

Temat 3

Wykonanie fotoplanu malowidła ściennego (graffiti) z wykorzystaniem przekształcenia rzutowego

Dla wykonania fotoplanu obiektu płaskiego takiego jak, malowidło na płaskiej ścianie płaska elewacja budynku itp. można zastosować transformację rzutową, wyrażającą analityczną zależność pomiędzy homologicznymi punktami dwóch lub większej ilości płaszczyzn rzutowych. W naszym przypadku jedna z tych płaszczyzn to płaszczyzna obiektu natomiast druga to płaszczyzna zdjęcia. Dla zdjęć wykonanych aparatem cyfrowym przez płaszczyznę zdjęcia rozumiemy płaszczyznę matrycy CCD.

Transformacja rzutowa wyraża się wzorami:

$$X = (Ax + By + C) / (Dx + Ey + 1)$$

$$Y = (Fx + Gy + H) / (Dx + Ey + 1)$$

gdzie:

x, y - współrzędne na zdjęciu (w dowolnym układzie płaskim np. pikselowym),

A...H – osiem współczynników transformacji rzutowej

X, Y – współrzędne płaskie w płaszczyźnie obiektu (w układzie zdefiniowanym przez punkty dostosowania tzw. fotopunkty)

Z powyższych wzorów widać, że aby wyznaczyć współrzędne terenowe punktów obiektu należy znać osiem współczynników A...H oraz współrzędne tych punktów na obrazie obiektu (zdjęciu). Dla wyznaczenia współczynników A...H musimy rozwiązać układ ośmiu równań z ośmioma niewiadomymi. W równaniach tych niewiadomymi są współczynniki, a danymi współrzędne punktów homologicznych (odpowiadających sobie) na obu płaszczyznach. Stąd konieczna jest znajomość współrzędnych X, Y co najmniej czterech punktów dostosowania w płaszczyźnie obiektu. Współrzędne na zdjęciu (obrazie cyfrowym) mierzymy w układzie pikselowym z wykorzystaniem odpowiedniego programu.

Z wykorzystaniem współczynników transformacji rzutowej możemy przeliczać współrzędne z płaszczyzny zdjęcia na płaszczyznę obiektu – tworząc rysunek wektorowy konturów płaskiego malowidła albo utworzyć nowy obraz cyfrowy, przeliczając piksele obrazu cyfrowego zdjęcia na obraz cyfrowy fotoplanu tego malowidła (resampling obrazu). W tym ostatnim przypadku produktem jest cyfrowa mapa obiektu (fotoplan), której piksele terenowe (obiektywne) posiadają jednakową, najczęściej okrągłą wielkość. Z założenia wielkość piksela obiektywego fotomapy powinna być w przybliżeniu równa średniemu pikselowi terenowemu (obiektywemu) oryginalnego zdjęcia.

Transformacja rzutowa jest rozwiązaniem ścisłym pod warunkiem, że obie płaszczyzny rzutowe są idealnymi płaszczyznami, a zdjęcie jest wiernym rzutem środkowym. W pierwszym przypadku można przyjąć, że matryca CCD aparatu jest idealną płaszczyzną, a niepłaskość płaszczyzny obiektu i związane z tym błędy (przesunięcia radialne) można obliczyć i zaakceptować lub nie. Błędy fotoplanu wynikające z niepłaskości obiektu można starać się ograniczyć poprzez stosowanie obiektywów długoogniskowych, które powodują zmniejszenie szczytkowych przesunięć radialnych (wielkość przesunięcia radialnego jest odwrotnie proporcjonalna do ogniskowej obiektywu). W przypadku, kiedy niepłaskość obiektu powoduje zbyt duże błędy fotoplanu, wtedy fotomapę obiektu należy wykonać inną, bardziej złożoną metodą ortofoto, wymagającą znajomości modelu wysokościowego powierzchni obiektu.

