

WYMAGANIA WOBEC DANYCH ŹRÓDŁOWYCH DLA GENEROWANIA TRUE-ORTHO

REQUIREMENTS TO SOURCE DATA FOR TRUE-ORTHO GENERATION

Zdzisław Kurczyński, Ryszard Preuss

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: ortofotomapa, true-ortho, martwe pola, mapa widoczności, NMPT, dopasowanie obrazów, wykrywanie budynków, LIDAR

STRESZCZENIE: Ortofotomapa jest obecnie najbardziej popularnym produktem kartograficznym. W obszarze zabudowanym obrazy budynków są jednak przesunięte zgodnie z rzutem środkowym, a część terenu jest zakryta (tzw. „martwe pola”). Tej wady nie ma „prawdziwe” orto (true-ortho). Do jego wykonania konieczny jest jednak numeryczny model pokrycia terenu (NMPT) z przestrzennymi modelami budynków. W artykule podjęto dyskusję uwarunkowań technicznych generowania true-ortho. Rozważane są szczególne wymagania do wykonawstwa zdjęć lotniczych, generowania brył budynków z ręcznej stereodigitalizacji modelu zbudowanego ze zdjęć, z automatycznego dopasowania obrazów, oraz danych skaningu laserowego (LIDAR). Badany jest wpływ danych źródłowych na jakość wynikowego true-ortho, oraz koszt jego wytworzenia. Prezentowane są wstępne wyniki. Prace są kontynuowane.

1. TRUE-ORTHO – DEFINICJA. PODSTAWOWE UWARUNKOWANIA TECHNICZNE I TECHNOLOGICZNE GENEROWANIA TRUE-ORTHO

Na pionowym zdjęciu lotniczym (i praktycznie na zdjęciu prawie pionowym), mającym geometrię rzutu środkowego powierzchni terenu na płaszczyznę tłową kamery, obrazy punktów terenowych położonych powyżej lub poniżej średniej wysokości terenu, doznają radialnego przesunięcia, o wartość w miarach terenowych równą:

$$\Delta R = \frac{h r M_z}{H} = \frac{h r}{c_k} \quad (1)$$

gdzie: ΔR - radialne przesunięcie obrazu punktu spowodowane deniwelacją terenu (w miarach terenowych),
 h - wysokość obiektu względem powierzchni terenu,
 r - odległość punktu od nadirowego zdjęcia,
 H - wysokość lotu,
 c_k - odległość obrazowa kamery,
 M_z - mianownik skali zdjęcia.

W dobie fotogrametrii cyfrowej najpopularniejszym produktem kartograficznym stała się ortofotomapa, będąca przetworzeniem zdjęcia z geometrii rzutu środkowego na rzut ortogonalny. W procesie ortorektyfikacji usunięte zostają przesunięcia obrazów spowodowane deniwelacjami terenu. Kluczową w tym procesie jest informacja o ukształtowaniu terenu w postaci numerycznego modelu terenu (NMT).

Wytworzony produkt – cyfrowa ortofotomapa – stanowi mapę nie poddaną procesowi interpretacji i łączy zalety tradycyjnej mapy (geometria) i zasób treści właściwy zdjęciu. Produkt taki ma georeferencję, może z łatwością być łączony z mapą wektorową, czy stanowić tło dla innych warstw w bazach GIS, oraz wyników analiz GIS-owych. Atrakcyjność tego produktu wzmacnia dodatkowo relatywnie niski jego koszt, dzięki wysocej zautomatyzowanemu procesowi wytwarzania.

