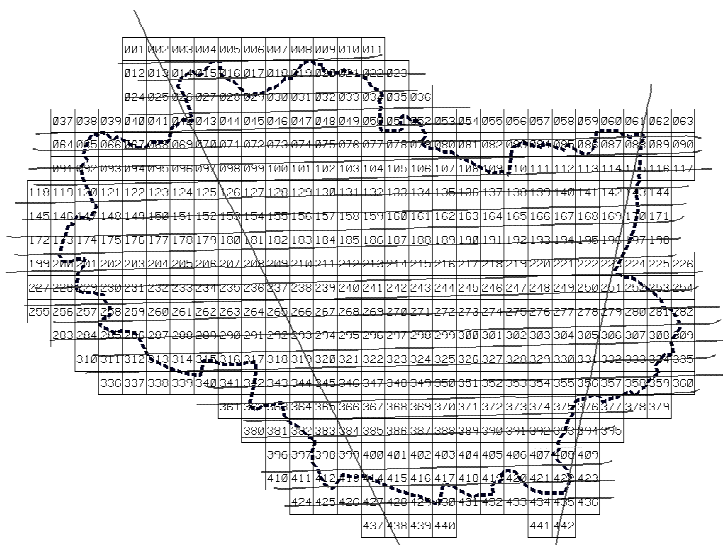
Wszystkie linijki detektorów umieszczone są za wspólnym obiektywem o ogniskowej 62.77 mm i kącie widzenia około 64°. Ponadto kamera ADS40 wyposażona jest w system IMU (Inertial Measurement Unit) rejestrujący wychylenia kamery z częstotliwością 200 Hz. Dodatkowo w tym samym czasie ustalana jest pozycja samolotu z pomiarów GPS (2 Hz). Na podstawie kombinacji pomiarów IMU i GPS można odtworzyć trajektorię lotu

z wysoką precyzją (800 Hz – 1.2 ms) i na jej podstawie dokonać korekcji obrazów ze względu na wchylenia kamery, tzw. poziom L1.

3. POZYSKANE DANE

3.1. Dane z ALS50

Skaning wykonano z rozdzielczością 0.8 punktu/m² i dokładnością wysokościową 0.2 m. Obszar opracowania obejmował 442 km². Wykorzystano stację referencyjną położoną w środku obszaru. Pozyskane dane podzielono na 442 moduły o powierzchni 1 km². Rysunek 1 przedstawia obszar opracowania wraz z podziałem na moduły. Na rysunku widoczne są również granice administracyjne Wrocławia oraz osie szeregów nalotu.



Rys. 1. Zasięg opracowania skanerem Leica ALS 50

3.2. Dane z ADS40

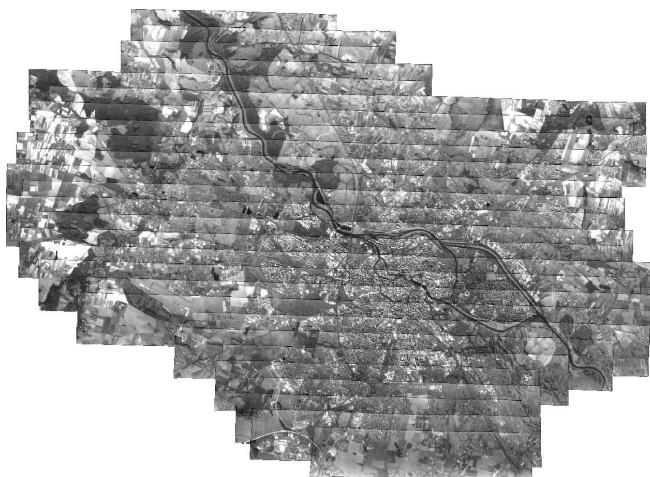
Założono następujące parametry nalotu:

- rozdzielczość terenowa: 20 cm,
- pokrycie poprzeczne: 70 %,
- obszar opracowania obejmował miasto Wrocław w jego granicach administracyjnych,
- nalot wykonano dnia 11 października 2005 roku.

W tabeli 2 zestawiono szczegółowe informacje dotyczące nalotu.

Tabela 2. Informacje dot. bloku ADS40 z Wrocławia

Powierzchnia	470 km ²
Liczba szeregów / orientacja	27 / wschód-zachód
Długość szeregów - najkrótszy - najdłuższy - średnio - razem	10 km 27.5 km 21.5 km 580 km
szerokość szeregu	2.2 km
pokrycie poprzeczne	ok. 70% (1.5 km)
wysokość lotu	ok. 2 km
stacja referencyjna	1, w centrum miasta
czas trwania nalotu	ok. 4 godz.



