

MOŻLIWOŚCI I OGRANICZENIA POZYSKIWANIA OBRAZÓW SATELITARNYCH W POSTACI BLOKÓW

THE POTENTIAL AND LIMITATIONS OF USING LARGE BLOCK SATELLITE IMAGES

Sebastian Różycki

Instytut Fotogrametrii i Kartografii, Wydział Geodezji i Kartografii,
Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: bloki, IKONOS, GeoEye, pozyskiwanie, TBD

STRESZCZENIE: Przez 8 ostatnich lat funkcjonowania systemów satelitarnych o wysokiej rozdzielczości można było zaobserwować duże zainteresowanie różnymi możliwościami wykorzystania zdjęć satelitarnych w wielu dziedzinach. Początkowo główne badania skupiały się na wykorzystywaniu pojedynczych scen. Wysoko-rozdzielcze systemy satelitarne dzięki swoim możliwościom manewrowania pozwalają na pozyskiwanie nie tylko pojedynczych scen ale również dużych bloków zdjęć satelitarnych (długich pasów lub kilku zdjęć o wspólnym pokryciu). Jednocześnie ceny zdjęć satelitarnych z systemów wysoko-rozdzielczych zaczęły spadać, a dystrybutorzy posiadają coraz większe zbiory zdjęć archiwalnych. Te dwa aspekty spowodowały zwiększone zainteresowanie zdjęciami w postaci bloków. Kluczowym zadaniem podczas pozyskiwania zdjęć satelitarnych jest zaprojektowanie sesji pozyskiwania zdjęć podczas przejścia satelity w zasięgu stacji nadawczo-odbiorczej. Pozyskiwanie małych obszarów oddalonych od siebie wymaga zmiany celowania systemu optycznego satelity, co zabiera bardzo cenny czas, za który operatorzy muszą również zapłacić. Niniejszy artykuł wprowadzi czytelnika w tematykę bloków zdjęć pozyskiwanych z systemów satelitarnych. Przedstawi proces projektowania i pozyskiwania pojedynczych zdjęć oraz bloków zdjęć satelitarnych podczas przejścia satelity w obszarze stożka stacji odbiorczo-nadawczej. Zostanie opisane praktyczne wykorzystanie bloków zdjęć satelitarnych w Polsce, gdzie wymagane jest pokrycie zdjęciami dużych obszarów.

1. CHARAKTERYSTYKA BLOKÓW ZDJĘĆ SATELITARNYCH

1.1. Mono i stereo bloki zdjęć satelitarnych wysokiej rozdzielczości

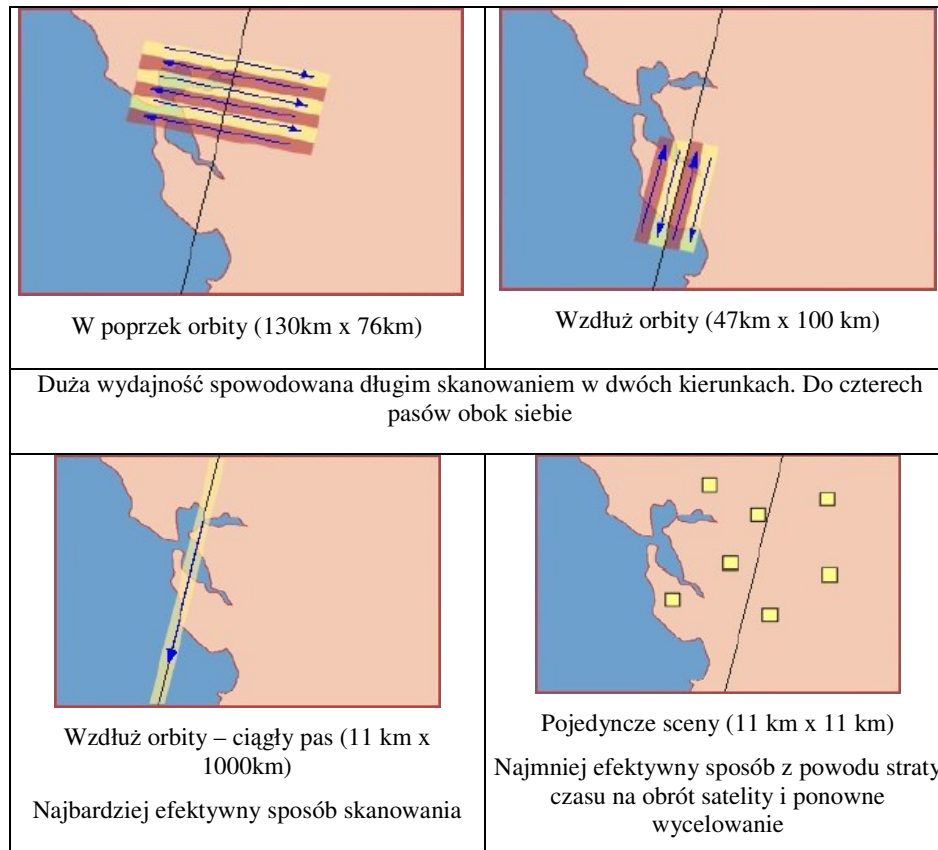
Aktualnie działające systemy satelitarne o bardzo wysokiej rozdzielczości charakteryzują się m.in. możliwością wychylania układu optycznego w dużym przedziale kątowym w dowolnym kierunku. Cecha ta ma ogromne znaczenie w procesie pozyskiwania zdjęć satelitarnych. Mobilność systemów satelitarnych pozwala pozyskiwać pojedyncze zdjęcia, ale również rejestrować kilka pasów zdjęć z jednej orbity. Mono-blokiem (ang. monoblocks lub monoscopic blocks) nazywamy pasy zdjęć satelitarnych pozyskane poprzez skanowanie obszaru w kierunku północ-południe lub wschód-zachód.