Cyfrowa ortofotomapa ma jednak istotny mankament: prawidłową lokalizację mają obiekty o wysokości opisywanej przez NMT, a więc sama powierzchnia terenu i obiekty płaskie na niej położone. Nie można tego powiedzieć o obiektach „wystających” ponad powierzchnię terenu, jak budynki, roślinność, mosty, wiadukty i inne obiekty antropogeniczne, leżące ponad powierzchnią terenu. Obrazy tych obiektów pozostają przesunięte, zgodnie z rzutem środkowym źródłowego zdjęcia. Efekt ten jest widoczny w obszarze zabudowanym, szczególnie z zabudową wielokondygnacyjną, gdzie tylko przyziemia budynków są odwzorowane prawidłowo (jako należące na powierzchni terenu opisywanej przez NMT). Obrazy dachów są przesunięte (zgodnie z rzutem środkowym) o wartość jak we wzorze (1), oraz widoczne są dodatkowo fasady budynków. Ten niekorzystny efekt wzmacnia dodatkowo brak widoczności fragmentów powierzchni terenu, przesłoniętych przez budynki – tzw. martwych pól. W takim obszarze ortofotomapa nie może prawidłowo przystawać do mapy katastralnej, zawierającej obrysy budynków, czy innych produktów kartometrycznych. Utrudnione są pomiary, czy analizy zmian czasowych. Taka ortofotomapa w obszarze zabudowanym nie może również być źródłem opracowania mapy wektorowej, tworzonej poprzez wektoryzację ekranową jej obrazu, co stanowi obecnie podstawową technikę tworzenia takich map.

Zgodnie z zależnością (1) błędy ortofoto są tym większe, im większa jest wysokość obiektu (np. budynku), oraz im dalej jest on zobrazowany od środka zdjęcia. Efekt ten jest bardziej widoczny na zdjęciach wielkoskalowych, ma tu znaczenie również kamera: błędy są większe (bardziej widoczne) na zdjęciach szerokokątnych niż normalnokątnych.

Produktem pozbawionym powyższych wad jest true-ortho, określane również jako „prawdziwe orto”, czy „rzeczywiste” orto. True-ortho jest rzutem ortogonalnym wszystkich obiektów zarejestrowanych na zdjęciu, zarówno powierzchni topograficznej terenu, jak i obiektów „wystających” ponad tę powierzchnię, jak roślinność, budynki, mosty i inne obiekty antropogeniczne, nie włączone do NMT. W praktyce zawęża się zwykle kategorie obiektów ortorektyfikowanych – poza powierzchnią terenu – do budynków i mostów.

Warunkiem wygenerowania true-ortho jest dysponowanie przestrzennym zamodelowaniem brył budynków i ewentualnych innych przestrzennych obiektów. Oznacza to, że tak jak dla generowania ortofotomapy kluczowym jest NMT, tak dla generowania true-ortho kluczowym jest numeryczny model pokrycia terenu (NMPT).

Przy takiej projekcji obraz dachu budynku zostanie przesunięty we właściwe, ortogonalne położenie. Sama ortoprojekcja z wykorzystaniem NMPT nie likwiduje problemu „martwych pól”. Jeżeli takie obszary w procesie przetwarzania nie zostały wykryte, to w tych obszarach pozostałby „stara”, już istniejąca treść zdjęcia, tzw. „efekt

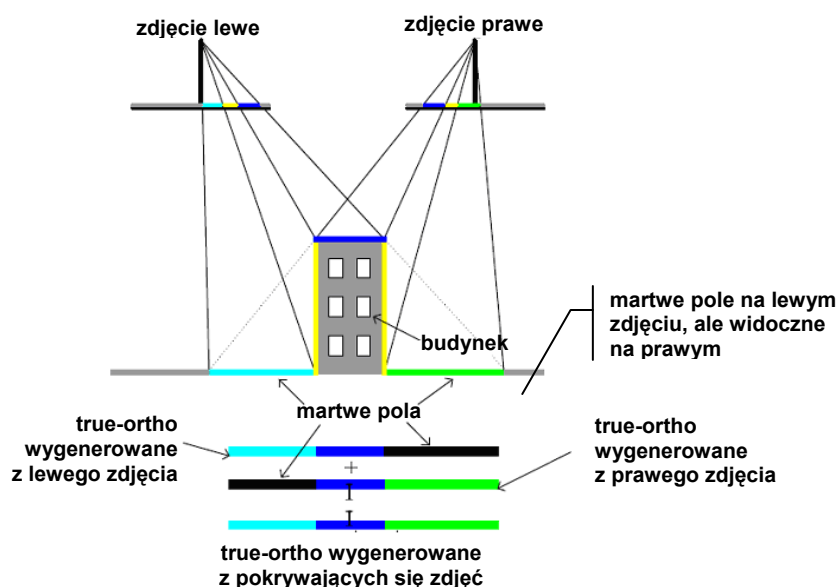
duchów”. W przypadku martwego pola, powodowanego przez budynki, dałoby to podwójny obraz dachu: właściwy ortogonalny, oraz drugi, taki sam, w miejscu martwego pola.

