

TWORZENIE ORTOFOTOMAPY Z CYFROWYCH ZDJĘĆ FOTOGRAMETRYCZNYCH PRZEZ INTERNET

GENERATION OF ORTHOPHOTOMAP FROM DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC IMAGES VIA INTERNET

Zygmunt Paszotta, Małgorzata Szumilo

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: ortoobraz, ortofotomapa, bazy danych, aplikacje internetowe, algorytmy, rozwiązania internetowe

STRESZCZENIE: Pod koniec 2011 roku wprowadzono regulacje prawną dotyczącą trybu i standardów technicznych tworzenia, aktualizacji i udostępniania baz danych zobrażeń lotniczych i satelitarnych oraz ortofotomapy i numerycznego modelu terenu. Rozporządzenie zapowiada budowę systemu teleinformatycznego przeznaczonego w szczególności do wyszukiwania, przeglądania i przetwarzania zbiorów danych. Sam proces przetworzenia zdjęcia lotniczego do postaci ortoobrazu (generowanie ortofotomapy) jest złożony i wymaga użycia specjalistycznego oprogramowania. W niniejszym artykule autorzy przedstawiają propozycję rozwiązania internetowego do generowania cyfrowej ortofotomapy z wyszukanego i wybranego przez użytkownika systemu stereogramu zdjęć. Autorzy szczegółowo opisują podstawy matematyczne budowy ortoobrazu jako funkcji oraz zamieszczają w formie diagramu UML algorytm generowania ortofotomapy w aplikacji internetowej. Ze względu na dostępność rozwiązania zdecydowano się na architekturę klient-serwer, gdzie klientem jest przeglądarka internetowa użytkownika. Oprogramowanie, na które składają się aplety i servlety zostały napisane w języku Java. Ortorektyfikacja wykonywana jest na serwerze, natomiast jej wynik wyświetlany jest w oknie przeglądarki internetowej użytkownika systemu. Aplikacja jest dostępna na stronie internetowej <http://www.kfit.uwm.edu.pl/zp1/or.html>. W artykule przedstawioną instrukcję "krok po kroku" jak korzystać z proponowanego rozwiązania, którego walory użytkowe i dydaktyczne są duże.

1. WPROWADZENIE

Internet wszedł do wielu dziedzin naszego życia. Jesteśmy coraz bardziej mobilni i coraz więcej spraw załatwiamy za pomocą łącza internetowego. Ewolucja Internetu nie służy jedynie realizacji różnorodnych potrzeb tj. szybki dostęp do informacji, rozrywka, edukacja, itp. Wraz z jego rozwojem wyodrębniają się nowe nurty w dziedzinach naukowych. Tak jest również w przypadku fotogrametrii. W ciągu ostatnich kilku lat zaobserwować można rozwój tzw. fotogrametrii internetowej (*Web Photogrammetry*) (Drap, 2001, Heipke 2005). Specyfika fotogrametrii internetowej wynika z faktu, iż zadania fotogrametryczne wykonujemy na różnych komputerach połączonych w sieć. To połączenie urządzeń w sieć odbywa się w taki sposób, aby istniała możliwość przesyłania