Rys. 2. Zasięg opracowania kamerą Leica ADS40

4. OPRACOWANIE DANYCH

4.1. Dane z ALS50

4.1.1. Etapy opracowania

- Nalot i pozyskanie punktów osnowy
- Wyliczenie trajektorii
- Sprawdzenie kompletności danych
- Podział chmury punktów na bloki
- Klasyfikacja punktów prowadząca do otrzymania DTM lub DSM

- Transformacja do dowolnego układu współrzędnych
- Manualna klasyfikacja, po klasyfikacji manualnej można przyjąć, że prawie 100 % punktów zostało właściwie zaklasyfikowanych
- Eksport danych

Głównym etapem pracy była klasyfikacja punktów w wyniku, której powstał DTM (numeryczny model terenu) i DSM (numeryczny model powierzchni). Klasyfikację ograniczono do czterech podstawowych klas: terenu, zieleni, szumu informacyjnego, budynków.

4.1.2. Identyfikacja punktów powierzchni terenu

Przynależność punktów do NMT klasyfikowano na podstawie kąta nachylenia do płaszczyzny wyznaczonej przez trzy sąsiednie punkty oraz odległość badanego punktu od tej płaszczyzny. Kąt nachylenia można dobierać w zależności od typu terenu, na terenach płaskich należy używać małego kąta aby odfiltrować z terenu niską roślinność i uzyskać najdokładniejszy model terenu. W terenach o bardziej zróżnicowanej rzeźbie można użyć większego kąta.

Selekcję punktów do modelu wykonujemy w modułach, np. 60 na 60 m, wewnątrz których znajdujemy najniżej położone punkty i zaczynamy budować model iteracyjnie na podstawie kąta i odległości od płaszczyzny tworzonej przez trzy sąsiednie punkty.

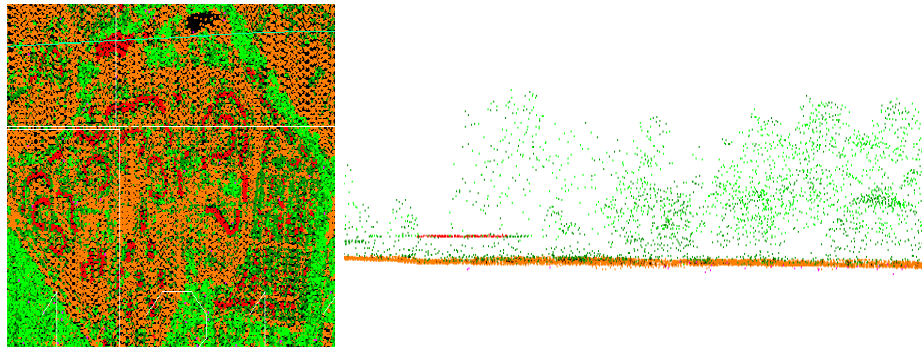
W wyniku klasyfikacji uzyskano DTM o dokładności $0.20 \div 0.40$ m. Dokładność DTM zależy od pokrycia terenu. Najwyższe dokładności uzyskano dla powierzchni utwardzonych (beton, asfalt).

Można pokusić się o większą dokładność poddając dane interaktywnej klasyfikacji z użyciem podkładu w postaci ortofotomapy uzyskanej z przetworzenia zdjęć z kamery Leica ADS 40.

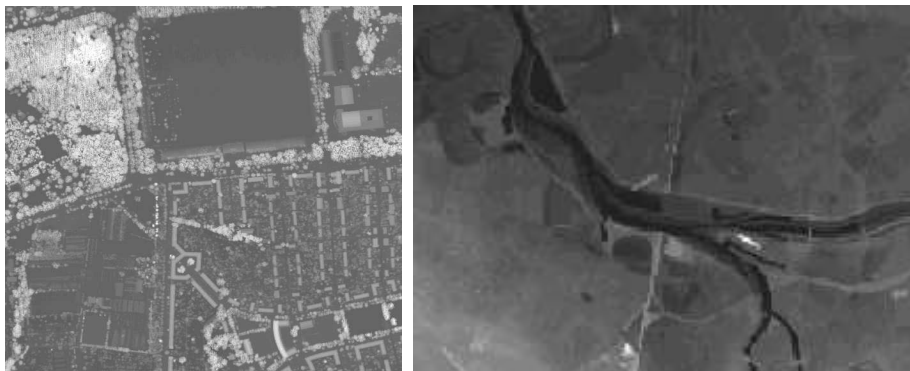
4.1.3. Identyfikacja budynków i zieleni

Następnym etapem po pozyskaniu NMT była selekcja punktów stanowiących zieleni i budynki. Wraz z klasyfikacją budynków odfiltrowano niską roślinność odrzucając wszystkie punkty wystające poniżej 2 m ponad teren. Budynki (dachy budynków) określając ich minimalną powierzchnię, kąt nachylenia dachu i minimalną odległość między punktami klasyfikowanymi do tego samego obiektu.