W odróżnieniu do zdjęć lotniczych wymóg pokrycia podłużnego pomiędzy poszczególnymi pasami wynosi 10%. Istnieją również bloki zdjęć składające się ze stereo-par zdjęć satelitarnych. Stereo-para składa się ze zdjęć pozyskanych przez satelitę z jednej orbity (pas skanowany jest podwójnie). Tak jest w przypadku systemu IKONOS, gdzie jedno ze zdjęć pozyskuje się z małego kąta (system wychyla układ optyczny do przodu) a drugie z dużego (system z opóźnieniem około 50 sekund wychyla układ optyczny do tyłu). Stereo pary mogą być również łączone w bloki o pokryciu podłużnym wynoszącym około 10% (podobnie jak w przypadku mono bloków). Takie zestawienie zdjęć nazywamy blokiem stereo (ang. stereo block).

1.2. Proces rejestrowania bloków zdjęć satelitarnych

Jak już wcześniej wspomniano większość systemów satelitarnych ma możliwość wychylania układu optycznego w dużym przedziale kątowym. Odchylenie układu optycznego w przód i wstecz umożliwia skanowanie terenu przez satelitę w kierunku z północy na południe (lub odwrotnie), a wychylenie układu w poprzek orbity pozwala na skanowanie ze wschodu na zachód. Najczęściej systemy satelitarne są tak programowane by proces skanowania odbywał się zgodnie z kierunkiem ruchu satelity na orbicie tj. z północy na południe. Taki sposób rejestracji upraszcza programowanie pozyskania zdjęć, sposób wstępnej obróbki danych jak też wydatnie wpływa na optymalizację czasu pracy satelity [Misiun, 2005]. Szybkość poruszania się systemów satelitarnych po orbicie jest tak ogromna, że każda sekunda podczas manewrowania systemu jest bezcenna. W przypadku skanowania pojedynczych i małych scen system musi kilkakrotnie celować, co wpływa na zmniejszenie efektywnego czasu, który mógłby być wykorzystany do pozyskiwania nowych zdjęć (rysunek 1).

Zdjęcie satelitarne powstaje w sposób dynamiczny. Tworzy się w miarę ruchu satelity po orbicie [Kurczyński *et al.*, 2002]. W przypadku systemu IKONOS szybkość skanowania jest równa szybkości poruszającego się satelity po orbicie. Równe prędkości powodują, że można przyjąć iż azymut skanowania dla zdjęć pozyskiwanych z kierunku północ-południe jest stały dla całego zdjęcia. Największa zmienność występuje, kiedy skanowanie odbywa się w kierunku z południa na północ. W tym przypadku wektor skanowania i wektor szybkości poruszającego się satelity są skierowane w przeciwnym kierunku. W wyniku tego, wartość azymutu skanowania i kąt wysokościowy skanowania zmieniają się o około jeden stopień na sekundę dla całego zdjęcia [Grodecki *et al.*, 2003]. Zmiana ta utrudnia wykonanie procesu korekcji geometrycznej z wykorzystaniem modeli parametrycznych.