Drugie źródło błędów to geometryczne błędy rzutu środkowego spowodowane przez obiektyw aparatu zwane dystorsją obiektywu. Wiadomo, że wierny rzut środkowy realizują jedynie kamery

fotogrametryczne wyposażone w obiektywy ortoskopowe praktycznie wolne od dystorsji. W innych przypadkach (cyfrowe kamery niemetryczne) obraz zdjęcia obciążony jest błędami dystorsji (radialnej i tangencjalnej) zniekształcającej rzut środkowy. Fotoplan wykonany na podstawie takich zdjęć charakteryzuje się większymi błędami geometrii objawiającymi się nieprostoliniowością krawędzi (np. wygięcie krawędzi pionowych i poziomych elewacji). Dla wyeliminowania tego zjawiska wyznacza się dla obiektywu aparatu parametry dystorsji i albo uwzględnia się je analitycznie w jednym procesie przetwarzania obrazu wraz z transformacją rzutową, albo wykonuje się wstępne przetworzenie zdjęcia pomiarowego tak aby wyeliminować dystorsję z obrazu, a w drugim etapie wykonuje się przetworzenie zdjęcia metodą transformacji rzutowej.

Nie mając wyznaczonych parametrów dystorsji obiektywu można jednak jej wpływ na błędy geometrii obrazu wyraźnie zmniejszyć poprzez wykorzystywanie do rejestracji malowidła obiektywów długoogniskowych, charakteryzujących się dużo mniejszymi błędami dystorsji niż obiektywy szerokokątne.

Reasumując: stosowanie obiektywów długoogniskowych (lub dłuższych ogniskowych w obiektywach typu zoom) do rejestracji obiektów płaskich powoduje zmniejszenie błędów geometrii obrazu zarówno spowodowanych niepłaskością obiektu jak i dystorsją obiektywu.

Zadanie do realizacji na praktyce.

Wykonanie fotoplanu fragmentu malowidła ściennego (graffiti) przy ul. Czarnowiejskiej

- Czas realizacji tematu - 1 dzień,
- Praca w zespole 2 osobowym
- Każdy student wykonuje zdjęcie pomiarowe swojego fragmentu malowidła.
- Pomiar osnowy fotogrametrycznej metodą biegunową z wykorzystaniem elektronicznego tachimetru bezlustrwego
- indywidualne przetworzenie fragmentów malowidła i zmozaikowanie wynikowego fotoplanu,
- analiza dokładności wynikowego fotoplanu,
- sporządzenie sprawozdania i wydruk wynikowego fotoplanu,
- zaliczenie tematu.

Prace terenowe

powinny przebiegać w następujących etapach:

1. Wybór malowideł do pomiaru (wraz z prowadzącym),
2. Analiza geometryczna obiektu i określenie wielkości piksela terenowego (obiektowego). Należy określić wymiary obiektu i na podstawie znajomości wielkości matrycy CCD aparatu cyfrowego zaprojektować ilość zdjęć i rozmieszczenie fotopunktów. Projekt należy wykonać przy założeniu, że docelowy piksel obiektowy fotoplanu wyniesie 1mm, a piksele obiektowe obrazu źródłowego będą się różnić od niego nie więcej niż $\pm 20\%$ (0.8 – 1.2mm)
3. Sygnalizacja fotopunktów w płaszczyźnie obiektu. Sygnały należy przykleić w narożach malowidła (4) i na środku malowidła (1). Dla potrzeb analizy dokładności fotoplanu dodatkowo należy nakleić jeszcze 4 dodatkowe fotopunkty na środku przeciwległych boków osnowy. Sygnały i klej do naklejenia fotopunktów dostarcza prowadzący.
4. Pomiar geodezyjny fotopunktów, metodą biegunową.
Wykonywany jest z wykorzystaniem bezlustrwego tachimetru Trimble 5500. Z jednego stanowiska mogą być mierzone fotopunkty na jednej dwóch lub trzech ścianach z malowidłami. Pomiar wykonywany jest metodą bezlustrwą.
Przed pomiarem wykonany jest szkic rozmieszczenia i numeracji fotopunktów.