danych pomiędzy nimi. Żyjąc w społeczeństwie geoinformacyjnym przyzwyczajeni jesteśmy niemal codziennie do wyświetlania w oknach przeglądarek internetowych przy użyciu serwisów tj. Google Maps, zumi.pl czy geoportalu podstawowego produktu fotogrametrycznego jakim jest ortofotomapa. W listopadzie 2011 roku wprowadzono w życie regulacje prawne dotyczące trybu i standardów technicznych tworzenia, aktualizacji i udostępniania baz danych zobrazowań lotniczych i satelitarnych oraz ortofotomapy i numerycznego modelu terenu. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji zobowiązuje Głównego Geodetę Kraju do podjęcia działań w celu utworzenia systemu teleinformatycznego. System ten ma zapewnić nie tylko wyszukiwanie, wizualizację i przeglądanie zbiorów danych ale także wykonywanie analiz przestrzennych, transformacji i przetwarzanie zbiorów danych. Oczywiście wydaje się fakt, że podobnie jak w przypadku geoportalu system taki po stronie użytkownika będzie korzystał ze środowiska przeglądarki internetowej. Najbardziej istotne z punktu widzenia użytkowników systemu jest dostęp do najaktualniejszych zobrazowań powierzchni Ziemi. Proces tworzenia kartometrycznych produktów fotogrametrycznych jest złożony i wymaga wykorzystania specjalistycznego sprzętu. Bazy danych systemu w pierwszej kolejności będą aktualizowane zobrazowaniami lotniczymi i satelitarnymi a po wykonaniu opracowań o pozostałe produktu tj. elementy orientacji zobrazowań, NMT i ortofotomapy. A zatem prowadzone w Katedrze Fotogrametrii i Teledetekcji UWM badania nad tworzeniem fotogrametrycznych aplikacji internetowych wpisują się w aktualny nurt wdrożeń technologicznych. Prezentowane rozwiązanie może stać się jednym z elementów modułu przetwarzania zobrazowań lotniczych i satelitarnych wspomnianego systemu teleinformatycznego.

W niniejszym artykule autorzy przedstawiają propozycję rozwiązania internetowej do generowania cyfrowej ortofotomapy (z pojedynczego ortoobrazu) z wyszukaniem i wybranego przez użytkownika systemu stereogramu zdjęć, o znanych elementach orientacji.

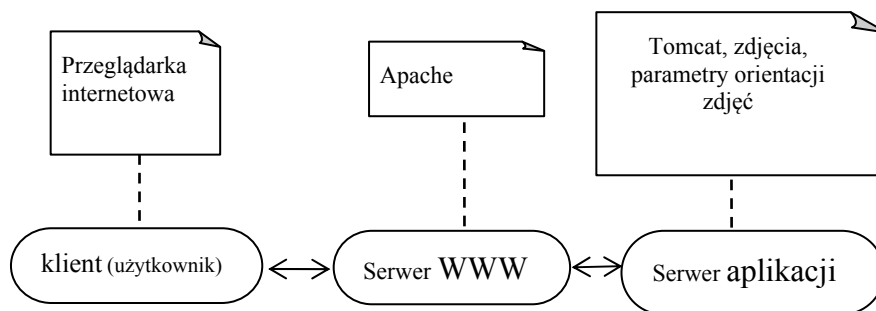
2. ARCHITEKTURA APLIKACJI

Do podstawowych zadań fotogrametrii zaliczyć można określenie danych przestrzennych obiektów na podstawie zdjęć lotniczych. Rozwój Internetu sprawił, że wiele zagadnień fotogrametrycznych można wykonywać sieciowo. Wśród badań prowadzonych w Katedrze Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego ważne miejsce zajmuje zagadnienie budowy i wdrażania fotogrametrycznych aplikacji sieciowych. Obecnie na serwerze Katedry zainstalowane są aplikacje pozwalające na wykonanie podstawowych prac fotogrametrycznych tj.:

- wyznaczenie elementów orientacji zdjęć (Paszotta 2003);
- wizualizacja modelu przestrzennego terenu za pomocą anaglifów;
- pomiary przestrzennych współrzędnych terenowych wybranych punktów;
- automatyczne pomiary przestrzennych współrzędnych terenowych zbiorów punktów do budowy lub weryfikacji numerycznego modelu terenu. (Paszotta, *et. al* 2006).
- generowanie ortofotomapy (Paszotta, *et. al* 2010)

Przy budowie fotogrametrycznych aplikacji szczególnie przydatna okazuje się technologia klient-serwer z wykorzystaniem języka JAVA. Strukturę internetowej aplikacji

