Nowy kierunek rozwoju fotogrametrii

Fotogrametria cyfrowa

Romuald Kaczyński

Fotomapy oraz mapy kreskowe opracowywane metodami fotogrametrii analogowej na podstawie zdjęć lotniczych są stosowane w Polsce od wielu lat. Natomiast od kilku lat opracowywane są również w kraju mapy numeryczne. Opracowania takie wykonuje się na autografach analogowych, wspomaganych komputerowo (z odpowiednim oprogramowaniem) oraz na autografach analitycznych (np. Planicomp ZEISS z oprogramowaniem PHOCUS / IGiK/). Analogowe i analityczne systemy do opracowań zdjęć lotniczych pozwalają obecnie na opracowania tradycyjnych map kreskowych, map numerycznych rejestrowanych na nośnikach magnetycznych (lub w pamięci komputera) oraz Numerycznego Modelu Terenu (NMT). Nadzwyczajne bogactwo informacji zawartej na zdjęciach lotniczych jest wykorzystywane jednak w wymienionych wyżej opracowaniach jedynie w około 25%. Pozostałe informacje zawarte na zdjęciach lotniczych – które mogłyby służyć różnym specjalistom – nie są wykorzystane.

Chociaż w dalszym ciągu pracuje na świecie około 5 tysięcy autografów analogowych, wspomaganych częściowo komputerami, to od kilku lat zaczyna się rozwijać fotogrametria cyfrowa, w ramach której możemy wyróżnić:

- cyfrową fotogrametrię satelitarną, dla której źródłowymi danymi są jednoobrazowe lub stereoskopowe zobrazowania cyfrowe i zdjęcia z pułapu satelitarnego (np. SPOT P stereo, MOMS 02, KOSMOS: KVR-1000, KFA-1000, KTE 200);
- cyfrową fotogrametrię lotniczą, w której źródłowymi danymi są zdjęcia na błonach fotograficznych.

Wysoka jakość zdjęć lotniczych wykonywanych współczesnymi kamerami z kompensacją rozmazu obrazu oraz z rejestracją współrzędnych środka rzutów za pomocą pokładowego systemu GPS pozwala na ich skanowanie pikselem o wymiarach od 7,5 μm x 7,5 μm do 50 μm x 50 μm z dokładnością ±1 μm. Skanowanie zamienia półtonowy lub barwny obraz na obraz cyfrowy (8- lub 24-bitowy), który jest następnie opracowywany na komputerze za pomocą specjalistycznego oprogramowania fotogrametrycznego.

Do profesjonalnych systemów używanych produkcyjnie do cyfrowych opracowań fotogrametrycznych można w chwili obecnej zaliczyć:

- system Helava-Leica;
- stację roboczą ImageStation 6487 firmy Intergraph, USA;
- oprogramowanie PRI^{2}SM i VI^{2}STA firmy International Imaging Systems (I^{2}S), USA;
- Orthomax i Imagine firm Autometric i Erdas, USA;
- PHODIS firmy ZEISS, Niemcy;
- EUDICORT firmy EUROSENSE oparty na systemie 600 I^{2}S, Belgia.

W wyniku cyfrowych opracowań powstać mogą następujące produkty zarejestrowane w postaci cyfrowej:

- ortofotografia, czyli zdjęcie terenu przetworzone na rzut ortogonalny, w którym usunięto zniekształcenia spowodowane geometrią wykonanych zdjęć lotniczych lub satelitarnych oraz deniwelacją terenu;
- ortofotomapa powstała w wyniku połączenia ortofotografii z naniesioną siatką układu współrzędnych, opisem pozaramkowym, legendą oraz warstwicami;
- Numeryczny Model rzeźby Terenu (NMT);
- Numeryczny Model pokrycia Terenu wraz z zabudowaniami, wierzchołkami koron drzew itp.;
- warstwice;
- przestrzenna ortofotomapa lub ortofotografia;
- topograficzne opracowania graficzne w postaci wektorowej;
- widoki perspektywiczne terenu;
- wyniki aerotriangulacji cyfrowej;
- przekroje podłużne i poprzeczne;
- spadki terenu i ich ekspozycja.