Z powyższego wynika, że kluczowym dla uzyskania poprawnego true-ortho jest:

- wykrycie i zamarkowanie obszarów martwych pól,
- wypełnienie obszarów martwych pól treścią obrazową.

Wykrycie martwych pól na zdjęciu jest możliwe na podstawie pojedynczego zdjęcia o znanych elementach orientacji zewnętrznej oraz NMPT, poprzez analizę linii widoczności ze środka rzutów zdjęcia do punktów obiektu zawartego na NMPT. W wyniku takiej analizy powstaje „mapa widoczności”, na której niewidoczne elementy w martwych polach są specjalnie kodowane, np. maską o zadanym kolorze.

W literaturze można spotkać pogląd, że true-ortho jest to ortofoto generowane z wykorzystaniem NMPT, w którym obszary martwych pól wypełniono maską o określonej nieprzezroczystej barwie (Nielsen, 2004). Częściej jednak, pod pojęciem true-ortho, rozumie się orto z obszarami martwych pól wypełnionymi treścią obrazową, wziętą z sąsiednich zdjęć. Ideowo ilustruje to rys. 1.



Rys. 1. Projektacja true-ortho i pokrycie martwych pól z nakładających się zdjęć

W praktyce spełnienie tego postulatu może oznaczać konieczność wypełnienia konkretnego martwego pola z więcej niż jednego sąsiedniego zdjęcia. Zwykle generuje się ortozdjęcia ze wszystkich zdjęć pokrywających interesujący obszar. Każde ortozdjęcie ma zaznaczone (specjalnie zakodowane i zamarkowane) martwe pola. Poprzez połączenie wszystkich pokrywających się ortozdjęć wypełnia się cały obszar treścią obrazową.

Wystarczy że dane martwe pole będzie widoczne choćby na jednym z pokrywających się zdjęć. Wymaga to jednak:

- wyboru źródłowego zdjęcia (jeśli dany fragment martwego pola jest widoczny na więcej niż jednym zdjęciu),
- określenie linii łączenia (linii mozaikowania),
- wyrównania tonalnego łączonych (mozaikowanych) ortozdjęć,
- „rozmycia” linii łączenia, dla wyeliminowania szczytkowe różnic tonalnych na linii mozaikowania.

Problem mozaikowania ortozdjęć występuje również na „tradycyjnym” ortofoto, ale w przypadku true-ortho problem ten dotyczy dodatkowo każdego martwego pola, co oznacza nieporównywalny wzrost mozaikowanych „kawałków” zdjęć. Konieczne jest zatem sprawnie działające oprogramowanie, realizujące ten proces.

Przedstawiony pokrótce proces generowania true-ortho pokazuje złożoność tego procesu. Szczególnie znaczenia dla jakości końcowego produktu ma:

1. Właściwe zaplanowanie zdjęć lotniczych dla wyeliminowania martwych pól. Wymagane są tu pokrycia zdjęć znacznie większe niż dla typowych potrzeb.
2. Jakość NMPT. Ważne jest tu źródło danych wysokościowych do budowy NMPT, oraz forma i format wynikowego NMPT, istotnie wpływających na jakość i koszt generowania true-ortho.
3. Wykorzystana technologia generowania true-ortho oraz użyte oprogramowanie. Stopień automatyzacji poszczególnych etapów, a szczególnie budowa NMPT, decydują o kosztach, ale i jakości true-ortho. Mówiąc o jakości true-ortho ma się tu na uwadze dokładność geometryczną, ale w jeszcze większym stopniu, efekt wizualny.