fotogrametrycznej prezentuje rysunek 1. Na uwagę zasługuje fakt iż użytkownik wykonuje daną aplikację w środowisku przeglądarki internetowej. Oznacza to, że z chwilą wybrania strony internetowej serwer, przekazuje do przeglądarki zarówno kod HTML tej strony jak i programy – aplety, które będą wykonane w przeglądarce internetowej użytkownika. Czynności po stronie serwera wykonywane są za pomocą programów – serwletów. A zatem system tego rodzaju aplikacji opiera się na co najmniej trzech filarach. Pierwszy to serwer stron WWW, np. Apache. Drugi to serwer aplikacji, np. Jakarta Tomcat, który jest odpowiedzialny za wykonywanie serwletów. Trzecim zaś jest użytkownik systemu, który w oknie przeglądarki internetowej wykonuje daną aplikację. Podkreślić należy, iż w celu wykonywania apletów użytkownik musi mieć zainstalowaną na swoim komputerze Wirtualną Maszynę Javy (*JAVA Virtual Machine*). Kolejnym filarem systemu może być rozproszona sieć komputerów pełniących rolę serwerów danych. Na tych komputerach zapisywane są zobrazowania lotnicze i satelitarne, ich elementy orientacji i tym podobne dane. Użytkownik systemu nie ma bezpośredniego dostępu do tak zdeponowanych danych ale może z nich korzystać w zakresie, w którym pozwala na to aplikacja internetowa (Peng, *et. al* 2003).



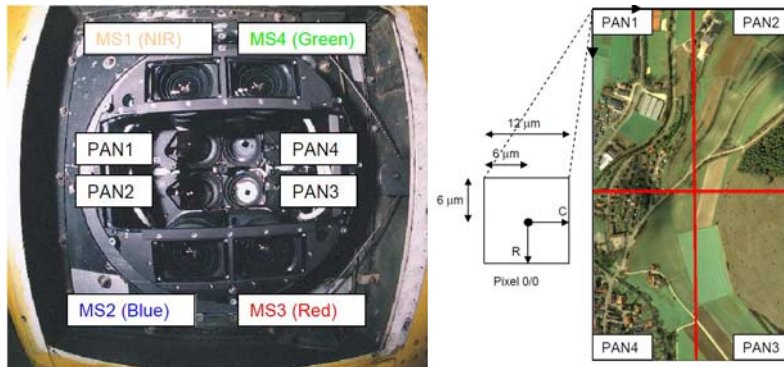
Rys. 1. Architektura fotogrametrycznej aplikacji internetowej

Zasadniczym problemem fotogrametrii internetowej jest konieczność przesyłania zdjęć zapisanych w postaci dużych zbiorów danych. Ze względu na to, że zdjęcia lotnicze zajmują setki megabajtów pamięci nie jest możliwa transmisja i wizualizacja całych zdjęć po stronie użytkownika systemu. Zatem aplikacje fotogrametryczne powinny umożliwiać pobieranie z serwera wybranego fragmentu stereogramu.

3. OPIS DANYCH TESTOWYCH

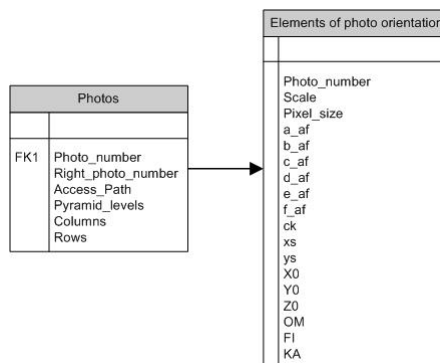
Danymi niezbędnymi do generowania ortofotomapy są: zdjęcia lotnicze, ich elementy orientacji wewnętrznej i zewnętrznej oraz Numeryczny Model Terenu. Materiał do testowania stworzonej aplikacji zawierał blok zdjęć Olsztyna wykonanych w 2009 cyfrową kamerą fotogrametryczną DMC firmy Z/I Imaging. Zdjęcia udostępnione zostały przez firmę MGGP Aero z Tarnowa. Kamera DMC (*Digital Modular Camera*) jest tzw. kamerą wielomodułową. Zbudowana jest z kilku sprzężonych głowic optycznych (modułów), z których każda wyposażona jest w obiektyw i matrycę CCD. Pola widzenia modułów panchromatycznych PAN częściowo nachodzą na siebie. Z uzyskanych w ten sposób kilku

obrazów powstaje jeden tzw. obraz wirtualny, który spełnia wymagania rzutu środkowego. W procesie tworzenia obrazu wirtualnego korygowane są dystorsje poszczególnych obiektywów oraz inne błędy systematyczne. Wygenerowany obraz ma wymiar 13824 wiersze na 7680 kolumn. Rozmieszczenie poszczególnych modułów kamery DMC oraz geometrię obrazu wirtualnego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Rozmieszczenie modułów kamery DMC i obraz wirtualny generowany z kilku zobrażeń wykonanych przez poszczególne moduły