Rys. 1. Sposoby pozyskiwania zdjęć satelitarnych (dla systemu IKONOS, źródło GeoEye)

2. PROCES PLANOWANIA I POZYSKIWANIA BLOKÓW ZDJĘĆ SATELITARNYCH

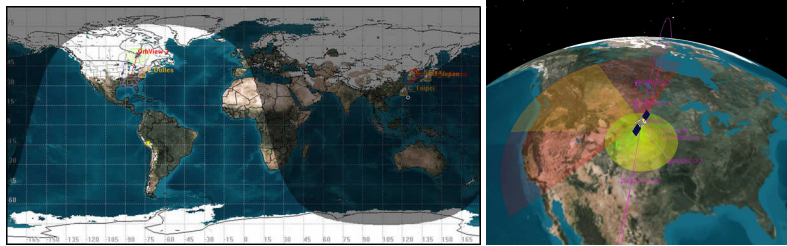
Komercyjne systemy satelitarne muszą być zdolne do pozyskiwania dużej ilości zdjęć dla różnego obszaru naszego globu, w ściśle i mocno ograniczonym czasie. Kluczem do skutecznego zaspokajania potrzeb klientów (w całym procesie od wpłynięcia zamówienia do odbioru wykonanych zdjęć) jest proces planowania i programowania rejestracji zdjęć podczas przejścia satelity w zasięgu stacji odbiorczo-nadawczej. Podczas planowania należy wziąć pod uwagę wiele czynników m. in. wzajemne rozmieszczenie obszarów dla których satelita dokona rejestracji zdjęć, ograniczenia systemu satelitarnego, zdolności transmisji anteny przesyłającej i odbierającej dane z satelity czy uwzględnienie warunków atmosferycznych. W celu sprawnego zarządzania planowaniem i programowaniem pozyskania zdjęć zostały stworzone symulatory istniejących systemów satelitarnych,

wykorzystujące specjalne algorytmy wspomagające ten proces. Oprogramowanie do planowania i programowania zdjęć jest wykorzystywane przez m. in. konsorcja GeoEye (IKONOS, OrbView) oraz Digital Globe (QuickBird, WorldView).

Systemy Wspomagające Planowanie i Programowanie (w dalszej części zostanie wykorzystywany skrót – SWPR) mają zapewnić poprawną i optymalną sesję, która pozwoli systemowi satelitarnemu pozyskać zdjęcia dla obszarów zamówionych przez klientów, w czasie jednego przejścia w zasięgu stacji odbiorczo-nadawczej.

2.1. Proces planowania kolekcji zdjęć satelitarnych

Proces planowania zaczyna się od wyboru zadań do zrealizowania przez system satelitarny (poligonów opisujących zasięg obszarów do pokrycia zdjęciami). Dość często klienci zamawiają zdjęcie (lub gotowe produkty w postaci ortofotomap), które ma obejmować niestandardowe obszary (nie dające się wpisać w prostokąt). Takimi niestandardowymi obszarami mogą być m.in. obszary w otoczeniu odcinków rzek, wybrzeża. Obszary nie przypominające kształtem prostokątów lub obszary o znacznej długości zostają podzielone na mniejsze poligony, będące obszarami, które system satelitarny jest w stanie fizycznie pozyskać. SWPR sam dzieli obszar do pozyskania na mniejsze kawałki i sam dobiera zakresy parametrów zdjęć w postaci azymutu skanowania, odchylenia układu optycznego od pionu czy terenowej odległości próbkowania (ang. ground sampled distance – GSD). Operator może dokładnie określić te parametry wybierając je z zakresu podanego przez system. Oprogramowanie również minimalizuje obszar znajdujący się poza poligonem opisującym zasięg obszarów do pokrycia zdjęciami. W drugiej kolejności operator musi wybrać i przyporządkować priorytety do poligonów opisujących zasięg obszarów do pokrycia zdjęciami, które będą decydowały o kolejności wykonania planowanych zadań. Można ustalić hierarchie klientów, wziąć pod uwagę zamówienia ostatnio nie zrealizowane czy zamówienia, którym upływa termin wyznaczonej realizacji. Gdy kolejka jest już ustalona, SWPR dokonuje analizy, przeciwstawiając przeciwko sobie poszczególne zadania w celu określenia najlepszego planu pozyskania zdjęć. W wyniku analizy operator otrzyma plan kolekcji zdjęć satelitarnych, uzależniony od wcześniej założonych kryteriów. Plan zostaje zapisany ale można w każdej chwili ponownie go wczytać i dokonać poprawek lub zmian. Oprogramowanie generuje również raport, który zawiera informacje o: planowanej powierzchni pokrycia zdjęciami, liczbie wykonanych zdjęć, zużytej ilości energii i wielkości wykorzystanego dysku w systemie satelitarnym oraz czasu skanowania. W ręcznym procesie planowania bardzo użytecznym narzędziem jest okno wyświetlające na ekranie monitora obraz przedstawiający ślad orbity, pole widzenia systemu satelitarnego, ogólny widok występowania strefy nocy i dnia na kuli ziemskiej, poligony opisujące zasięg obszaru do pokrycia zdjęciami, rozkład zachmurzenia i obszary zalegania śniegu (rysunek 2).