2. OKREŚLENIE WYMAGAŃ I OCENA RÓŻNEGO MODELOWANIA BUDYNKÓW POD KĄTEM POTRZEB WYTWARZANIA TRUE-ORTHO

Istnieje duża różnorodność kształtów brył budynków, a w tym dachów budynków, oraz ewentualnie innych obiektów antropogenicznych, które muszą być zamodelowane dla generowania true-ortho. Rodzą się oczywiście pytania o:

- szczegółowość modelowania brył,
- dokładność modelowania brył,
- strukturę geometryczną modelowania brył (model wektorowy, TIN, GRID),
- źródło danych wysokościowych.

Wymodelowane bryły budynków łączy się z NMT, którego struktura może być różnorodna (punkty masowe, pojedyncze pikiety, linie nieciągłości, inne). W tym kontekście rozróżnia się różne modele wysokości, w tym różne modele pokrycia terenu (NMPT), określane symbolicznie 2.5D, 3D, a nawet 4D.

W modelu 2.5D każdy punkt XY ma tylko jedną wartość Z. Przy więcej niż jednej powierzchni, o różnych wysokościach, przyjmuje się zwykle wysokość powierzchni najwyższej położonej. W modelach 3D każdy punkt XY może mieć kilka wartości Z. W modelach 4D, dodatkowym parametrem jest czas.

Źródłem danych wysokościowych dla modelowania budynków może być:

1. Manualny pomiar stereoskopowy na stacji fotogrametrycznej (stereodigitalizacja), czego wynikiem jest zwykle wektorowy, „szkieletowy” model (określany również jako „drutowy”). Jest to najdokładniejsze i najlepsze modelowanie z punktu widzenia potrzeb generowania true-ortho. Jest to jednak proces czasochłonny.
2. Automatyczny pomiar na stacji fotogrametrycznej, poprzez dopasowanie obrazów (*image matching*). W wyniku uzyskuje się „chmurę punktów” XYZ, w strukturze GRID lub TIN, reprezentujących kształt dachów budynków i innych obiektów. W kontekście modelowania brył budynków dla generowania true-ortho brak jest bezpośrednich krawędzi brył, w tym obrysu dachów i linii załamań płaskich płatów, oddających przestrzenną formę dachu. Problemem jest również bardzo duża objętość danych pomiarowych.
3. Lotniczy skaningu laserowy (LIDAR), dający „chmurę” punktów XYZ, reprezentujących kształt dachów budynków i innych obiektów. Jest to więc forma danych zbliżona do automatycznego pomiaru fotogrametrycznego. Dane skaningu laserowego mają podobne ograniczenia jak wynik dopasowania obrazów.

W kontekście modelowania budynków dla generowania true-ortho zaletą danych skaningu laserowego jest częściowa penetracja promienia laserowego przez roślinność i możliwość rejestracji więcej niż jednego odbicia („echa”) danego impulsu laserowego. Zwykle rejestrowane jest pierwsze i ostatnie odbicie, czasami również pośrednie odbicia. Dla obszaru pokrytego roślinnością oznacza to możliwość rozróżnienia koron drzew od powierzchni gruntu.

Istotne ograniczenia co do sposobu modelowania budynków może narzucać oprogramowanie do generowania true-ortho. Oprogramowanie dedykowane „zwykłemu” orto nie radzi sobie z modelem typu 3D (bo NMT dla każdego punktu XY musi mieć z definicji tylko jedną wysokość Z).

Obecnie trwają w światowych fotogrametrycznych ośrodkach naukowo-badawczych intensywne prace nad automatyczną ekstrakcją brył budynków z danych skaningu laserowego (LIDAR) i danych z automatycznego dopasowania obrazów. Algorytmy automatycznej detekcji budynków z chmury punktów (otrzymanej z danych lidarowych czy dopasowania obrazów) mogą być wspomagane dodatkowymi źródłami danych. Najczęściej mają tu zastosowanie:

1. Wektorowe obrysy przyziemi budynków importowane z istniejących opracowań mapowych (np. katastralnych). Takie obrysy pozwalają „wyciąć” z chmury punktów tylko te przynależne do dachu budynku. Na takim ograniczonym zbiorze punktów łatwiej jest automatycznie modelować kształt dachu.
2. Obrazowanie wielospektralne z podczerwienią włącznie – dające kompozycję CIR. Na takich danych łatwo jest wyróżnić roślinność i wyeliminować z chmury punktów te przynależne do roślinności. W automatycznym procesie ułatwia to zadanie określenie współczynnika roślinności NDVI i rozróżnienie na tej podstawie zieleni od nie-zieleni. Taki proces „czyszczenia” chmury punktów pozwala wyeliminować zakłócenia kształtu budynków przez blisko położone korony drzew, które stanowią typowy problem w obszarach o niższej zabudowie.