W wyniku powyższego opracowania otrzymano dwa produkty DTM obrazujący powierzchnie terenu oraz DSM obrazujący powierzchnie terenu wraz z jego pokryciem.



Rys. 3. Dane ze skanera Leica ALS50 – widok z góry (po lewej),
przekrój terenu po (prawej)



Rys. 4. Przykładowy NMPT (po lewej) i NMT (po prawej)

4.2. Dane z ADS40

4.2.1. Etapy opracowania

- Import danych (*postprocessing*)
- Korekcja geometryczna
- Automatyczny pomiar punktów wiążących
- Aerotriangulacja
- Ortorektyfikacja, mozaikowanie

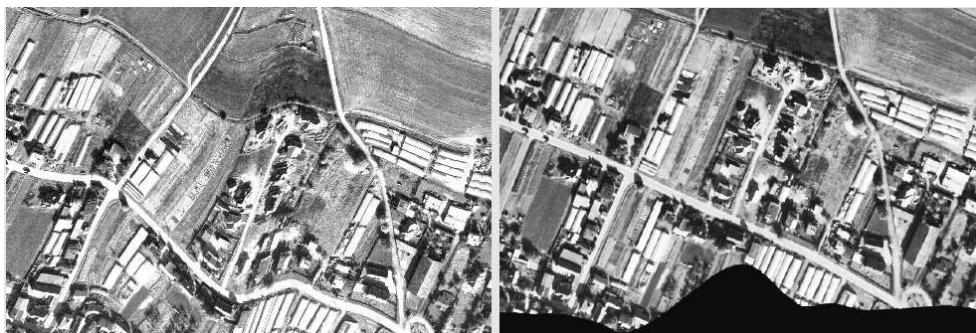
4.2.2. Import danych

Pierwszym etapem opracowania danych z kamery ADS40 jest ich transfer z pokładowych nośników pamięci na dyski komputerów, na których będzie wykonane dalsze opracowanie. Na tym etapie również należy dokonać pierwszej archiwizacji danych. Transfer surowych danych, ich konwersja do otwartego formatu (TIFF), weryfikacja poprawności rejestracji danych i wykonanie kopii zestawu danych surowych jest warunkiem pozwalającym na usunięcie surowych danych z pamięci pokładowej.

Do opracowania danych z kamery ADS40 wykorzystano narzędzie sprzedawane wraz z kamerą – program Leica Gpro (Ground PROcessing) w wersjach 3.1 i 3.2. W dwóch przypadkach Gpro posługuje się narzędziami zewnętrznymi: w przypadku tzw. *postprocessingu* GPS+IMU oraz w przypadku aerotriangulacji. W momencie osiągnięcia tych dwóch etapów opracowania Gpro wywołuje (uruchamia) odpowiednio: Applanix PosPac lub narzędzie do wyrównania (np. Leica ORIMA). Z powodu braku narzędzi Applanix oraz braku bezpośredniego dostępu do urządzeń pokładowych pierwszy etap, w którym dokonano: założenia projektu, transferu surowych danych z urządzenia pamięci masowej (*Mass Memory Unit* – MMU40) do projektu i opracowania obserwacji GPS+IMU wykonany został w firmie TerraDigital. Następnie zarówno dane w formacie Gpro jak i kopia projektu utworzonego dla Wrocławia zostały przekazane GEOSYSTEMS Polska.

4.2.3. Korekcja geometryczna

Pierwszym etapem było doprowadzenie surowych obrazów (poziom L0) do geometrycznie poprawnej postaci, pozbawionej zniekształceń spowodowanych niestabilnością lotu (poziom L1). Proces ten odbywa się na podstawie informacji zawartych w danych GPS + IMU. Efekt takiej korekcji, czyli różnicę między poziomem L0 i L1 ilustruje rysunek 5.



Rys. 5. Efekt korekcji geometrycznej – różnica między poziomami L0 (po lewej) i L1

Jak widać po korekcji krawędzie obrazów przestają być prostoliniowe, ale obiekty widoczne na obrazach odzyskują poprawne kształty. W celu zaoszczędzenia przestrzeni dyskowej i czasu opracowania korekcję geometryczną wykonano wyłącznie dla tych kanałów, które miały brać udział w procesie aerotriangulacji. Zgodnie z zaleceniami firmy Leica wybrano minimalną liczbę zobrażeń z jak największej ilości kierunków obrazowania. Do opracowania wybrano zestaw: PANB, GRNN i PANF.