Rys. 2. Okna ułatwiające programowanie procesu pozyskiwania zdjęć dla systemu OrbView (źródło GeoEye)

Gotowy plan jest zbierany do bazy danych, gdzie czeka na wysyłkę do systemu satelitarnego. Operator ma możliwość ręcznej zmiany dowolnego parametru dla danego zdjęcia, które ma być pozyskane. Zmiany te mogą obejmować m. in.: kierunek skanowania, GSD, kąt wychylenia od nadiru, azymut skanowania. System poinformuje użytkownika gdy pojawią się parametry które np. z powodu brakującego czasu wynikającego z wielokrotnego celowania uniemożliwią wykonanie danego planu pozyskania zdjęć. SWPR podczas planowania uwzględnia również ilość wymaganej energii do pozyskania zdjęć oraz stan naładowania akumulatorów statku kosmicznego. Systemy satelitarne używają energii do procesu pozyskiwania zdjęć. Energia jest czerpana z baterii słonecznych i magazynowana w akumulatorach. W przypadku, gdy aktualna ilość energii nie wystarczy do procesu wykonywania zdjęć oraz na manewry satelity na orbicie, SWPR poinformuje o tym użytkownika. Model określający stan ładowania akumulatorów jest liczony na podstawie: znanych parametrów przed wystrzeleniem satelity, wprowadzonych poprawek wyliczających starzenia się paneli słonecznych, możliwości ładowania akumulatorów podczas wykonywania zdjęć w zależności od położenia w tym czasie satelity względem źródła energii – Słońca. Systemy satelitarne zapisują pozyskane zdjęcia na nośnikach umieszczonych na pokładzie. Pojemność nośników jest ograniczona (IKONOS – 80GB, QuickBird 128GB). SWPR uwzględnia również aktualny stan wolnego miejsca i informuje użytkownika, gdy ten parametr będzie przekroczony. Również warunki pogodowe bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na pozyskiwanie zdjęć przez system satelitarny. Programowanie SWPR korzysta z przygotowanych przez zewnętrzne agencje modeli pogodowych, ale również pozwala na uzupełnianie tych prognoz danymi z innych źródeł. Dodatkowymi danymi mogą być wartości temperatury, ciśnienie czy kierunek wiatru.

2.2. Algorytmy

Jądem SWPR jest kilkanaście modeli symulujących i przewidujących zachowanie systemu satelitarnego oraz stacji nadawczo odbiorczej. Oprogramowanie korzysta z plików efemerycznych określających przybliżone położenie satelity. Algorytmy wykorzystane w projektowaniu misji mają na celu zoptymalizowanie procesu. Programy wspomagające projektowanie mają wbudowanych około kilku algorytmów analizujących plany projektów pod różnymi względami. Niektóre algorytmy osiągają najlepsze wyniki, gdy cele do pozyskania są blisko siebie, a inne oferują najlepsze rozwiązanie, gdy cele są oddalone od siebie.