3. OKREŚLENIE WARUNKÓW WYKONAWSTWA ZDJĘĆ SPECYFICZNYCH DLA POTRZEB TWORZENIA TRUE-ORTHO

True-ortho prawidłowo odwzorowuje wszystkie obiekty przestrzenne, zamodelowane przez NMPT, likwidując główną wadę „zwykłego” ortofoto. Pozostaje jednak problem „martwych pól”, np. przesunięcie obrazu dachu budynku w prawidłowe (tj. ortogonalne) położenie pozostawia „pustą dziurę” na ortozdjęciu. Ubytek ten można „załatać” wkopiowując zasłoniętą treść z innego ortozdjęcia, powstałego z przetworzenia zdjęcia na którym treść ta jest widoczna. Taka jest istota generowania true-ortho. Ilustruje to rys. 1.

Powstaje zasadnicze pytanie: jak wykonać zdjęcia aby powyższy proces mógł być przeprowadzony skutecznie. Kryterium tej „skuteczności” jest proste: wynikowe true-ortho nie powinno zawierać pozostałości martwych pól. Wyobraźmy sobie najprostszy przypadek: wysoki, „punktowy” budynek. Dla wytworzenia true-ortho takiego obiektu konieczne będą zdjęcia odwzorowujące powierzchnię gruntu wokół budynku ze wszystkich jego stron. Przekładając ten warunek na pokrycie zdjęć lotniczych, dostępne muszą być zdjęcia o podwójnym pokryciu we wszystkich kierunkach od przetwarzanego budynku. To uproszczone rozumowanie prowadzi do wniosku: dla wygenerowania true-ortho konieczne są zdjęcia o pokryciu podłużnym i poprzecznym większym niż 50% - standardowo 60%.

Powyższy przykład wolnostojącego, „punktowego” budynku jest najprostszym z możliwych. Bliższa analiza problemu pokazuje, że w konkretnych przypadkach pokrycie podłużne $p=60\%$ i poprzeczne $q=60\%$ może okazać się niewystarczające dla wyeliminowania wszystkich martwych pól. Szczególnie wymagające (trudne) pod tym względem są „głębokie” podwórka między wysokimi budynkami, oraz wąskie ulice w strefach wysokiej zabudowy.

Na wielkość strefy martwych pól, a zatem i na możliwość ich eliminacji, oprócz samej wysokości obiektów, wpływ ma kilka parametrów geometrycznych zdjęć lotniczych:

1. Wpływ odległości obrazowej użytego obiektywu f , z powiązaniu z wysokością fotografowania (przy tej samej skali zdjęć).
2. Stosunkowo łatwo (i tanio) można zwiększyć pokrycie podłużne p zdjęć w szeregu. Jak to przekłada się na eliminację martwych pól?
3. Jak zwiększenie pokrycia poprzecznego q zdjęć przekłada się na eliminację martwych pól?

Pytania powyższe należy powiązać z charakterem zabudowy interesującego obszaru oraz kosztami.

Dla każdego przetwarzanego zdjęcia określana jest mapa widoczności, tj. mapa z zaznaczonymi strefami martwych pól. Obrazowo, mapa taka pokazuje strefy cienia rzucanego przez budynki przy oświetleniu terenu z punktu wykonania zdjęcia (tj. położenia kamery). Poprzez nałożenie map widoczności ze wszystkich zdjęć generuje się wynikową mapę widoczności, na której pozostają obszary martwych pól niewidoczne na żadnym ze zdjęć. Powierzchnia takich pozostających martwych pól jest miarą skuteczności danego projektu lotu i pozwala porównywać jakość różnych scenariuszy wykonania zdjęć.