4.2.4. Automatyczny pomiar punktów wiążących

Następnym etapem jest automatyczny pomiar punktów wiążących. Proces przeprowadzono dla wspomnianego zestawu obrazów po korekcji geometrycznej. Procesowi poddano cały blok obrazów ADS40. Wygenerowano nieco ponad 26 tys. punktów wiążących.

4.2.5. Aerotriangulacja

Jak już wspomniano, oprogramowanie Leica Gpro jest zestawem narzędzi do całości prac na obrazach ADS40, wyjąwszy *postprocessing* GPS + IMU oraz aerotriangulację. W przypadku aerotriangulacji Gpro wywołuje narzędzie LPS ORIMA-M, które automatycznie odczytuje zawartość bieżącego projektu GPRO.

Proces aerotriangulacji przebiegał sekwencyjnie. Początkowo poddano opracowaniu blok zawierający wyłącznie punkty wiążące. Miało to na celu eliminację błędnie pomierzonych punktów wiążących. Następnie wczytano plik ze współrzędnymi fotopunktów i dokonano ich manualnego pomiaru. Dla potrzeb realizacji projektu wybrano i pomierzono 30 fotopunktów naturalnych. Na etapie pomiaru manualnego fotopunktów stwierdzono niejednoznaczność kilku z nich spowodowaną kilkumiesięczną przerwą pomiędzy dniem nalotu i pomiaru terenowego.

W procesie aerotriangulacji ostatecznie wykorzystano zatem 22 fotopunkty, dla których nie zachodziła wątpliwość co do ich lokalizacji. Proces wyrównania powtórzono po raz kolejny, tym razem z uwzględnieniem fotopunktów. W tabeli 3 zestawiono parametry bloku poddanego wyrównaniu.

Tabela 3. Podstawowe informacje o bloku i wyrównaniu

Liczba fotopunktów	21
Dokładność fotopunktów	mx, my, mz = 5 cm
Liczba punktów wiążących	25876
Liczba quasiobrazów	1207
Liczba obserwacji	ok. 300 000
Liczba obserwacji nadliczbowych	3690
Liczba iteracji	25
σ_0	4.4 μm

4.2.6. Ortorektyfikacja

Dalszy ciąg pracy to proces ortorektyfikacji obrazów ADS40 w oparciu o elementy orientacji zewnętrznej i opisany wcześniej numeryczny model powierzchni terenu wygenerowany na podstawie skaningu laserowego.

Zdecydowano o wygenerowaniu dwóch barwnych produktów: standardowej ortofotomapy RGB oraz kompozycji z wykorzystaniem zakresu podczerwieni (*near infrared, red, green*). Proces ortorektyfikacji przeprowadzono również z wykorzystaniem programu Leica GPro.

Poniżej fragmenty wygenerowanych ortoobrazów Wrocławia o rozdzielczości 20 cm, przedstawiających ten sam obszar.



Rys. 6. Przykładowe fragmenty ortoobrazów RGB i FCIR (*near infrared, red, green*)

5. PODSUMOWANIE

W artykule została zaprezentowana technologia pozyskania NMT i NMPT z danych laserowych typu LIDAR. Uzyskany numeryczny model terenu został użyty w ortorektyfikacji danych z kamery cyfrowej ADS 40. Aktualność i dokładność modelu terenu miała istotne znaczenie dla dokładności generowanych ortoobrazów. Potwierdziło się to zwłaszcza wzdłuż nowych odcinków autostrady A4, gdzie nastąpiły istotne zmiany w ukształtowaniu terenu. Wykorzystanie numerycznego modelu terenu pochodzącego z pomiarów LIDAR wpłynęło również na skrócenie procesu produkcji ortofotomapy.

