

Artykuł recenzowany: Naukowy Program Oceny Cartosat-1 (C-SAP)



SATELITA DLA KARTOGRAFÓW

Cartosat-1, funkcjonujący również pod nazwą IRS-P5, jest 11. satelitą z indyjskiej serii IRS (Indian Remote Sensing). Program IRS został uruchomiony przez ISRO pod koniec lat 80. ubiegłego stulecia, a pierwszym satelitą z tej serii był IRS-1A wyniesiony na orbitę w marcu 1988 roku.

RAFAŁ DĄBROWSKI

Satelity IRS Indyjskiej Agencji Kosmicznej (Indian Space Research Organisation – ISRO) tworzą największą cywilną konstelację urządzeń obrazujących powierzchnię Ziemi. Obecnie funkcjonuje 8 satelitów programu Indian Remote Sensing: IRS-1C, IRS-P3, IRS-1D, Oceansat, TES, Resourcesat, Cartosat-1, Cartosat-2.

Ważący 1560 kg Cartosat-1 został wyniesiony na orbitę w październiku

2005 roku. Satelita porusza się po orbicie heliosynchronicznej, w odległości 618 km od Ziemi. Wyposażony jest w dwa panchromatyczne sensory wysokiej rozdzielczości odchylone względem nadiru o 5° wstecz i 26° w przód (rejestracja w zakresie 0,50-0,85 mikrometra, zapis 10-bitowy). Sensory obrazują powierzchnię Ziemi w pasach o szerokości ok. 30 km, z rozdzielczością terenową 2,5 m (faktyczna rozdzielczość terenowa zależy od odległości do obiektów i dla sensora skierowanego wstecz wynosi ok. 2,5 m, a w przód – ok. 3 m).

Jak można wywnioskować z powyższego opisu, celem misji tego satelity jest zapewnienie możliwości pozyskania informacji wysokościowej generowanej na podstawie zobrażeń stereoskopowych. Różnica w czasie pomiędzy pozyskaniem obrazów tego samego obszaru wynosi 52 sekundy. Dane są gromadzone na nośniku pamięci pokładowej o pojemności 120 GB, a następnie w miarę możliwości („widoczności” radiowej ze stacją odbioru) przesyłane do stacji naziemnych. Okres obiegu Ziemi przez Cartosata-1 to 97 minut. W ciągu doby satelita okrąża glob 14 razy. Czas rewizyty – 5 dni.

Dzięki zastosowaniu dwóch wychylonych sensorów (w odróżnieniu np. od Ikonosa) Cartosat-1 jako pierwszy satelita na świecie oferuje możliwość rejestracji długich pasów zobrażeń stereoskopowych. Na kongresie ISPRS w Pekinie zaprezentowano wyniki i dokładności opracowań pasów stereoskopowych o długości przekraczającej 1000 km.

● C-SAP

Program C-SAP (Cartosat-1 Scientific Assessment Programme) został zorganizowany przez ISRO we współpracy z ISPRS. W styczniu 2006 r. ISRO i ISPRS poinformowały instytucje naukowe i komercyjne związane z fotogrametrią i teledetekcją o jego rozpoczęciu. Decyzją GEOSYSTEMS Polska i Wojskowej Akademii Technicznej powołano i zgłoszono do udziału w programie wspólny zespół ba-

STRESZCZENIE: Naukowy Program Oceny Cartosat-1. W dniach 3-11 lipca br. w Pekinie odbył się XXI Kongres ISPRS (Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji). Podczas tygodniowych obrad wygłoszono i zaprezentowano kilkaset referatów i posterów. Podczas jednej z pierwszych sesji, poświęconej tematyce Cartosat-1 Scientific Assessment Programme (C-SAP), przedstawiono wyniki otrzymane przez zespół badawczy utworzony przez GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o. i Wojskową Akademię Techniczną. Sesja miała na celu podsumowanie badań oceny dokładności wysokościowej modeli terenu generowanych na podstawie zobrażeń z satelity Cartosat-1. W artykule przedstawiono podstawowe parametry satelity Cartosat-1, założenia programu C-SAP oraz opis i wyniki części badawczej przeprowadzonej przez polski zespół. Zaprezentowano również wnioski koordynatorów zakończonego programu C-SAP – zespołu Indyjskiej Agencji Kosmicznej (ISRO).