2.3. Stacje odbiorcze

Programowanie, odbiór danych i informacji z systemów satelitarnych odbywa się podczas przelotu w zasięgu stacji odbiorczej. Właściciel satelity QuickBird – DigitalGlobe, przyjął strategię programowania satelity i odbioru obrazów rejestrowanych na pokładzie przez dwie stacje naziemne: w Fairbanks - Alaska i Tromsø - północna Norwegia (Kurczyński, 2007). Space Image (aktualnie GeoEye) odbiera dane z systemów satelitarnych w stacjach naziemnych w Fairbanks (Alaska), Norman (Oklahoma) i Kiruna (Szwecja). Dodatkowo istnieje sieć 18 naziemnych stacji (Regionalnych Centrów Operacyjnych – ang. Regional Operation Center - ROC), które służą do programowania i odbioru zdjęć m. in. z satelity IKONOS w czasie bezpośredniego zasięgu. W przypadku sieci ROC, lokalni operatorzy przed połączeniem się z satelitą muszą swoje plany pozyskiwania zdjęć uzgodnić z Głównym Centrum Operacyjnym w Thornton. Główny Operator udostępnia 30 dniowy i 24 godzinny plan dostępu do satelity, rozwiązuje problemy dotyczące konfliktów z dostępem do satelity oraz informuje o ograniczeniach w pozyskiwaniu zdjęć. Centrala Główna udostępnia również kody kryptograficzne. Każda ze stacji odbiorczych musi wykupić czas umożliwiający kontakt z satelitą. Czas ten powinien być skalkulowany z zapotrzebowaniem na zdjęcia satelitarne w danym rejonie. Na przykład ROC w Tajlandii wykupiło 135 minut miesięcznie, a ROC w Monachium 150 minut (Ager, 2004). Czas ten może być w każdej chwili rozszerzony do 300 minut. Jedno przejście satelity w zasięgu danego ROC (w zasięgu stożka odbioru i nadawania anteny) wynosi od 4 do 10 minut.

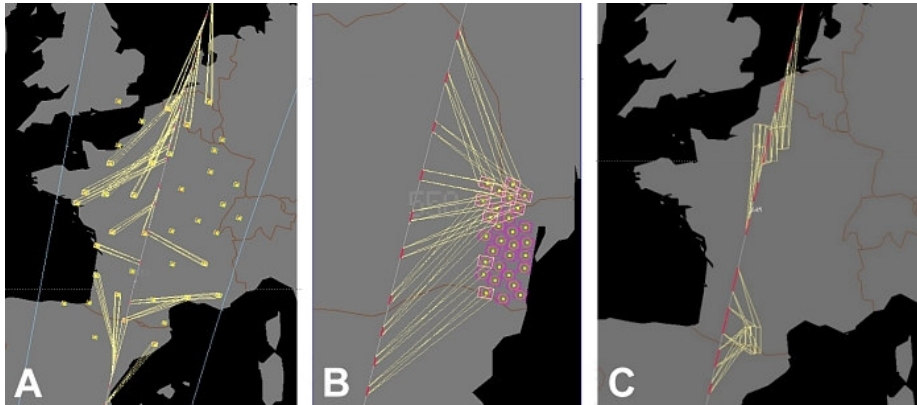
3. PROCES POZYSKIWANIA ZDJĘĆ SATELITARNYCH

24 godziny przed przejściem satelity w stożku ROC proces projektowania misji jest już zakończony. Zostały wyznaczone cele do wykonania zdjęć dla satelity oraz nadano im odpowiednie priorytety dotyczące kolejności wykonania. 30 minut przed połączeniem z satelitą zostaje przetestowany system odpowiedzialny za odbieranie i przesyłanie danych od i z satelity. 10 minut przed połączeniem z satelitą – system programowania satelity łączy się z anteną przekazującą i odbierającą dane, aktualizowana jest prognoza pogody i sprawdza się ponownie, jakie cele można zrealizować. 3.5 minuty przed połączeniem – antena zostaje skierowana w miejsce gdzie ma pojawić się satelita. Podczas kontaktu z satelitą – następuje autoryzacja stacji i przesłanie wybranych celów. Oprogramowanie w satelicie analizuje odebrane dane i przystępuje do procesu wykonywania zdjęć. Zdjęcia zostają zapisane i przygotowane do przesłania do stacji naziemnej.