6. LITERATURA

Borner A., Kirchhofer W., Michalevich B., Reulke R., Scheele M., Scheibe K., Tempelmann U., 2000. Test results obtained with the LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor, IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam,
http://www.dlr.de/os/institut/mitarbeiter/aboerner/publikationen/index/paper_ads40_boerner.pdf

Fricker P., 2001. ADS40 – Progress in digital aerial data collection. *Photogrammetric Week 2001*, Wichman Verlag, Heidelberg 2001, s. 105-116,
<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo01/Fricker.pdf>

Hinsken L., Miller S., Tempelmann U., Uebbing R., Walker S., 2001. Triangulation of LH SYSTEMS' ADS40 imagery using ORIMA GPS/IMU.
<http://www.isprs.org/commission3/proceedings02/papers/paper029.pdf>

Jacobsen K., Lohmann P., 2003. Segmented Filtering of Laser Scanner DSMS. Proceedings of the laser ISPRS working group III/3, Dresden Germany 8-10 October 2003,
http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop_laserscanning/papers/Jacobsen_ALSDD2003.pdf

Nardinocchi C., Forlani G., Zinagaretti P., 2003. Classification and Filtering of laser Data. Proceedings of the Laser ISPRS WG III/3, Dresden Germany 8-10 October 2003,
http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop_laserscanning/papers/Nardinocchi_ALSDD2003.PDF

Sithole G., Vosselman G., 2003. Comparison of Filtering Algorithms. Proceedings of the laser ISPRS working group III/3, Dresden Germany 8-10 October 2003,

http://www.isprs.org/commission3/wg3/workshop_laserscanning/papers/Sithole_ALSDD2003.pdf

Yotsumata T., Okagawa M., Fukuzawa Y., Tachibana K., Sasagawa T., 2002, Investigation for mapping accuracy of the Airborne Digital Sensor ADS40, <http://www.isprs.org/commission1/proceedings02/paper/00055.pdf>

AIRBORNE DIGITAL SENSOR LEICA ADS40 AND LASER SCANNER ALS50, WORKSHOP EXPERIENCES

KEY WORDS: airborne digital sensor, aerotriangulation, mosaicing, LIDAR, DTM, DSM

Summary

In the last two decades, photogrammetry has undergone a digital revolution. Photogrammetric scanners and digital workstations have greatly advanced image processing. The development of airborne digital cameras in recent years has brought image quality to levels comparable, or sometimes better than, that obtained with analog cameras. The leading manufacturers' digital imaging systems have sided with two opposing approaches to airborne image capturing: linear sensor, similar to satellite pushbroom sensor, e.g. the one used by the QuickBird satellite, and frame sensor, which eases the software-related transition from analog to digital image capturing.

Leica Geosystems has used the linear sensor approach to develop one of the most interesting cameras available on the market today – the Leica ADS40 (Airborne Digital Scanner). The camera acquires images simultaneously in 3 directions (backward, nadir, forward) and in 8 spectral bands (2 panchromatic, 2 red, 2 green, blue and near infrared). This allows for later generation of various types of orthophotomaps: panchromatic, RGB or FCIR (with near infrared band). Panchromatic bands are acquired with backward and forward looking angles. Panchromatic images may be used for DEM/DTM production or verification. All spectral bands have the same resolution – 12 000 pixels per line which eliminates the use of pan sharpening methods commonly applied in digital frame cameras. Leica ADS40 and Leica ALS50 (Airborne Laser Scanner) can be used simultaneously to obtain a unique dataset: complex imagery set and fast and accurate elevation information. Leica ADS40 is already one of the best selling airborne digital sensors. Leica Geosystems have sold over 50 ADS40 cameras worldwide. In modern photogrammetry, laser scanning (LIDAR) is becoming more common. For such applications, Leica Geosystems offers the Leica ALS50 Airborne Laser Scanner. ALS50 allows users to register up to 4 reflections of a laser bundle. Multiple reflection processing gives a unique opportunity to work out various types of elevation models. After filtering the ALS50 data, it is possible to produce accurate DTMs and DEMs.

This paper presents the workshop experience Geosystems Polska sp. z o.o. has gathered while processing data produced by Leica ADS40 and Leica ALS50 cameras. The data was captured by TerraDigital GmbH during a photogrammetric flight over Wroclaw for Geosystems Polska sp. z o.o. Both Leica ADS40 and Leica ALS50 were used during the flight. All processing steps using the Leica Photogrammetry Suite (LPS) software environment are shortly presented. There are also a few examples of the final products, i.e. orthophotos, various Digital Elevation Models. The project involving simultaneous use of both Leica ADS40 and Leica ALS50 cameras was the first such undertaking in Poland.

Mgr inż. Sławomir Boczar
e-mail: slawek@geosystems.com.pl
tel. +22 826 78 37

Mgr inż. Rafał Dąbrowski
e-mail: rafal.dabrowski@geosystems.com.pl
tel. +22 826 78 37

Dr Witold Fedorowicz
e-mail: witold.fedorowicz@geosystems.com.pl
tel. +22 826 78 37

Mgr inż. Jacek Zych
e-mail: jacek.zych@geosystems.com.pl
tel. +22 826 78 37