ABSTRACT: Cartosat-1 Scientific Assessment Programme. Beijing, China hosted the XXI ISPRS Congress, held July 3rd-11th. Several hundred papers and displays were presented during the event. One of the sessions summarized the results of the Cartosat-1 Scientific Assessment Programme (C-SAP) based on imagery generated by Cartosat-1 satellite. The tests had involved several international assessment teams. The presentation covered the test results obtained by the team led by Geosystems Polska Sp. z o.o. and Military University of Technology from Warsaw. The article details the basic parameters of Cartosat-1, the goals of C-SAP and the results of the DEM quality assessment together with the major assumptions made for the project. It also includes commentary by the programme coordinators representing Indian Space Research Organisation (ISRO).

TAB. 1. POLA TESTOWE PROGRAMU C-SAP

Nazwa pola (liczba niezależnych opracowań)	Typ terenu	Data pozyskania stereopary	Dane referencyjne	Zaangażowane zespoły Principal Investigator/ pozostałe Co-I
1. TS-1 , Drum Mountains, USA (2)	Górski z deniwelacjami do 700 m	10.2005 i 11.2005	DTM i ortoobraz ASTER (15 m), DTM SRTM (30 m)	US Geological Survey (dr G. Bryan Bailey)/ Natural Resources Canada
2. TS-3 , Aix-en-Provence, Francja (1)	Brak danych	12.2005	2 „lotnicze” DEM (50 m i 30 m o dokładności 5 m i 2,6 m) fotopunkty z mapy	University College London (prof Ian Dowman i dr P. Michalis)
3. TS-4 , Salon, Francja (2)	Płaski/pagórkowaty	02.2006	25 fotopunktów (3 m) DTM 25 m (2 m)	Institute Geographique National (dr R. Gachet)/ University of Milano
4. TS-5 , Mausanne les Alpilles, Francja (7)	Niskie góry (650 m) o urozmaiconym pokryciu: las, rola, woda, zabudowa	01.2006 02.2006	56 fotopunktów (5 cm) lotniczy DEM 2 m (0,6 m) dodatkowo 25 fotopunktów pomierzonych różnicowo GPS	JRC EC (dr S. Kay)/ Leibnitz Universitaet Hannover/DLR/ETH Zurich/RRSSC Nagpur ISRO/ RACURS Moskwa/ University of Milano
5. TS-6 , Rzym, Włochy (3)	Płaski, deniwelacje 40 m	06.2005	48 fotopunktów (10 cm) 3 różne DEM 20 m (<50 cm)	University of Rome (dr M. Crespi) Eurimage CyberCity/ National Remote Sensing Agency (Indie)/ETH Zurich
6. TS-6a , Castel Gandolfo, Włochy (1)	Niewysokie wzgórza, jeziora wulkaniczne	(brak danych)	70 fotopunktów (10 cm) DEM skaning laserowy (bd.)	University of Rome (dr M. Crespi) Eurimage CyberCity
7. TS-9 , Warszawa, Polska (4)	Płaski/pagórkowaty z deniwelacjami 120 m	02.2006	36 fotopunktów Fast Static (10, 20 cm) DEM 20 m (2 m)	GEOSYSTEMS-WAT, Warszawa / Leibnitz Universitaet Hannover/ RACURS/ UCL
8. TS-10 , Katalonia, Hiszpania (2)	Płaski/pagórkowaty	02.2006	NMT 15 m (1,1 m) orto 0,5 m (0,5 m)	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (M. Lehner)/ ETH Zurich
9. TS-12 , Sakurajima, Japonia (1)	Górzysty, wyspa	03.2006	Skaning laserowy, NMT o dokładności 30 cm	ETH Zurich (prof. A. Gruen)
10. TS-13 , Hobart, Australia (1)	Górzysty, wyspa deniwelacje 1300 m	10.2006	69 dobrze zdefiniowanych fotopunktów (0,2 m) NMT 10 m (4 m)	University of Melbourne (prof. C. Fraser)
11. TS-14 , Bawaria, Niemcy (1)	Pagórkowaty, zalesiony	04.2007	8 fotopunktów NMT ze skaningu laserowego	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (M. Lehner)

dawczy w składzie: dr Witold Fedorowicz-Jackowski, mgr inż. Jacek Zych i mgr inż. Rafał Dąbrowski z GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o. oraz dr inż. Michał Kędziński i dr inż. Piotr Walczykowski z WAT.