Opis pomiaru tym instrumentem jest dostępny jako załącznik do tego konspektu.

5. Wykonanie zdjęć pomiarowych

Do wykonania zdjęć wykorzystane zostaną dwa aparaty cyfrowe:

- a. **Minolta Dynax 5D** (2000x3000 pikseli) z obiektywem typu zoom 18-70mm
- b. **Nikon D80** (3872x2592) z obiektywem typu zoom 18-200mm

Zdjęcia powinny być wykonane tak, aby ogniskowa obiektywu była jak najdłuższa (zdjęcia wykonywane z największej możliwej odległości przedmiotowej) oraz aby graniczne fotopunkty odfotografowały się na zdjęciu z jak najmniejszym zapasem. Zdjęcia należy wykonać tak aby widoczna była nierównoległość płaszczyzny zdjęcia do płaszczyzny obiektu (prostokątne malowidło na zdjęciu powinno mieć kształt różny od prostokąta).

Ze względu na możliwość wykonania nieostrych zdjęć należy zdjęcia wykonać w trybie S (priorytet czasu) i nastawić czas otwarcia migawki 1/100s. Czulość powinna wynosić 200 ISO, a przysłona nie powinna być mniejsza niż 5.6. Jeśli nie da się powyższych parametrów osiągnąć to należy zwiększyć czulość ISO tak, aby czas i przysłona spełniały powyższe kryteria. Każdy student wykonuje przynajmniej dwa niezależne ujęcia swojej części malowidła. Rozdzielczość rejestrowanych obrazów musi być ustawiona jako maksymalna, a format zapisu jako JPEG o najmniejszej kompresji. Ostrość zdjęć realizowana jest z wykorzystaniem funkcji „autofocus”.

Prace kameralne

1. Obliczenia osnowy fotogrametrycznej

- z pomiaru tachimetrem Trimble uzyskano przestrzenne współrzędne fotopunktów (XYZ) w układzie lokalnym stanowiska. Należy teraz przeliczyć te współrzędne na układ obiektu tzn. taki w którym oś Y układu geodezyjnego jest równoległa do płaszczyzny malowidła. W tym celu należy obliczyć kąt skręcenia obu układów jako różnicę azymutów odpowiednich odcinków poziomych w płaszczyźnie malowidła w obu układach. W układzie docelowym azymut tych odcinków powinien wynosić $100^{\circ}.00$. Z wykorzystaniem uśrednionej wartości kąta skręcenia należy teraz przetransformować współrzędne fotopunktów (X,Y) do układu docelowego (X',Y'). Kontrolą poprawności wykonanych obliczeń jest jednakowa wartość współrzędnej X' dla wszystkich transformowanych punktów. Jeśli różnice współrzędnych X' od średniej wartości X'_{sr} nie przekraczają kilkunastu milimetrów (błędy wykonania płaskiej ściany) to możemy przyjąć, że obliczenia zostały wykonane poprawnie. Na podstawie obliczonych różnic należy teraz obliczyć średni błąd niepłaskości ściany i maksymalne szcztkowe przesunięcie radialne. Współrzędne do przetwarzania Y',Z (w płaszczyźnie malowidła) uzyskamy po odrzuceniu dla każdego fotopunktu jego współrzędnej X'. Ostateczne współrzędne wyrażamy w milimetrach i zapisujemy z dokładnością do 0.1mm.