Analiza martwych pól dla obszaru typowego dla centrum dużego miasta z przeważającą zabudową pięciokondygnacyjną i głębokimi podwórkami pozwala wyprowadzić kilka ważnych wniosków dotyczących projektowania zdjęć dla potrzeb generowania true-ortho (Nielsen, 2004):

1. Powierzchnia martwych pól rośnie wraz ze zmniejszaniem pokrycia zdjęć. Ma to związek szczególnie z poprzecznym pokryciem zdjęć.
2. Zwiększenie pokrycia podłużnego do $p=80\%$ nie daje istotnej poprawy (tj. zmniejszenia pow. martwych pól) – w porównaniu z $p=60\%$.
3. Duże pokrycie poprzeczne w połączeniu z kamerą szerokokątną ($q=60\%$) jest lepsze od kamery normalnokątnej i mniejszego pokrycia poprzecznego ($q=20\%$).
4. Rozkład powierzchniowy obszarów martwych pól pokazuje:
5. istotne zmniejszenie martwych pól wraz ze zwiększeniem pokrycia poprzecznego zdjęć do $q=60\%$,
6. przy tym samym pokryciu kamera normalnokątna daje zmniejszenie powierzchni martwych pól w porównaniu z kamerą szerokokątną,
7. W każdym przypadku użycie kamery normalnokątnej (i wyższej wysokości fotografowania) daje znacznie lepsze wyniki od użycia kamery szerokokątnej (przy tej samej skali zdjęć i tej samej liczbie zdjęć).
8. Zwiększenie pokrycia poprzecznego z kamerą szerokokątną daje lepsze rezultaty niż większa wysokość lotu z kamerą normalnokątną.

Podsumowanie:

1. Wykorzystanie standardowego pokrycia zdjęć ($p=60\%$ i $q=20\%$) pozostawia około 5% martwych pól w obszarze z zabudową śródmiejską.
2. Zwiększenie pokrycia poprzecznego do $q=60\%$ zmniejsza powierzchnię martwych pól do około 0.8% dla kamery szerokokątnej i około 0.1% dla kamery normalnokątnej.
3. Podobna analiza, ale dla niskiej zabudowy (teren podmiejski, zabudowa jednorodzinna) prowadzi do podobnych wniosków, z tą różnicą, że zmniejsza się istotnie obszar martwych pól. W takim przypadku do zaakceptowania jest scenariusz z $q=20\%$, dający poniżej 1% martwych pól.

Przy obrazowaniu obszaru kamerą cyfrową typu skaner elektrooptyczny, eliminacją martwych pól uzyskuje się obrazując obszar dwukrotnie, z prostopadłym kierunkiem szeregów.

4. ZAKRES PRAC EKSPERYMENTALNYCH

W Zakładzie Fotogrametrii, Teledetekcji i SIP rozpoczęto w zeszłym roku prace nad różnymi uwarunkowaniami technicznymi i ekonomicznymi tworzenia true-ortho. Prace te są realizowane w ramach projektu badawczego nt. „Badanie jakości true-ortho w aspekcie wykorzystywanych do jego generowania danych źródłowych”.

Wynikowe true-ortho postrzegane jest jako produkt o różnym zastosowaniu, głównie jednak jako źródłowy materiał dla tworzenia mapy wektorowej, lub bezpośrednie zasilanie baz danych, w technice wektoryzacji ortofotomapy (technologia monoplotingu). Jest to w kraju dominująca technika tworzenia komponentu wektorowego b.d. topograficznych. Technika ta nie sprawdza się jednak przy pozyskiwaniu obrysów budynków z powodu błędów „zwykłej” ortofotomapy. Stanowi to powód zainteresowania true-ortho. Takie postrzeganie true-ortho zakłada wysokie wymagania do jego jakości, szczególnie geometrycznej, a w konsekwencji do danych źródłowych determinujących tę jakość.

Zakłada się, że z powodu wysokich wymagań jakości, głównym źródłem modelowania brył budynków będzie manualna stereodigitalizacja modeli zbudowanych na fotogrametrycznej stacji cyfrowej. Przewiduje się również modelowanie budynków z automatycznego dopasowania obrazów (*image matching*) oraz z danych LIDAR, dla których opracowanie oparte na manualnej stereodigitalizacja będzie opracowaniem referencyjnym.