W programie uczestniczyć można było na dwa sposoby jako tzw.:

● *Principal Investigator (PI)*, czyli zespół prowadzący – warunkiem było

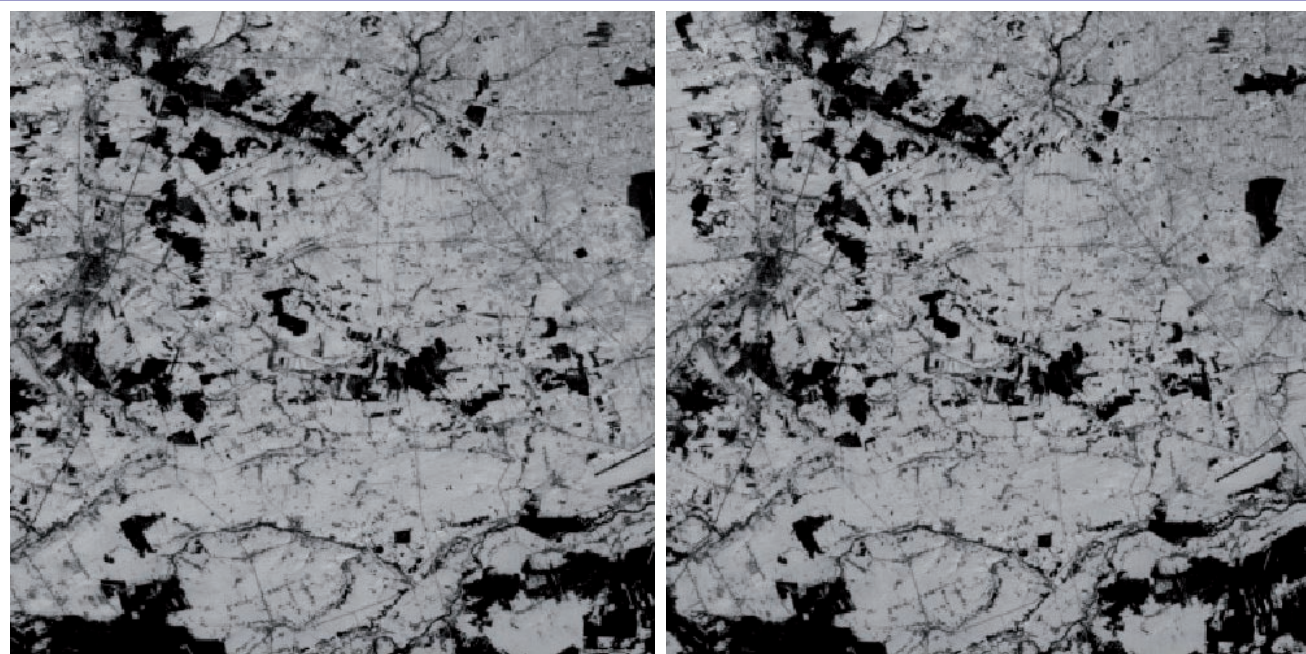
wskazanie lokalizacji pola testowego i zapewnienie dla tego obszaru danych referencyjnych oraz udostępnienie ich pozostałym uczestnikom programu.

● *Co-Investigator (Co-I)*, czyli zespół opracowujący dane udostępnione przez zespoły PI.

Po wyborze zespołów prowadzących (zespół GEOSYSTEMS-WAT został wy-

brany jako jeden z 15, ostatecznie tylko 11 zespołów przygotowało pola testowe) dla każdego z pól testowych rozpoczęto etap pozyskiwania danych. Zestawienie zespołów prowadzących oraz pól testowych zawiera tabela 1.

Stereopara dla polskiego pola testowego TS-9 (rys. 1), pozyskana 25 lutego 2006 r., obejmuje obszar zlokalizowany

RYS. 1. OBRAZY STEREOPIARY DLA POLA TESTOWEGO TS-9


niewo ponad 100 km na południowy zachód od Warszawy, w okolicach Rawy Mazowieckiej. Sceny są dobrej jakości, jednak z powodu pory roku na większości zobrazowanego terenu zalega pokrywa śnieżna. Parę stereoskopową stanowią dwie sceny o wymiarach około 30 na 30 km.

• DANE REFERENCYJNE

Zespół PI dla TS-9 zapewnił dwa referencyjne modele terenu pochodzące z niezależnych źródeł: NMT o rozdzielczości 25 metrów wygenerowany na podstawie map topograficznych oraz DTED poziomu 2. W celu wyznaczenia orientacji scen zaprojektowano 36 fotopunktów naturalnych, w miarę równomiernie rozmieszczonych na obszarze stereopary. Jak już wspomniano, sceny zostały pozyskane w warunkach zimowych, co znacznie ograniczyło możliwości wyboru fotopunktów. Starano się wybierać punkty na wyraźnych przecięciach ścieżek, dróg itp. Z konieczności w kilku przypadkach zdecydowano się na narożniki ogrodzeń, które kontrastowały z białą pokrywą śnieżną i były łatwe do identyfikacji w odróżnieniu od przecięć dróg i ścieżek.