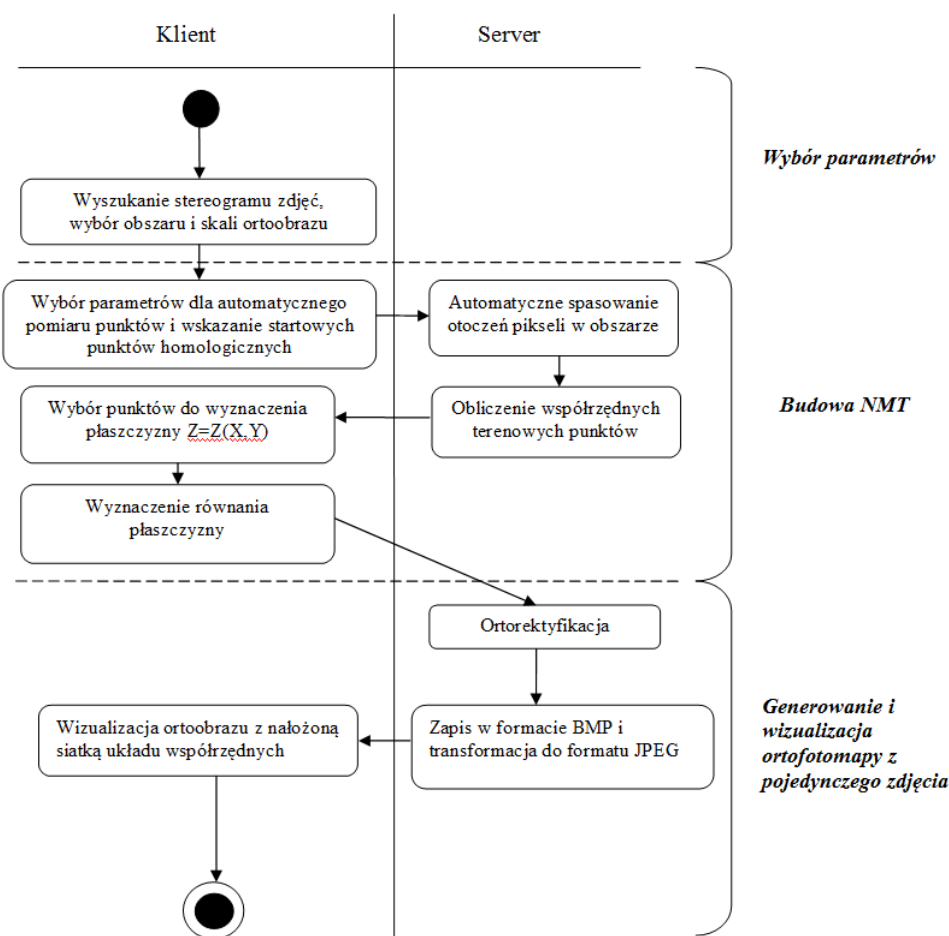
Na podstawie danych z metryki kamery obliczone zostały współczynniki transformacji współrzędnych z układu pikselowego do układu tłowego. Podkreślić należy fakt, że współczynniki te są jednakowe dla wszystkich obrazów wirtualnych wykonanych tą kamerą. Dodatkowo w procesie aerotriangulacji zostały wyznaczone elementy orientacji zewnętrznej. Tak określone dane zostały zapisane w bazie danych. Fragment struktury bazy został przedstawiony na rysunku 3. W jej skład wchodzi m.in. tabela PHOTOS i EofPO, w których zdeponowane są informacje bezpośrednio związane z zobrazeniami lotniczymi. Baza danych prowadzona jest zarówno dla zdjęć wykonanych kamerami cyfrowymi jak i analogowymi. w tabeli PHOTOS znajdują się podstawowe dane o zdjęciu jak : numer , rozmiar, liczba poziomów piramidy obrazów, ścieżka dostępu oraz numer sąsiedniego zdjęcia, z którym tworzy ono stereogram. Tabela EofPO zawiera informacje o elementach orientacji wewnętrznej i zewnętrznej danego zdjęcia.