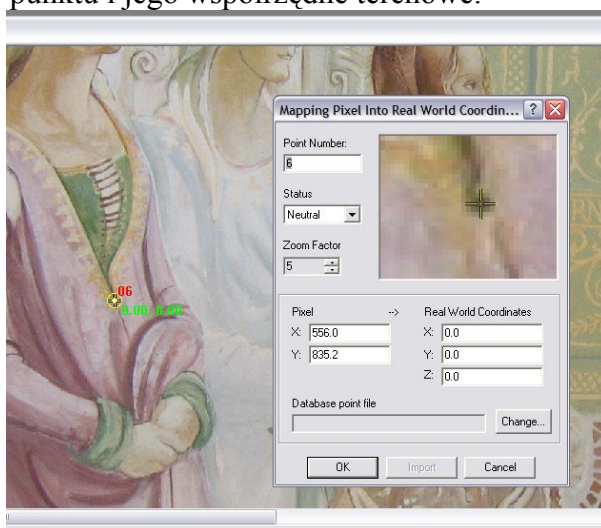
2. Przetworzenie zdjęć metodą transformacji rzutowej w programie Asrix

Każdy student przetwarza najlepsze ujęcie swojej części malowidła. Wykorzystuje do przetworzenia 5 z 9 pomierzonych fotopunktów (cztery narożne i środkowy). Notuje wielkość *Natural scaling factor in Pixels/Unit* (nie powinna być większa od 1.1 i mniejsza od 0.8) i podaje ją w sprawozdaniu. Przyjmuje *User scaling factor in Pixels/Unit* jako 1 (jednostka współrzędnych/ piksela obiektowego – 1mm/1mm = 1)

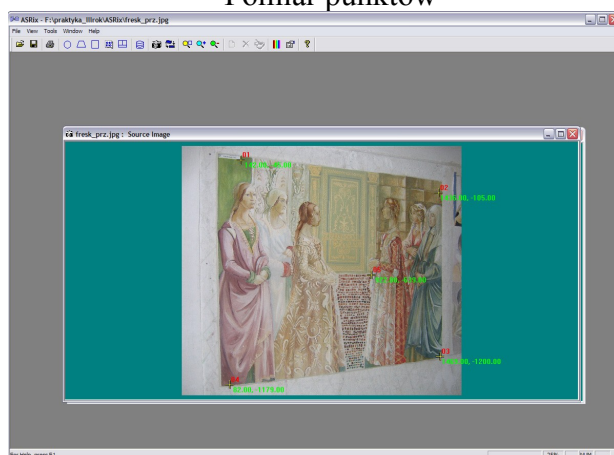
Praca w programie Asrix

Start programu ASRIX następuje przez uruchomienie pliku asrix.exe
Obraz w formacie *.tif i *.jpg wczytujemy poleceniem: **File – Open**, lub pierwszą ikoną od lewej strony.

Pomiar punktów na obrazie wykonuje się przez dwukrotne kliknięcie lewym przyciskiem myszy w pobliżu punktu który chcemy pomierzyć (w tym celu obraz możemy powiększyć – ikony powiększania i pomniejszania są w pasku ikon). Po kliknięciu na obrazie pojawia się okienko, w którym ustawiamy krzyżyk dokładnie na punkcie przesuwając go myszą z wciśniętym lewym przyciskiem (można zmienić powiększenie obrazu *Zoom Factorem*), oraz wprowadzamy współrzędne mierzonego punktu w układzie terenowym (wartości współrzędnej Z pozostawiamy zerowe). Ze względu na dalszą procedurę wygodniej jest wprowadzić współrzędne terenowe w milimetrach. Po naciśnięciu **OK** program zaznacza krzyżykiem miejsce pomierzone, a obok wyświetla numer punktu i jego współrzędne terenowe.