Po zaprojektowaniu fotopunktów przeprowadzono pomiary terenowe mające na celu wyznaczenie współrzędnych. W terenie zespół natknął się na problemy w identyfikacji punktów, w wyniku których ostatecznie pomierzono tylko 33 fotopunkty. Pomiar wykonano odbiornikiem GPS metodą FastStatic. Otrzymano dokładność wyznaczenia pozycji rzędu 0,10 m w poziomie oraz 0,15 m dla wysokości. Dodatkowo dla każdego fotopunktu sporządzono szczegółową dokumentację fotograficzną (m.in. 2 zdjęcia z umiejscowieniem anteny odbiornika GPS) oraz opis topograficzny. Wyznaczone współrzędne oraz sporządzoną dokumentację udostępniono pozostałym uczestnikom za pośrednictwem koordynatora programu C-SAP. W trakcie kampanii dokonano dodatkowo pomiaru 3 profili terenu metodą GPS RTK. Ponadto przy użyciu tachimetru Topcon GTS-212 pomierzono 6 odcinków kontrolnych o długości do 800 metrów, które miały posłużyć do oceny poprawności ortofotomapy.

• OPROGRAMOWANIE

Całość opracowania dla TS-9 wykonano w oprogramowaniu Leica Photogrammetry Suite (LPS), którego wyłącznym

dystrybutorem na terenie Polski jest GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o. W roku 2006 wykorzystano LPS w wersji 9.0, a wyniki zaprezentowano podczas sympozjum ISPRS w mieście Panaji w indyjskim stanie Goa, gdzie miała miejsce pierwsza wspólna sesja uczestników programu C-SAP.

W ramach przygotowań do kongresu ISPRS w Pekinie w kwietniu 2008 r. powtórzono niektóre obliczenia w najnowszej wersji LPS – 9.2 z zainstalowanym dodatkowo modułem Service Pack 1. Zgodnie z informacjami udostępnionymi przez ERDAS Inc., LPS w wersji 9.2 SP1 różni się od poprzednich między innymi poprawionymi modelami sensorów satelitarnych oraz poprawionym algorytmem autokorelacji wykorzystywanym przy automatycznym generowaniu numerycznych modeli wysokości. Obydwie wersje LPS w przypadku obrazów z Cartosata-1 wykorzystują metodę wielomianową RPC (*Rational Polynomial Coefficients*).

Podczas prezentacji w Pekinie przedstawiono wyniki uzyskane w najnowszej wersji LPS wraz z krótkim ich porównaniem z wynikami uzyskiwanymi w wersjach poprzednich. Pliki wynikowe zostały również przekazane koordynatorowi programu C-SAP w celu prowadzenia przez ISRO dalszych analiz.

• ORIENTACJA SCEN

Spośród pierwotnie zaprojektowanych 36 punktów osnowy wykorzystano 31 (3 punkty nie zostały zlokalizowane w terenie, 2 błędnie zidentyfikowano). Orientację wykonano w czterech wariantach bloków scen, różniących się liczbą wykorzystanych fotopunktów. Zastosowano warianty z: 4, 9, 16, i 25 fotopunktami, możliwie jak najbardziej równomiernie rozmieszczonymi na stereoparze. Po przeanalizowaniu 4 wariantów wyselekcjonowano punkty, które nie zostały wykorzystane do orientacji w żadnym z wariantów i wykorzystano je jako niezależne punkty kontrolne (*Check Points*). Jako miarę dokładności orientacji przyjęto błędy średnie kwadratowe otrzymane w raportach z triangulacji dla wspomnianych sześciu punktów kontrolnych. Zestawienie wyników zawiera tabela 2.

Jak widać, każdy z wariantów zapewnia podpixelową dokładność orientacji. Podobne wyniki uzyskane zostały przez zespoły opracowujące ten sam zestaw danych dla TS-9 w innych narzędziach (Jacobsen 2007, Titarow 2007).

TAB. 2. ZESTAWIENIE DOKŁADNOŚCI W ZALEŻNOŚCI OD LICZBY FOTOPUNKTÓW

Liczba pkt	RMSE X [m]	RMSE Y [m]	RMSE Z [m]
4	1,49	1,32	1,48
9	1,46	1,22	1,16
16	1,38	1,18	1,11
25	1,21	1,22	1,08

Warto podkreślić, że zastosowana w LPS metoda wielomianowa daje wyniki porównywalne z metodą ścisłą zastosowaną przez inne zespoły (m.in. pod nadzorem dr. K. Jacobsena z Uniwersytetu w Hanowerze).