4. PLANOWANE SYSTEMY SATELITARNE I ICH MOŻLIWOŚCI POZYSKIWANIA BLOKÓW ZDJĘĆ

Podczas projektowania nowych systemów satelitarnych o rozdzielczości bliskiej 50 cm konstruktorzy GeoEye i WorldView skupili uwagę na 3 aspektach: wysokiej rozdzielczości, dokładnym wyznaczaniu parametrów orbity satelity oraz możliwościach pozyskiwania zdjęć dla dużych obszarów. Podobne założenia do systemów amerykańskich ma projekt francuskiej firmy SPOT Image. Przewaga systemy PLEIADES polega na

umieszczeniu na orbicie konstelacji satelitów wykonujących zdjęcia o rozdzielczości 70 cm. Pleiades będzie oferował zdjęcia o szerokości sceny 20 km z możliwością wykonywania zdjęć pojedynczych oraz pokrywania zdjęciami dużych obszarów w postaci długich pasów – rysunek 3 a-c.



Rys. 3. Pozyskiwanie zdjęć przez system Pleiades: a) i b) kolekcja pojedynczych scen, c) kolekcja bloków (źródło SPOT Images)

5. PRAKTYCZNE WYKORZYSTANIE BLOKÓW ZDJĘĆ SATELIATRNYCH

Wykorzystanie zdjęć wysoko-rozdzielczych stało się realną alternatywą dla zdjęć lotniczych w wielu dziedzinach. Ich wykorzystanie jest jeszcze bardziej przydatne na obszarach, gdzie w ubiegłych latach w małym stopniu wykorzystywano metody fotogrametryczne lub gdzie wymagana jest szybka aktualizacja starych materiałów/map. Coraz niższe ceny za metr kwadratowy zdjęć satelitarnych spowodowały wzrost zamówień na wykonanie zdjęć dużych obszarów.

Pierwszego kwietnia 2007 roku zaczęto projekt mający na celu pokrycie całej Grecji (132 tysiące km²) zdjęciami z systemu IKONOS. Zdjęcia mają mieć maksymalnie 10% pokrycia chmurami a cały projekt ma zakończyć się we wrześniu 2008 roku. Podobne plany pokrycia całego kraju ortofotomapą z systemu IKONOS ma również Ukraina.

Analizując zadania Polskiej Służby Geodezyjnej i Kartograficznej można zauważyć, iż wykorzystanie bloków zdjęć satelitarnych będzie odgrywało coraz większe znaczenie. Głównymi zadaniami, do wykonania których powinny być wykorzystywane zdjęcia satelitarne w postaci bloków, będą m. in. tworzenie Baz Danych Topograficznych (TBD) oraz tworzenie ortofotomap dla potrzeb IACS. Ortofotomapa ma być aktualizowana raz na pięć lat, można więc założyć, że każdego roku prowadzona będzie jej aktualizacja dla ok. 20% powierzchni kraju. Aktualnie proces aktualizacji ortofotomapy opiera się na wykonywaniu nowych zdjęć metodami fotogrametrycznymi. Jednak z w przypadku pojawienia się nowych systemów o rozdzielczości 50 cm jest duża szansa na powrót do wykorzystywania zdjęć satelitarnych do aktualizacji ortofotomapy.

Aby przyspieszyć prace nad tworzeniem Bazy Danych Topograficznych opracowano koncepcję stworzenia TBD II [Przywara, 2006]. Baza topograficzna wykonana według nowej koncepcji byłaby uboższa w treści, ale wystarczająco dokładna, by zaspokoić wymagania użytkowników. Testy przeprowadzone w warunkach produkcyjnych wykazały, że czas pozyskiwania obiektów ze zdjęć satelitarnych jest dla TBD II o ponad 40% krótszy niż dla TBD I [Przywara, 2006]. Niższe są też koszty wytworzenia bazy. Eksperymenty dotyczące wytworzenia standardu TBD II zostały przeprowadzone w Instytucie Fotogrametrii i Kartografii pod kierownictwem dr Wiesława Wolniewicza, na pojedynczych scenach, ale proces produkcyjny wg nowego standardu powinien odbywać się na blokach obrazów satelitarnych pokrywających obszar zadania.