Rys. 3. Fragment struktury bazy danych zobrażeń lotniczych

4. FUNKCJONALNOŚĆ APLIKACJI BUDOWY ORTOFOTOMAPY PRZEZ INTERNET

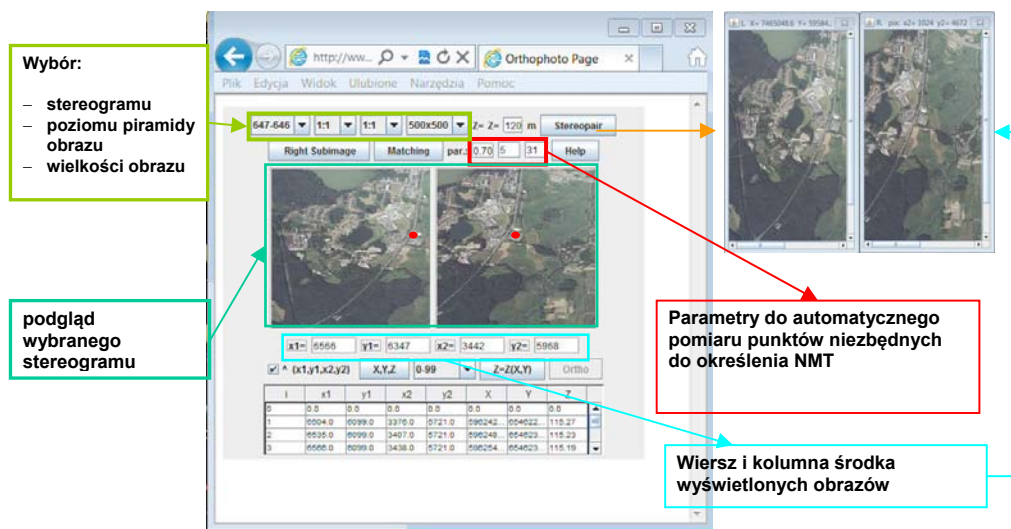
Proces tworzenia ortofotomapy ze zdjęć lotniczych jest złożony i najczęściej wymaga użycia specjalistycznego oprogramowania jakim są cyfrowe stacje fotogrametryczne. W proponowanym rozwiązaniu z pewnymi uproszczeniami zadanie to realizowane jest przez Internet. Zakłada się, że użytkownik aplikacji korzysta ze zdjęć, dla których określono i zapisano w bazie danych elementy orientacji. Ostatni niezbędny do budowy ortobrazu element jakim jest Numeryczny Model Terenu nie jest dany i będzie opracowywany w trakcie realizacji aplikacji. Szczegółowy algorytm w postaci diagramu czynności UML prezentowany jest na rysunku 4.



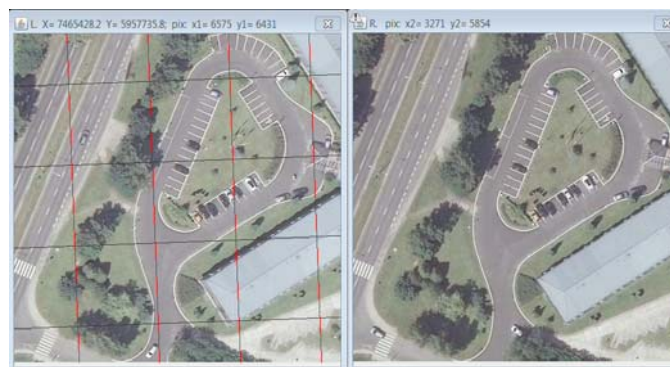
Rys. 4. Schemat aplikacji internetowej budowy ortofotomapy (diagram czynności UML)

W proponowanym rozwiązaniu wyodrębnić można trzy zasadnicze etapy działania aplikacji: wybór parametrów, budowa NMT oraz generowanie i wizualizacja ortofotomapy.