Dla orientacji obrazów z satelity Cartosat-1 praktycznie uzasadnione wydaje się stosowanie do 9 fotopunktów i właśnie wariant z taką ich liczbą został poddany dalszemu opracowaniu i analizom.

• REKONSTRUKCJA MODELU STEREOSKOPOWEGO

Po dokonaniu orientacji stereopary przeprowadzono kontrolę poprawności rekonstrukcji modelu stereoskopowego. Niezależna kontrola polegała na manualnym pomiarze wysokości w okolicach wspomnianych niezależnych punktów kontrolnych wspólnych dla wszystkich konfiguracji bloku. Otrzymano wysokości nieznacznie różniące się od wysokości uzyskanych z pomiaru terenowego. Szczegółowe zestawienie zawiera tabela 3. Dla większości punktów kontrolnych stwierdzono wysoką dokładność otrzymanych wartości wysokości. Świadczyło to o poprawnym zbudowaniu modelu stereoskopowego i pozwalało mieć nadzieję na wygenerowanie wiarygodnego numerycznego modelu powierzchni terenu (NMPT).

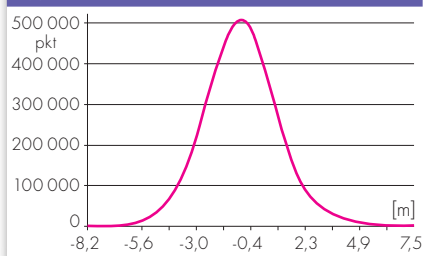
• AUTOMATYCZNE DOPASOWANIE OBRAZÓW

Następnym etapem eksperymentu było wygenerowanie NMPT metodą automatycznego dopasowania obra-

TAB. 3. PORÓWNANIE WYSOKOŚCI W TERENIE I NA MODELU STEREOSKOPOWYM

Nr pkt	H GPS	H Model	dH [m]
4	163,55	163,07	0,48
8	162,63	163,56	-0,93
10	165,79	165,10	0,69
14	138,05	138,30	-0,25
16	169,65	171,23	-1,58
26	163,82	165,20	-1,38

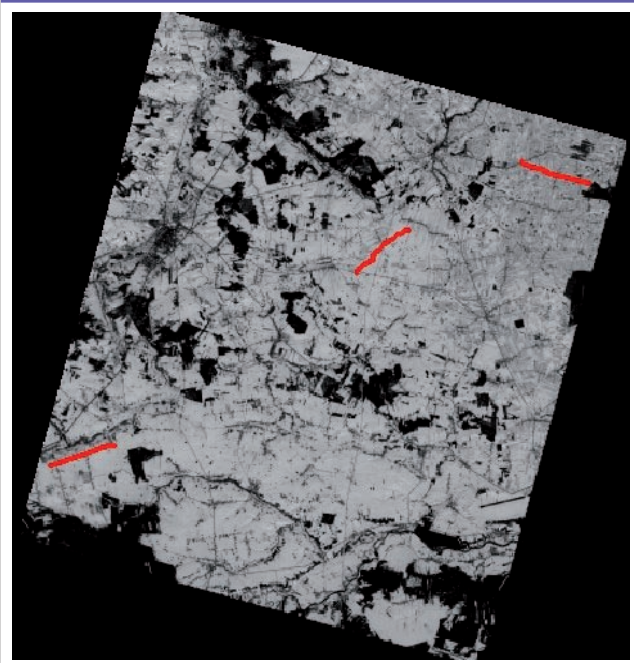
RYS. 2. ROZKŁAD RÓŻNIC WYSOKOŚCI



zów i ocena otrzymanego modelu pod względem dokładności wyników. Jak już wspomniano, opracowanie przeprowadzono dla bloku w wariancie z 9 fotopunktami. Numeryczny model powierzchni terenu został wygenerowany w obu wersjach LPS (9.0 i 9.2 SP1) przy zachowaniu identycznych parametrów ustawienia programu (*Search Area: 21x3, Correlation Window 7x7, Correlation Threshold 0.85*).