Generowanie tych danych w postaci cyfrowej wymaga odpowiedniego sprzętu komputerowego, pracującego na ogół w systemie operacyjnym UNIX, profesjonalnego oprogramowania oraz specjalistów, którzy znają technologię. Dane będące wynikiem opracowania mogą być następnie wykorzystane przez operatorów na prostszych systemach komputerowych, nawet typu PC, z odpowiednim oprogramowaniem pozwalającym na wyświetlanie obrazów rastrowych oraz plików wektorowych. W ten sposób specjaliści z innych dziedzin mogą wykorzystać wspomniane produkty cyfrowe w realizacji swoich projektów.
Poniżej wymieniono niektóre zalety produktów fotogrametrii cyfrowej:

- ortofotomapa jest cyfrowym obrazem rastrowym w jednolitej skali, bez zniekształceń spowodowanych dystorsją obiektywu kamery, jej nachyleniem, deniwelacją terenu, różnicami tonalnymi spowodowanymi różnym oświetleniem terenu;
- całą ortofotografię (ortofotomapę) lub jej wycinek można pomniejszać lub powiększać do dowolnej skali (bez znacznej straty informacji) oraz generalizacji;
- NMT może być generowany praktycznie automatycznie metodą korelacji z dowolnymi wybranymi przez użytkownika interwałami w kierunku osi X i Y;
- NMT pozwala na przestrzenną obserwcję terenu oraz korekcję i pomiary na cyfrowym modelu stereoskopowym;
- ortofotografia i NMT pozwalają na generowanie w czasie rzeczywistym widoków perspektywicznych terenu;
- ortofotografię można uzupełnić danymi wektorowymi rysując bezpośrednio na obrazie lub poprzez nałożenie zeskanowanych lub zdigitalizowanych opracowań archiwalnych;
- połączenie ortofotografii cyfrowej z mapą archiwalną pozwala na aktualizację mapy;
- pomiar współrzędnych XYZ dowolnego punktu jest szybki, a jego dokładność nie zależy od położenia punktu.

W Stanach Zjednoczonych, kraju wiodącym w technice opracowań cyfrowych, USGS rozpoczął realizację programu Digital Ortho Quarter Quad (DOQQ) mającego za zadanie opracowanie ortofotografii cyfrowej całego USA. Zdjęcia lotnicze wykonane zostaną kamerami z systemem GPS i z kompensacją rozmazu obrazu tak, aby piksel miał wymiary 1 m x 1 m, a dokładność otrzymanej ortofotomapy cyfrowej odpowiadała mapie w skali 1:12 000. Podobne programy rozpoczęto m.in. w Paragwaju i Rosji.

W Polsce wykorzystanie ortofotografii dla celów katastru proponuje m.in. prof. Błachut [1]. Planowane jest również wykonanie barwnych zdjęć lotniczych obszaru kraju w skali około 1:26 000 w ramach programu PHARE.

W 1997 roku planowane jest przez USA umieszczenie na orbicie satelity ze skanerem do pozyskiwania zobrazowań stereoskopowych pikselem o wymiarze 1 m x 1 m. Te nowej generacji dane pozwolą na cyfrowe opracowania map topograficznych i ortofotomap w skalach do 1:10 000 oraz Numerycznego Modelu Terenu o wysokiej dokładności. Stosowanie zdjęć lotniczych będzie wówczas miało sens jedynie do opracowań map w skalach 1:5 000 i większych.

Jest już w Polsce możliwe opracowanie obrazowych map satelitarnych w skalach 1:25 000 i mniejszych. Mogą one być przydatne m.in. w planowaniu przestrzennym.

Satelitarną obrazową mapę Warszawy, w skali 1:25 000, autor opracował w IGiK w 1994 r. metodą cyfrowej analizy obrazów w systemie ImageStation 6487 z oprogramowaniem ISI-2 firmy Intergraph. Jako dane źródłowe wykorzystane zostały wielospektralne obrazy cyfrowe HRV XS z satelity SPOT wykonane w lipcu 1992 r. oraz satelitarne zdjęcie panchromatyczne na błonie fotograficznej wykonane we wrześniu 1992 r. kamerą panoramiczną KVR-1000, przez rosyjskiego satelitę czwartej generacji z serii KOSMOS, w skali około 1:220 000. Terenowa zdolność rozdzielcza (wielkość piksela) zobrazowań wielospektralnych XS z satelity SPOT wynosi 20 m x 20 m, a zdjęcia panchromatycznego około 1-2 m.