Głównym obszarem testowym na którym są wykonywane prace eksperymentalne jest obszar Wrocławia. Obszar ten jest pokryty:

- zdjęciami z kamery cyfrowej UltraCam-D, o pikselu 0.09 m, pokryciu podłużnym $p=70\%$, i poprzecznym $q=60\%$,
- danymi wysokościowymi z lotniczego skaningu laserowego Optech ALTM2050, pozyskanych z wysokości 1000 m, o pokryciu poprzecznym szeregów 30% i średniej gęstości punktów laserowych 3-4 p-ty/m²,
- obrysy budynków z bazy katastralnej.



Rys. 2. Fragmenty ortofotomap przedstawiające obszary testowe
– Wrocław, Stare Miasto

Dane te były pozyskane w 2006 r na zamówienie Urzędu Miasta Wrocław i zostały udostępnione dla realizacji projektu przez firmę Tele Atlas oraz francuską firmę FiC Conseil. Dla potrzeb projektu wytypowano 2 obszary ze Starego Miasta, charakteryzujące się bardzo gęstą zabudową, o złożonych bryłach budynków ze skomplikowanymi kształtami dachów. Na jednym z nich występuje dodatkowo zieleń miejska (rys. 2). Powyższe dane stanowią idealny zestaw danych źródłowych dla realizacji celu projektu.

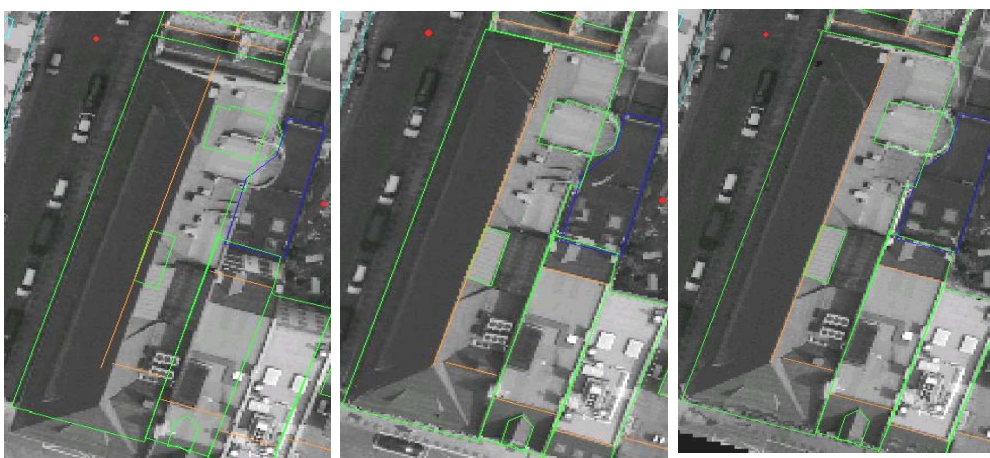
W pracach eksperymentalnych wykorzystywane jest różnorakie środowisko programowe. Z ważniejszych można wymienić:

- pakiet OrthoBox (OrthoMaster i OrthoVista) Inpho dla generowania true-ortho,
- fotogrametryczna stacja cyfrowa ImageStation (Intergraph) dla pozyskiwania danych wysokościowych do opracowania NMT oraz danych wektorowych do budowy brył budynków,
- SCOP++ dla opracowania i wizualizacji danych LIDAR,
- MATCH-T DSM (Inpho) dla generowania gęstego NMPT z dopasowania zdjęć (Biegała, 2008),

- Blding Detektor, Blding Modeller, Blding Generator – aplikacje do wykrywania i modelowania budynków z chmury punktów LIDAR, dostępne dzięki współpracy z Politechniką Wiedeńską (Gołębiowski, 2008).

5. WSTĘPNE WYNIKI I WNIOSKI

Rysunek 3 ilustruje fragmenty pierwszych otrzymanych true-ortho. Bazują one na NMPT ze stereodigitalizacji modelu na fotogrametrycznej stacji cyfrowej, z automatycznego dopasowania zdjęć oraz danych LIDAR.