Dodatkowo analizie poddano rozkład liczby punktów w zależności od wartości współczynnika korelacji. Dla większości obszaru stereopary stwierdzono wysoką wartość tego współczynnika – w wersji 9.2 SP1 przekraczała ona 0,85. Podobne rezultaty (wysoki współczynnik korelacji) osiągnęły zagraniczne zespoły opracowujące ten sam zestaw danych. Pozytywna zmiana w rozkładzie współczynnika korelacji pomiędzy wersją LPS 9.0 a 9.2 SP1 potwierdza informacje producenta oprogramowania o poprawieniu modelu sensora (w tym przypadku satelity Cartosat-1) oraz algorytmu automatycznego generowania modeli wysokościowych (szczególnie algorytmu filtracji).

RYS. 3. ROZMIESZCZENIE PROFILI NA SCENIE

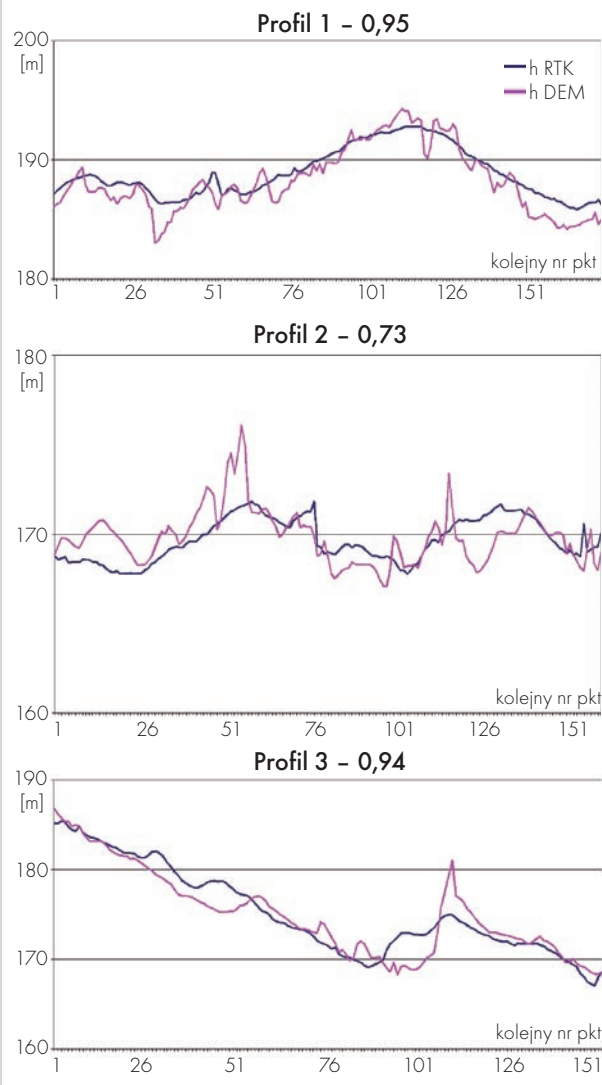


● OCENA OTRZYMANEGO MODELU WYSOKOŚCI

Kolejnym etapem oceny dokładności opracowań powstałych na podstawie zobrażeń z satelity Cartosat-1 było porównanie otrzymanego NMPT z modelem referencyjnym. Wykorzystano w tym celu model NMT powstały na podstawie map topograficznych 1:25 000. Wartości NMPT są bardzo zbliżone do wartości występujących na modelu referencyjnym. Dla większości powierzchni stereopary różnice wysokości odpowiadających sobie punktów nie przekraczają 3-4 metrów. Należy przy tym pamiętać, że model poddany ocenie to wyłącznie automatycznie wygenerowany NMPT, na którym nie przeprowadzono prac edycyjnych. Ponadto zaniechano fakt, że NMPT uwzględnia pokrycie terenu, a NMT – nie. Wykres ilustrujący rozkład różnic wysokości modelu ocenianego i referencyjnego przedstawia rys. 2.

W celu bardziej precyzyjnego określenia dokładności NMPT wyznaczono również różnice wysokości wzdłuż pomierzonych profili terenowych. Profile rozmieszczone są na stereoparze tak, jak to przedstawiono na rysunku 3. Każdy z profili ma długość ok. 3,5 km, a odległość pomiędzy pomierzonymi punktami wynosi mniej więcej 20 m. Przeanalizowano wartości otrzymane z pomiaru automatycznego i z pomiaru w terenie metodą GPS RTK i – podobnie jak w przypadku porównania modelu automatycznego z referencyjnym – stwierdzono niewielkie różnice wysokości. Analogicznie widoczna jest też zmiana w wynikach otrzymanych w dwóch wersjach LPS. Maksymal-

RYS. 4. WYKRESY PROFILI



ne różnice w modelu wygenerowanym w LPS 9.2 SP1 nie przekraczają 10 metrów, podczas gdy w poprzedniej wersji zdarzały się różnice rzędu kilkudziesięciu metrów. W tabeli 4 zestawione są współczynniki korelacji wyliczone dla wysokości pomierzonych w terenie i odczytanych z dwóch modeli otrzymanych z obliczeń (automatycznych) w dwóch wersjach oprogramowania. Na rys. 4 przedstawiono porównanie 3 profili pomierzonych w terenie odkrytym i ich modeli wygenerowanych automatycznie w LPS 9.2 SP1.