Pojawia się również możliwość wykorzystania bloków stereo podczas budowy trójwymiarowych modeli miast. Metryczne modele budynków można pozyskać z pomiarów stereoskopowych. Jak już wspomniano wcześniej, wykorzystanie bloków stereo wiąże się z podwójnymi kosztami, jednak operatorzy komórkowi wykorzystują stworzone modele miast 3D do projektowania i rozbudowy swoich sieci.

6. PODSUMOWANIE

W Instytucie Fotogrametrii i Kartografii Politechniki Warszawskiej prowadzony jest projekt badawczy dotyczący opracowania metodyki korekcji geometrycznej bloków zdjęć satelitarnych. Aktualnie trwają badania nad optymalizacją procesu korekcji geometrycznej bloku zdjęć uwzględniającej ilość, rozmieszczenie fotopunktów jak i wpływ punktów wiążących na proces korekcji.

W najbliższych latach wykorzystanie zdjęć w postaci bloków powinno rosnąć. Nowe systemy satelitarne będą oferowały piksel 50 cm oraz jeszcze większe niż obecne systemy możliwości pozyskiwania zdjęć podczas przejęcia satelity w zasięgu stacji nadawczo-odbiorczej. Producenci, kierując się zapotrzebowaniem rynku, zdecydowali, że ich systemy będą pracowały cały czas dokonując zobrazowań atrakcyjnych miejsc na Ziemi, niezależnie od tego czy są na nie zamówienia czy nie. Coraz lepsze parametry planowanych wysoko-rozdzielczych systemów satelitarnych jeszcze bardziej podniosą poprzeczkę dla procesu planowania i programowania zdjęć.

7. LITERATURA

- Bauer N., 2003. European Ground Segment for High Resolution IKONOS Data. <http://www.ipi.uni-hannover.de/html/publikationen/2003/workshop/dech.pdf>
- Bayir I., 2003. IKONOS Collection Capability with the Direct Tasking from Regional Operation Center. <http://www.ipi.uni-hannover.de/html/publikationen/2003/workshop/bayir.pdf>
- Gerlach F., 2004. Space Imaging: IKONOS Overview. Prezentacja firmy Space Imaging
- Grodecki J., Dial G., Lutes J., 2003. Error propagation in block adjustment of high-resolution satellite images. Proceedings of ASPRS 2003 Conference, Anchorage, May 5–9
- Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2002. Zrób to sam. Geodeta, nr 11
- Kurczyński Z. Obrazowanie satelitarne. Portal GeoForum. <http://www.geoforum.pl/pages/index.php?page=obrazowaniesatelitarne&idcatalogtext=187>

- Misiun C., 2005. IKONOS - kilka faktów związanych ze specyfiką przetwarzania scen satelitarnych o bardzo wysokiej rozdzielczości przestrzennej systemu IKONOS. Materiały z Sesji Jubileuszowej z okazji 60 - lecia Katedry Geodezji Politechniki Gdańskiej
- Pholperm A., 2004. Direct Tasking of Space Imaging's IKONOS High Resolution Satellite At Thailand Regional Operation Center. Materiały konferencyjne ACRS, Tajlandia
- Przywara J., 2006. Uproszczenie standardu szansą na przyspieszenie prac nad TBD. Geodeta, nr 11.

THE POTENTIAL AND LIMITATIONS OF USING LARGE BLOCK SATELLITE IMAGES

KEY WORDS: block, IKONOS, GeoEye, collection, TBD

SUMMARY: For the last 8 years of the presence of very high resolution satellite systems (VHRS) there has been a number of various opportunities discovered for using satellite images in numerous applications. The majority of research work has focused on using a single satellite image. VHRS, thanks to their agility capability, allow not only to provide single image, but also blocks of satellite images (long strip or several strips with small amount of overlapping). At the same time, the prices of satellite images have started to drop, and collection of archived imagery has been increasing. These two aspects have increased the interest in blocks of satellite images. Image collection planning is the key task during imaging sessions in a single passage (single orbit). The collection of small area isn't very efficient during slew times. In slew time, the satellite cannot take any image. This paper is intended to give an overview of the collection of blocks of satellite images and to introduce planning system for images collection during a particular spacecraft pass. The author has also described a few applications requiring the use of satellite image blocks.

mgr. inż. Sebastian Różycki
e-mail: s.rozycki@gik.pw.edu.pl
telefon: 0 22 234 73 58