Na prezentowanym schemacie UML widać, które etapy realizowane są po stronie serwera aplikacji, a które w środowisku przeglądarki użytkownika aplikacji. Po wczytaniu wpisanemu w oknie przeglądarki adresu <http://www.kfit.uwm.edu.pl/zp1/or.html> zostanie wyświetlone główne okno aplikacji (rys. 5). Krok pierwszy to ustalenie parametrów początkowych tzn. wyszukanie stereogramu, wybór poziomu piramidy, określenie wielkości w oknie wyświetlenia pary zdjęć. Użycie przycisku *Stereopair* spowoduje wyświetlenie w dodatkowym okna wybranych przez użytkownika zdjęć. Ze względu na ograniczoną wielkość wyświetlanych zdjęć użytkownik wskazuje obszar zainteresowania, dla którego generowany będzie ortoo obraz. Po prawidłowym jego zdefiniowaniu na monitorze wyświetlone zostaną fragmenty tego samego obszaru dla obu zdjęć stereogramu (jak na rysunku 6.)



Rys. 5. Okno główne aplikacji w opisie miejsc doboru parametrów



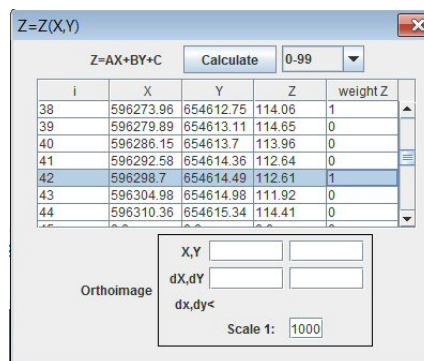
Rys. 6. Obszar opracowania na lewym i prawym zdjęciu stereogramu

Kolejnym krokiem jest Budowa Numerycznego Modelu Terenu. Zadanie to realizowane jest w dwóch etapach. Pierwszy polega na automatycznym pomiarze punktów

homologicznych i wyznaczeniu ich współrzędnych terenowych. Użytkownik aplikacji wskazuje startowy punkt homologiczny i definiuje wartość progową współczynnika korelacji, wielkość otoczeń pikselowych podlegających spasowaniu (*matching*) oraz zakres zmiany współrzędnej pikselowej x na prawym obrazie. Po wciśnięciu przycisku *Matching* w głównym oknie aplikacji zdefiniowane parametry zostaje wysłane na serwer a spasowanie (*matching*) pozostałych otoczeń pikseli przebiega automatycznie. Wynik działania aplikacji przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Wizualizacja punktów z pomiaru automatycznego



Rys. 8. Wybór punktów i aproksymacja płaszczyzną

Drugi etap to interpolacja NMT. Użycie przycisku $Z=Z(X,Y)$ w głównym oknie aplikacji powoduje uruchomienie modułu do interpolacji NMT. Ze względu na mały obszar, dla którego generowany jest ortooobraz za model opisujący teren przyjęto płaszczyznę. Jej równanie wyznaczone jest na podstawie punktów z matchingu, którym użytkownik nadał wagę równa 1. (rys 8.) Jednocześnie badana jest dokładność takiego modelowania poprzez obliczenie RMS pomiędzy wysokościami punktów z pomiaru automatycznego a przyjętym modelem. Błąd RMS posłuży do określania błędu położenia punktów na ortofotomapie. Należy zaznaczyć, że generowanie NMT nie jest kluczowym

aspektem prezentowanej aplikacji. Trwają prace nad aktualizacją aplikacji o możliwość korzystania z gotowego modelu lub przyjęcia innej metody interpolacji.