TAB. 4. KORELACJA PROFILI TERENOWYCH

Profil	LPS 9.0	LPS 9.2 SP1
1	0,68	0,95
2	0,32	0,73
3	0,95	0,94

Porównując modele wygenerowane automatycznie w dwóch wersjach LPS, nie sposób nie zauważyć również miejsc obciążonych błędami grubymi. Model wygenerowany w nowszej wersji oprogramowania jest wyraźnie „gładszy”, a liczba miejsc o nierzeczywistych na pierwszy rzut oka wysokościach jest znikoma w porównaniu z modelem otrzymanym w starszej wersji oprogramowania. Potwierdza to po raz kolejny wyższą dokładność modeli generowanych w LPS 9.2 SP1.

• ORTOREKTYFIKACJA I OCENA DOKŁADNOŚCI ORTOOBRAZU

Ortorektyfikację wykonano, wykorzystując opisany powyżej model terenu wygenerowany automatycznie w LPS 9.2 SP1 i niepoddany edycji. Założono maksymalną dla Cartosata-1 rozdzielczość terenową na poziomie 2,5 m. Ortorektyfikacji poddano obydwa obrazy (wstecz i w przód). Z powodu różnych kątów wychylenia sensorów zauważono różnicę jakości (głównie rozdzielczości) obrazów. Ocenę kartometryczności ortobrazu przeprowadzono więc dla obrazu otrzymanego przez mniej wychylny sensor.

Ocena dokładności ortobrazu została przeprowadzona poprzez porównanie długości odcinków pomiędzy niezależnymi punktami kontrolnymi na ortobrazie z długościami teoretycznymi, wyliczonymi ze współrzędnych. Różnice nie przekroczyły 3 metrów.

Dokonano również wizualnego porównania ortobrazów Cartosat-1 w oprogramowaniu ERDAS i stwierdzono, że pomiędzy ortobrazami nie występują różnice geometryczne. Podobnie porównano ortobraz z sensora „wstecz” z ortobrazem IRS-P6 otrzymanym w wyniku innego, zupełnie niezależnego opracowania (inny zestaw fotopunktów, inny model terenu w ortorektyfikacji). W efekcie nie stwierdzono rozbieżności geometrycznych pomiędzy otrzymanymi ortobrazami.

• WNIOSKI: CARTOSAT-1 ZDAŁ EGZAMIN

Celem misji Cartosat-1 było stworzenie możliwości pozyskiwania zobrażeń stereoskopowych pozwalających na opracowania topograficzne w skalach 1:25 000 i mniejszych. Na podstawie wyników przeprowadzonych eksperymentów można stwierdzić, że cel ten został osiągnięty. Modele wysokościowe wygenerowane automatycznie okazały się

wystarczające do ortorektyfikacji wysokorozdzielczych obrazów satelitarnych Cartosat-1. Przeprowadzenie procesu edycji takiego modelu zapewne zwiększyłyby jego dokładność i umożliwiłyby poprawną ortorektyfikację zobrażeń o wyższej rozdzielczości (Ikonos, QuickBird czy Cartosat-2 itp.).

We wnioskach wielu zespołów biorących udział w programie C-SAP oraz we wnioskach koordynatora programu stwierdzono konieczność stosowania fotopunktów o błędzie położenia poniżej 1 m. Polski zespół zbadał, że dla orientacji stereopary o długości 30 km metodą RPC optymalna liczba to 4-9 równomiernie rozmieszczonych fotopunktów. Zwiększenie tej liczby nie powoduje wyraźnego wzrostu dokładności, natomiast zdecydowanie podnosi koszty opracowania. Zastosowanie mniej niż 5 fotopunktów wymaga zachowania szczególnej ostrożności i skrupulatności podczas projektowania ich rozmieszczenia oraz przy ich identyfikacji i pomiarze zarówno w terenie, jak i na obrazie.