Rys. 3. Fragmenty ortofotomap z pikselem 0,25 m, od lewej: „zwykła” ortofotomapa, true-ortho wygenerowana na bazie danych LIDAR, true-ortho wygenerowana na bazie danych z dopasowania obrazów. Na ortofotomapy wprojektowano prawidłowe obrysy budynków

Trwają prace nad oceną jakości i przydatności tak otrzymanych produktów, oraz porównaniem kosztów różnych ścieżek technologicznych generowania true-ortho.

Wstępne spostrzeżenia i wnioski:

1. Narzędzia do generowania true-ortho są dostępne od kilku-kilkunastu lat. W przeszłości mogło się wydawać, że true-ortho będzie wypierać „zwykłe” ortofoto. Tak się nie stało. Wstępne analizy techniczne i ekonomiczne poczynione również w ramach niniejszego projektu wskazują, że główną przyczyną takiego stanu są wysokie koszty wytwarzania.
2. True-ortho to wymagający i kosztowny produkt, którego jakość w znacznym stopniu zależy od danych początkowych. O kosztach decydują szczególnie wymagania do etapu wykonawstwa zdjęć, co je podraża ponad dwukrotnie, oraz do sposobu modelowania brył budynków. Modelowanie poprzez ręczną stereodigitalizację daje dobre efekty, ale jest czasochłonne.

3. Wynikiem tego tworzenie true-ortho jest uzasadnione tylko na ograniczonych obszarach, z wyraźnie określonym zapotrzebowaniem na taki produkt.
4. Nadzieją na wzrost znaczenia i popularności true-ortho jest automatyzacja procesów produkcyjnych, w tym modelowania budynków poprzez automatyczne dopasowanie obrazów, czy z danych LIDAR. W świecie trwają nad tym prace, są obiecujące wyniki, ale wciąż brak dostępnych na rynku rozwiązań i narzędzi gwarantujących dostateczną niezawodność procesów.
5. Funkcje true-ortho i zapotrzebowanie na nie, przewidywane w przyszłości, obecnie przejmują w części modele przestrzenne miast (*3D City Model*). To bardzo szybko rozwijający się segment rynku. Upowszechnienie modeli miast może stanowić szansę na rozwój true-ortho. Modele miast dają modele budynków, konieczne dla generowania true-ortho. Warunkiem tego jest jednak dalsza standaryzacja produkcji modeli miast 3D tak, aby można było bezpośrednio importować bryły budynków w formie przydatnej do generowania true-ortho.

6. LITERATURA

Biegała T., 2008. Badanie gęstości wyznaczanych punktów technologią automatycznej korelacji na podstawie zdjęć cyfrowych. Praca dyplomowa. Politechnika Warszawska

Gołębiowski K., 2008. Ekstrakcja budynków z danych LIDAR dla terenów miejskich. Praca dyplomowa. Politechnika Warszawska

Nielsen M., 2004. True orthophoto generation, Master thesis, Technical University of Denmark

REQUIREMENTS TO SOURCE DATA FOR TRUE-ORTHO GENERATION

KEY WORDS: orthophotomap, true-ortho, occluded area, visibility map, digital surface model (DSM), dense DSM, image matching, building extraction, LIDAR

SUMMARY: Digital orthophotomap is at present the most popular cartographic product. However, in built-up areas, images of buildings are displaced according to the central projection, and part of the terrain is invisible (the so-called "occluded area"). A true orthomap does not have such defects. The digital surface model (DSM) is however necessary, with spatial models of buildings to make it. The paper discusses technical aspects of the true-ortho generation. Special requirements relating to the execution of air photos are considered, along with the analysis of generating the building models based on the manual stereo digitalisation of the terrain model built on the basis of photos, automatic image matching, and laser data (LIDAR). The influence of source data on the quality of the outcome true-ortho, and the costs of its producing are reviewed. Preliminary results are presented. Works are continued.

Dr hab. inż. Zdzisław Kurczyński, prof. PW
e-mail: kurczyński@wp.pl
tel. +22 2347694

Dr inż. Ryszard Preuss
e-mail: ryszard.preuss@wp.pl
tel. +22 2347694