Zdjęcie panchromatyczne KVR-1000 zostało przetworzone do postaci cyfrowej za pomocą P-1700 Optronics w Instytucie Geodezji i Kartografii. Użyto apertury o wymiarze 25 μm x 25 μm kodując zakres gęstości optycznej obrazu w przedziale od 0 do 255 (obraz 8-bitowy). Zeskanowany i zarejestrowany na CCT obraz zawierał również szumy, które wyeliminowano poprzez zastosowanie filtracji obrazu cyfrowego w przestrzeni Fourierowskiej i spektralnej. Obraz ten następnie przetworzono do odwzorowania Gaussa-Krügera i układu współrzędnych prostokątnych 1942 na podstawie około 170 równomiernie rozmieszczonych i zidentyfikowanych punktów sytuacyjnych na obrazie i mapie topograficznej. Zastosowano transformację afiniczną i interpolację bilinearną otrzymując dokładność wewnętrzną przetworzenia poniżej 1 piksela (poniżej 5 m w terenie).

Do tak przetworzonego obrazu panchromatycznego dostosowano zobrazowania wielospektralne z satelity SPOT, czyli kanały XS1+XS2 i XS3. Dokładność dopasowania obrazów wielospektralnych do zrektyfikowanego obrazu KVR-1000 wynosiła 0,5 piksela, tj. poniżej 3 m w terenie. Tak więc obraz wielospektralny został powiększony w procesie przepróbkowania (resamplingu) metodą interpolacji bilinearnej około 3,4 razy.

Zbiór składający się z trzech kanałów spektralnych poddano następnie wzmocnieniu kontrastu obrazu, tak aby otrzymać kompozycję barwną w barwach umownych. Metodą cyfrową skonstruowano również elementy obrazowe legendy mapy obejmujące poniższe kategorie pokrycia terenu:

- zakłady przemysłowe,
- zabudowa zwarta,
- zabudowa luźna,
- nowe osiedla,
- lasy liściaste i parki,
- lasy iglaste,
- ogrody działkowe,
- łąki,
- pola uprawne,
- gleby odkryte,
- rzeki,
- zbiorniki wodne,
- lotnisko,
- linie kolejowe.

Opracowana mapa cyfrowa zawiera również nazwy głównych ulic, siatkę kilometrową w układzie współrzędnych prostokątnych

Cyfrowa satelitarna mapa obrazowa śródmieścia Warszawy z nałożona treścią topograficzną z mapy w skali 1:50 000. Mapa topograficzna została zaktualizowana metodą cyfrową na Micro Station Intergraph

płaskich 1942 oraz opis pozaramkowy.
Dokładność kartometryczną opracowanej mapy sprawdzono na podstawie porównania współrzędnych ponad 80 punktów sytuacyjnych, pomierzonych na mapie topograficznej w skali 1:25 000 i tych samych punktów pomierzonych na obrazie cyfrowym. Przyjęto „bezbłędność" danych pomierzonych na mapie topograficznej. Otrzymano błąd średni położenia punktu sytuacyjnego mp < ±8 m.
Z wygenerowanego obrazu cyfrowego mapy wycięto część rejonu Warszawy w celu przygotowania do druku offsetowego w skali 1:25 000. Przygotowanie do druku i sam druk na maszynie firmy Rolland przeprowadzono w Belgii, w firmie EUROSENSE.

Stworzona według wyżej opisanej technologii barwna mapa satelitarna Warszawy w skali 1:25 000 jest pierwszą wydrukowaną mapą satelitarną w tej skali w Polsce i jedną z nielicznych w Europie.
Mapa ta w postaci cyfrowej, jak również w postaci wydawnictwa znajduje się w sprzedaży detalicznej, m.in. w Instytucie Geodezji i Kartografii w Warszawie.

Wycinek ortofotomapy rejonu Wieliczki opracowany cyfrowo na podstawie zdjęć lotniczych na stacji roboczej Image Station 6487 firmy Intergraph w IGiK

Objaśnienia użytych terminów:

■ Obraz 8-bitowy jest obrazem czarno-białym w przedziale gęstości optycznej od 0 do 225 (czyli 2^8 co daje 256 odcieni szarości, gdzie 0 jest czystym czarnym kolorem, a 255 – czystym białym).