Ostatnim etapem jest proces ortorektyfikacji. Generowanie ortoobrazu to znalezienie zależności pomiędzy pikselem ortoobrazu a pikselem zdjęcia lotniczego. Wyznaczenie wartości piksela ortoobrazu na podstawie wartości pikseli zdjęcia można opisać funkcją. (1) Przyjmując, że (i, j) to indeksy pikseli zdjęcia a (i', j') to indeksy pikseli ortoobrazu, zdjęcie cyfrowe i ortoobraz cyfrowy możemy oznaczyć odpowiednio jako funkcję $c(i, j)$ i $c'(i', j')$. Zależność pomiędzy nimi to funkcja złożona postaci (Paszotta 2000):

$$c'(i', j') = c(e(g(f(i', j')))) \quad (1)$$

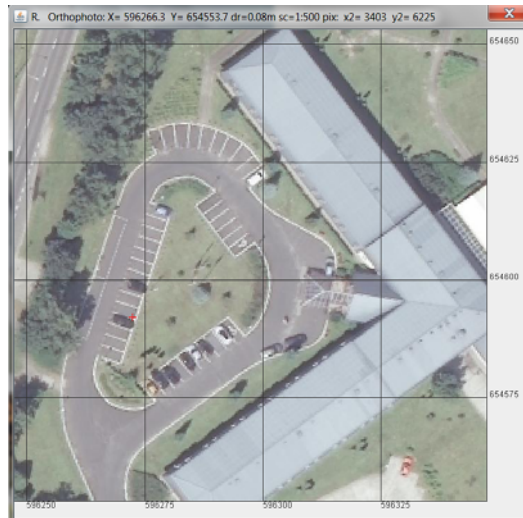
gdzie:

$f : (i', j') \Rightarrow (X, Y)$, przekształca współrzędne pikselowe na ortoobrazie na współrzędne terenowe;

$g : (X, Y, Z(X, Y)) \Rightarrow (x, y)$, przekształca poprzednio wyznaczone współrzędne terenowe oraz współrzędną Z wyznaczoną z numerycznego modelu terenu, na współrzędne tłowe, zgodnie z równaniami kolinearności;

$e : (x, y) \Rightarrow (i, j)$, przekształca współrzędne tłowe na współrzędne pikselowe na zdjęciu;

$c : (i, j) \Rightarrow c(i, j)$ jest kolorem piksela (i, j) , albo kolorem wyznaczonym w wyniku interpolacji, na podstawie kolorów otoczenia tego piksela, w zależności od przyjętej metody resamplingu.



Rys. 9. Wizualizacja ortofotomapy w środowisku przeglądarki internetowej użytkownika

Użytkownik określa podstawowe parametry generowanego arkusza mapy tj. skala, współrzędne geodezyjne lewego górnego narożnika, szerokość i długość arkusza. W wyniku ortorektyfikacji powstaje kartometryczny obraz zapisany w formacie BMP na

serwerze aplikacji. Następnie plik ten jest kompresowany do postaci JPEG, wysyłany do użytkownika aplikacji i wizualizowany w oknie przeglądarki internetowej. (rys.9). W nagłówku okna przeglądarki internetowej wyświetlane są współrzędne terenowe punktu wskazanego kursorem na ortofotomapie przez użytkownika systemu oraz jego przesunięcie radialne określone dla błędu współrzędnej Z. Dla wybranego punktu wynosi ono 0.08m przy terenowej wielkości piksela zdjęcia $GSD = 0.20$ m.

5. PODSUMOWANIE

Prowadzone w Katedrze Fotogrametrii i Teledetekcji badania nad tworzeniem fotogrametrycznych aplikacji internetowych wpisują się w aktualny nurt wdrożeń technologicznych. Autorzy przedstawili przykład realizacji zadania budowy ortofotomapy przez Internet. Pomimo ograniczeń tj.: konieczność wizualizacji i processing jedynie fragmentu zdjęć, uproszczona metoda budowy Numerycznego Modelu Terenu oraz brak możliwości obserwacji stereoskopowych trudno nie znaleźć zalet proponowanego rozwiązania. Największym atutem prezentowanej aplikacji jest brak konieczności instalowania na komputerze użytkownika specjalistycznego oprogramowania fotogrametrycznego. Jedyny wymóg to instalacja JVM. Aplikacja jest w pełni funkcjonalna w każdym systemie operacyjny przy minimalnych wymaganiach sprzętowych. Dzięki jej wykorzystaniu użytkownicy mają nieograniczony dostęp do zasobów serwera zależny jedynie od parametrów serwera. Proponowane rozwiązanie może być wdrożone w tworzonych systemach teleinformatycznych dając możliwość łatwego, interaktywnego publikowania opracowań fotogrametrycznych.