Pomiar punktów

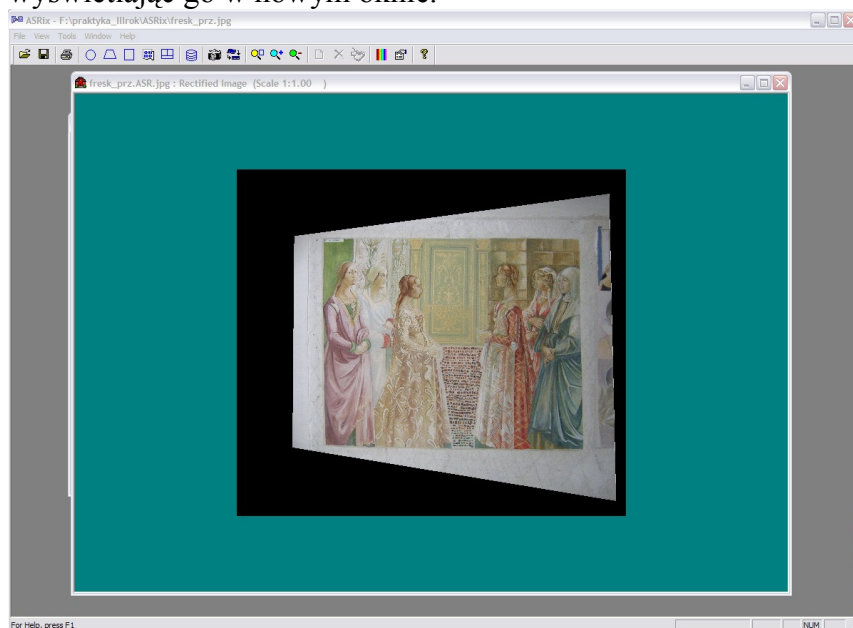


Pomierzone punkty na tle zdjęcia

Aby poprawić pomiar punktu, zmienić współrzędne lub skasować punkt, można klikając prawym klawiszem w pobliżu punktu wybrać Edit lub Delete. Można też skorzystać z ikony Point List, która wyświetla tabelkę z wszystkimi pomierzonymi punktami, a dwukrotne kliknięcie na dowolny punkt otwiera okienko pomiarowe tego punktu.

Po zmierzeniu wszystkich punktów otwieramy okno **Output Image Parameters** (z menu Tools, lub ikona ze strzałkami). Okno to służy do zadania wielkości piksela obrazu wynikowego. Wielkość tę podaje się nie wprost, ale jako współczynnik ilości pikseli na jednostkę układu terenowego. Program „podpowiada” nam średni współczynnik dla wprowadzonych danych (*Natural scaling factor in Pixels/Unit*), na jego podstawie określamy i wprowadzamy *User scaling factor in Pixels/Unit*.

Po wpisaniu wyliczonej wartości współczynnika naciskamy OK i program przetwarza obraz wyświetlając go w nowym oknie.



Obraz po przetworzeniu

Zapisanie obrazu przetworzonego: z menu **File** wybieramy **Save**. Obraz przetworzony zostaje zapisany w tym samym katalogu z którego był czytany obraz wejściowy, do nazwy pliku dodane jest ASR, rozszerzenie pozostaje bez zmian.

Nie należy zapisywać pliku przez **Save as**, bo wtedy program zapisuje obraz oryginalny, a nie przetworzony.

Analiza dokładności fotoplanów

Po wykonaniu przetwarzania powstały częściowe fotoplany o rozdzielczości obiektowej 1mm. Należy sprawdzić jak zgadzają się współrzędne wszystkich fotopunktów odfotografowanych na zdjęciu z ich współrzędnymi użytymi do transformacji rzutowej. Ponieważ ilość fotopunktów była większa od minimum (4) dlatego współczynniki transformacji rzutowej wyznaczone zostały z wyrównaniem i wystąpią różnice pomiędzy współrzędnymi fotopunktów przed i po resamplingu obrazu. Różnice te traktować możemy jako sumaryczne błędy zarówno niepłaskości obiektu jak i nieusuniętej dystorsji obiektywu. Wyznaczony na podstawie tych odchyłek błąd średni kwadratowy będzie charakteryzował rzeczywistą geometryczną dokładność fotoplanu.

Analizę tą wykonać należy w następujący sposób:

-pomierzyć w pikselach współrzędne wszystkich 9 fotopunktów na fotoplanie (Photoshop, VSD, Gimpshop, Gimp itp.). Po wymnożeniu tych współrzędnych przez wielkość piksela obiektowego uzyskamy współrzędne terenowe punktów po transformacji rzutowej. Teraz należy przesunąć analizowane układy do tego samego punktu początkowego, stanowiącego środek ciężkości współrzędnych wszystkich fotopunktów. Obliczone różnice pomiędzy współrzędnymi obu układów stanowią odchyłki z których można określić średni błąd fotoplanu. Każdy ze studentów liczy ten błąd dla swojego przetworzenia.