■ Obraz 24-bitowy składa się z trzech obrazów 8-bitowych, z których każdy kodowany jest poprzez jeden z filtrów: niebieski, zielony, czerwony. W rezultacie jest to obraz barwny (2^{24} barw).

■ USGS – United States Geological Survey – agencja rządowa USA odpowiadająca za opracowywanie map topograficznych kraju.

■ Firmy w USA: Space Imaging, Eyeglass i Earth Watch opracowują skaner panchromatyczny przeznaczony do wykonywania cyfrowych zobrazowań stereoskopowych pikselem o wymiarach terenowych 1 m x 1 m z satelitów bezzałogowych.

■ Zobrazowanie wielospektralne wykonywane jest w wąskich przedziałach spektrum elektromagnetycznego poprzez filtry przepuszczające tylko dany wycinek, np. dla barw: zielonej i czerwonej oraz w bliskiej podczerwieni.
SPOT HRV XS wykonuje takie zobrazowania w trzech pasmach zwanych kanałami spektralnymi, a mianowicie:
XS 1 0,50 – 0,59 μm (długość fali światła zielonego);
XS 2 0,615 – 0,68 μm (długość fali światła czerwonego);
XS 3 0,79 – 0,89 μm (długość światła podczerwonego) pikselem o wymiarach 20 m x 20 m.

■ P-1700 Optronics jest urządzeniem analogowo-cyfrowym przeznaczonym do skanowania zdjęć satelitarnych i lotniczych. Można na nim również naświetlać na barwnej błonie filmowej obraz zarejestrowany w postaci cyfrowej.

■ CCT jest skrótem Computer Compatibile Tape (czyli magnetyczny nośnik informacji), na której można rejestrować cyfrowo obraz 8-, 16- lub 24-bitowy z gęstością zapisu 1600 lub 6250 BPI (bitów na cal). Obecnie używa się również innych taśm, np. QIC Data Cartridge 150 MB, 18 mm taśmę ExaByte i inne.

■ NMT może być tworzony automatycznie w wyniku autokorelacji, czyli poszukiwania najlepszej korelacji dwóch rejonów obrazu pochodzących z utworzenia tego samego punktu (piksela) odwzorowanego na stereogramie. Operację tę przeprowadza program komputerowy. Można go również tworzyć z warstwic lub na autografach obserwując stereoskopowo zdjęcia lotnicze.

■ Interpolacja bilinearna wykorzystuje wartości gęstości optycznych czterech sąsiednich pikseli tworząc w wyniku nową wartość optyczną.

■ Resampling zwany też przepróbkowaniem polega na zmianie wartości pikseli obrazu.

Literatura:

[1] T. J. Błachut *Dynamiczny system informacji o ziemi oparty na katastrze wielozadniowym*, Sekcja Fotogrametrii i Teledetekcji Komitetu Geodezji PAN, Kraków 1995.
[2] R. Kaczyński *Mapy cyfrowe ze zdjęć satelitarnych i lotniczych*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 3, Kraków 1995, s. 61-66.
[3] R. Kaczyński *Obrazowa mapa satelitarna Warszawy w skali 1:25 000*, Prace IGiK, tom XLI, z. 89, 1994, s. 141-146.
[4] R. Kaczyński, St. Dąbrowski *Ortofotomapa cyfrowa i Numeryczny Model Terenu dla projektowania autostrad*, Referat na XLI Konferencję Naukową „Krynica 95".
[5] M. Krzyworzeka, Z. Węgrzyn *Wirtualne mapy wektorowo-ortofotograficzne dla prac projektowych*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. 3, Kraków 1995, s. 67-76.

Na stronie obok: cyfrowa obrazowa mapa satelitarna śródmieścia Warszawy, powstała z połączonych zobrazowań z satelity SPOT HRV XS i zdjęcia satelitarnego KVR-1000, opracowana za pomocą systemów cyfrowych analizy obrazów VI²STA firmy I²S i Image Station ISI-2 firmy Intergraph, w IGiK przez autora w 1994 r.