6. LITERATURA

- Drap P., Grussenmeyer P. 2001: Possibilities and limits of web photogrammetry: experiences with the ARPENTEUR web based tool. *Photogrammetric Week '01* /Dieter Fritsch/Rudolf Spiller (Eds).-Heidelberg: Wichmann, s. 275-282. ISBN 3-87907-359-7
- Heipke Ch., 2005: Web-Based Photogrammetric Image and Geospatial Services – an Overview *Photogrammetric Week 05*, Wichmann Verlag, Heidelberg p 157-164
- Paszotta Z., 2000. *Method of Exterior Orientation of Aerial Images by Matching Orthoimages*. Wydawnictwo UWM, Olsztyn, ISSN 1509-3018 ISBN 83-88343-79-3
- Paszotta Z. 2003: Exterior orientation and other photogrammetric solutions through the Internet. *Automatic Georeferencing of Aerial Images by Means of Topographic Database Information*. Aalborg University, s. 25-32. ISBN 87-90893-47-6, ISSN: 1397-3169
- Paszotta Z., Szumiło M., 2006. Application of a statistical test of hypothesis to check DTM accuracy over the Internet. *EuroSDR Official Publication* No 51.
- Paszotta Z., Szumiło M., 2010. A web-based approach for online digital terrain model and orthoimage generation. ISPRS WG IV5/ 1st International Workshop on pervasive Web Mapping , Geoprocessing and Services, 26-27 August 2010 Como, Italy
- Peng Z., Tsou M., 2003. *Internet GIS, Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Networks*. John Wiley & Sons, Inc

GENERATION OF ORTHOPHOTOMAP FROM DIGITAL PHOTOGRAMMETRIC IMAGES VIA INTERNET

KEY WORDS: orthophoto, orthomap, databases, Internet application, algorithms, Internet solution

Summary

The process of creating orthophotomaps from aerial photographs is complex and requiring the specialist software on the digital photogrammetric station. However, it turns out that this process with certain limitations can be executed by the Internet. Even, if there is a simplified solution, its didactic and functional advantages are great. These advantages induced the authors to work out the appropriate method of the realization of such a problem. In the article the solution of generating orthophotomap via the Internet is described. On account of the availability of the presented solution the author decided to use the client-server architecture of the application, in which the Internet browser of the user is a client (a program accesses a remote service on another computer by network). Applications of this type are being called web applications.

The mathematical foundations of construction of orthoimage as a function are described. The algorithm of orthoimage generation is presented with the aid of UML diagram. The terrain coordinates of points, which are being used to create digital terrain model (DTM), are measured and calculated in the automatic way. However, the area of the orthophotomap is small and limited by dimension of the window of the Internet browser. Thus, in the process of orthoimage creation via the Internet the authors assumed a simplified DTM in the form of the plane. Orthorectification is made on the server side but the grid coordinate system is superimposed on the orthophotomap by means of applet on the client side. Because of resampling, the created orthoimage has a worse quality than a source image. Therefore, the source photograph with the system of coordinates is also presented. In both cases the image and terrain coordinates of point shown by the cursor are calculated and printed in the header of the Internet browser window. The described application works on the Department of Photogrammetry and Remote Sensing UWM server <http://www.kfit.uwm.edu.pl/zp1/or.html>

Dane autorów:

Dr hab. Zygmunt Paszotta, prof. UWM
e-mail: paszotta@uwm.edu.pl
telefon: 089 523 47 12
fax: 89 523 32 10

Mgr inż. Małgorzata Szumiło
e-mail: malgorzata.szumilo@uwm.edu.pl
telefon: 089 523 45 29
fax: 89 523 32 10