Zmozaikowanie fotoplanów oraz przygotowanie do wydruku

Opisany zostanie sposób postępowania w programie Photoshop (dostępny w komputerach pracowni Katedry Fotogrametrii).

a) mozaikowanie fotoplanu

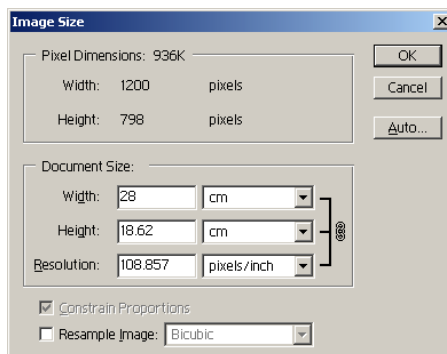
Mozaikowanie: jedną połowę fotoplanu powiększyć dwukrotnie, aby zrobić miejsce na wklejenie drugiej części (funkcja Canvas size). Drugą część zaznaczyć (Select all), a następnie skopiować (Copy) i wkleić do powiększonego wcześniej obrazu (Paste).

W kolejnym kroku, wykorzystując narzędzie Layers, zmieniamy przezroczystość nałożonej warstwy obrazu na 50% (Opacity). Teraz, z wykorzystaniem narzędzia Move (przycisk: strzałka z krzyżykiem) oraz klawiszy kierunkowych (lub myszy) nasuwamy precyzyjnie jeden obraz na drugi, starając się jak najdokładniej pokryć ze sobą wszystkie 3 wspólne fotopunkty obydwu części fotoplanu. Następnie przywracamy Opacity na 100% i wykonujemy połączenie warstw w jedną (Flatten image z menu Layer).

b) przygotowanie fotoplanu do wydruku

Skalę wydruku należy przyjąć w taki sposób, aby zmieścić go na formacie A4

1. Przyciąć obraz przetworzony do formatu użytecznego (funkcja Crop z palety głównej narzędzi)
2. Odczytać rozmiary obrazu w pikselach (Menu – Image size), a następnie określić jego wielkość w miarach terenowych (mnożąc ilości pikseli przez wielkość zastosowanego przy przetwarzaniu piksela obiektowego)
3. Określić minimalny mianownik skali dla której obraz zmieści się na formacie A4 (przyjąć format A4: 19cm x 28cm)
4. Określić wymiary obrazu w przyjętej skali,
5. W okienku Image Size wprowadzić wyliczoną jedną z wartości (szerokość lub wysokość obrazu), druga wartość zmieni się automatycznie i powinna być zgodna z obliczoną. Należy zwrócić uwagę, aby nie zmieniła się ilość pikseli (pole Resample Image powinno być nieaktywne).



6. Wykonać opis fotomapy zawierający m.in. informację o skali wydruku, nazwiska wykonawców, wielkość piksela obiektowego, datę nazwę obiektu itp.
7. Wydrukować ostateczny, zmozaikowany fotoplan jako czarno-biały lub barwny.

5. Zawartość operatu

- Sprawozdanie techniczne
- szkic osnowy geodezyjnej i fotogrametrycznej,
- wykaz współrzędnych fotopunktów z pomiaru terenowego (XYZ),
- wyniki obliczeń parametrów transformacji i wyniki transformacji (kąt obrotu, X'Y'Z),
- wyniki analizy płaskości malowidła m_V oraz maksymalne przesunięcie radialne Δr_{max} ,
- wynik analizy dokładności fotoplanu m_p
- wydruki zdjęć pomiarowych,
- fotoplany częściowe,
- zmozaikowany fotoplan ostateczny.