Warto przy okazji wspomnieć, że polskie pole testowe TS-9 zostało wyróżnione jako jedno z trzech o najlepiej przygotowanych danych referencyjnych. TS-9 było przedmiotem badań prowadzonych przez zespoły z Rosji (P. Titarow – firma RACURS, Moskwa), Wielkiej Brytanii (prof. I. Dowman, dr P. Michalis – UC Londyn) i Niemiec (dr K. Jacobsen – LU Hanover). Zespoły opracowujące polskie pole testowe zwracają uwagę na wysoką dokładność pomiaru fotopunktów oraz ich łatwą identyfikację dzięki dodatkowym informacjom (fotografie, opisy topograficzne, zrzuty ekranu z LPS z zaznaczoną lokalizacją fotopunktów na scenach). Precyzyjne fotopunkty i ukształtowanie terenu zadecydowały również o tym, że zespoły opracowujące TS-9 uzyskały najdokładniejsze w programie C-SAP modele wysokości.

Nie stwierdzono znacznej rozbieżności w otrzymanych dokładnościach pomiędzy metodą ścisłą i wielomianową. Oba podejścia pozwalają na osiągnięcie porównywalnych wyników.

Dr K. Jacobsen uznał wychylenie sensorów Cartosata-1 za optymalne dla automatycznego generowania modeli wysokości. Jedynie dla obszarów wysokogórskich stwierdził możliwość otrzymania wyników o niższej dokładności ze względu na znaczne wychylenie jednego z sensorów (Jacobsen, 2007). Potwierdzają to również wnioski końcowe koordynatorów programu C-SAP (R. Nandaku-

mar et al., 2008), którzy uważają, że na podstawie zobrażeń Cartosat-1 można opracować:

a) modele wysokościowe o rozdzielczości od 5 metrów (10 m dla obszarów górskich),

b) ortofotomapy o błędzie lokalizacji poniżej piksela,

c) mapy topograficzne w skali 1:10 000.

Ostatni wniosek wydaje się nader optymistyczny, ale potwierdza, że cel konstruktorów (opracowania w skali 1:25 000) został osiągnięty.

• SATELITY IRS ALTERNATYWĄ DLA INNYCH ROZWIĄZAŃ

Cartosat-1 jest bez wątpienia satelitą oferującym zobrazenia pozwalające na pozyskanie aktualnej i dokładnej informacji wysokościowej oraz ortobrazów o całkiem przyzwoitej rozdzielczości (2,5 m). Satelita jest w pełni operacyjny, zarejestrowanie zobrażeń dla dowolnego obszaru Polski nie stanowi żadnego problemu. Warto przypomnieć unikalną na dzisiaj cechę indyjskiego satelity, który wykorzystując możliwość pozyskania długiego pasa zobrażeń stereoskopowych, pozwala na wielkoobszarowe opracowania wysokościowe o dużej dokładności.

Wśród stosunkowo nowych satelitów konstelacji IRS mamy jeszcze do dyspozycji: satelitę Resourcesat (na orbicie od 2003) oferującego zobrazenia wielospektralne o rozdzielczości terenowej 6 metrów oraz satelitę Cartosat-2 (2007) pozyskującego zobrazenia panchromatyczne o rozdzielczości 1 metra. Satelity IRS są naprawdę ciekawą i atrakcyjną cenowo alternatywą dla mocno promowanych zobrażeń satelitarnych „wiodących” dostawców.

RAFAŁ DĄBROWSKI,
GEOSYSTEMS Polska Sp. z o.o.

Recenzent: DR HAB ZDZIŚLAW KURCZYŃSKI,
pracownik naukowy Wydziału Geodezji
i Kartografii Politechniki Warszawskiej

Zespół GEOSYSTEMS-WAT dziękuje koordynatorom programu C-SAP: ISRO i ISPRS za zaproszenie do udziału w programie i za owocną współpracę.

Literatura:

- K. Jacobsen (2007): Digital Height Models by Cartosat-1, Inter-Commission Workshop, Hannover;
- P. Titarow (2007): Cartosat-1 Stereo Ortho Data Evaluation, www.racurs.ru/www_download/articles/Cartosat_en.pdf;
- R. Nandakumar, Amitabh, MPT Chamy, Satya Sekhar Kopparthi, Gurudev Paswan, Shilpa Prakash, Sanjay Singh (2008): Synthesis of Investigations Under ISPRS-ISRO Cartosat-1 Scientific Assessment Programme Primarily for DSM Generation, Publikacja z Kongresu ISPRS w Pekinie.