Artykuł recenzowany: Analiza metod transformacji mapy zasadniczej do układów

NAJLEPSZE DOPA

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wyniki analizy danych i metod poziomej i wysokościowej transformacji mapy zasadniczej do układów państwowych 2000 i Kronsztad 1986 na przykładzie Wrocławia. Transformacje złożone są z wielomianowego trendu liniowego, kwadratowego i sześciennego oraz losowej reszty, interpolowanej metodami odwrotnej odległości, minimalnej krzywizny i krigingu. Wykazano szczególną przydatność metody krigingu do poziomej i wysokościowej transformacji mapy. Stwierdzono brak konieczności zmian powierzchni działek ewidencyjnych po transformacji mapy we Wrocławiu.

ABSTRACT: Data as well as planar and vertical transformation models analysis of the basic map of Wrocław from local to the national coordinate systems 2000 and Kronsztad 1986 are given. The transformations models have two parts: polynomial trend (linear, biquadratic and bicubic interpolation) and random residuals modelled using the inverse distance interpolation, thin plate spline interpolation and kriging. It is shown that the best resulsts of the planar and vertical transformation of the map can be obtained using kriging.

EDWARD OSADA

CHARAKTERYSTYKA OSNOWY ORAZ MAPY ZASADNICZEJ

Mapa zasadnicza Wrocławia, tworzona do roku 1999 na pierworysach, oparta była na osnowie poziomej poligonizacji technicznej II klasy zawierającej 5081 punktów w układzie lokalnym Gromnik oraz osnowie wysokościowej I-III klasy zawierającej 2370 punktów w układzie Amsterdam. Mapa ta została przekształcona do postaci cyfrowej w wyniku skanowania i kalibracji arkuszy na krzyże siatki współrzędnych w układzie Gromnik, a następnie wektoryzacji (Mazurkiewicz i inni, 2000).

Od roku 1999 mapa zasadnicza Wrocławia tworzona jest w postaci wektorowej na podstawie pomiarów sytuacyjnych i wysokościowych opartych na nowych osnowach: poziomej (zawierającej 4049 punktów głównych i ponad 5000 ekscentrów w układzie Gromnik) oraz wysokościowej (zawierającej 2031 punktów w układzie Amsterdam).

Nowe osnowy Wrocławia, tj. pozioma i wysokościowa III klasy, niezależnie od ich wyrównań w układach Gromnik i Amsterdam, wyrównane były również w układach państwowych odpowiednio: 1965, 2000 i Kronsztad 1986. W procesie odpornego wyrównania tych osnów wykryte zostały odstające punkty dawnych osnów. W efekcie osnowy nowe dopasowane są do maksymalnej liczby przystających punktów osnów dawnych. Ze względów kontrolnych iteracyjny proces wyrównania odpornego na odstające punkty dowiązania przeprowadzony był kilkoma metodami estymacji mocnej, w tym Hubera, Hampela, Gaździckiego i autorską metodą liniową (Mazurkiewicz i inni, 2000; Osada 1998, 2002, 2008).

DOKŁADNOŚĆ MAPY, KALIBRACJA I AKTUALIZACJA WZGLĘDEM ORTOFOTOMAPY

Kalibracja skanowanej mapy zasadniczej Wrocławia wykonana była na krzyże siatki współrzędnych w układzie Gromnik, przy założeniu transformacji wielomianowej 3. stopnia. Mapa rastrowa została następnie zwektoryzowana. W efekcie usunięto deformacje pierworysu, natomiast ewentualne lokalne niedokładności wykonania mapy przeniesiono na mapę cyfrową w postaci wektorowej bez zmian. Niedokładności te można wstępnie oszacować na podstawie analizy przystawania 5081 punktów dawnej osnowy w układzie Gromnik, stanowiącej podstawę mapy tworzonej na pierworysie, do 4049 punktów nowej osnowy w układzie 2000. Kryterium stanowi błąd dopasowania tych układów –0,03 m, otrzymany w wyniku transformacji przez podobieństwo punktów nowej wyrównanej osnowy w układach Gromnik i 2000.

W wyniku wstępnej transformacji dopasowującej te układy przez podobieństwo metodą estymacji odpornej Hubera (opartej na wybranych 9 punktach dopasowania i obciążonej błędem transformacji 0,034 m) wykryto 2319 z 5081 punktów dawnej osnowy w układzie Gromnik przystających do punktów nowej osnowy w układzie 2000 w odległości do 1 m. Następna transformacja dopasowująca oparta na wykrytych 2319 punktach, obciążona błędem transformacji 0,155 m, nie wykryła nowych punktów dopasowania układów w odległości do 1 m. W liczbie 2319 występują 2134 punkty w odległości do 0,20 m, 1721 punktów – do 0,1 m oraz 435 punktów – do 0,03 m.

Ze względu na znaczne odchyłki sięgające powyżej 1 m należy przyjąć, że znaki terenowe pozostałych 2762 z 5081 punktów dawnej osnowy w układzie nie pokrywają się fizycznie ze znakami punktów nowej osnowy w układzie 2000. Nie można więc stwierdzić, czy punkty te mają błędy nieprzekraczające wartości błędu dopuszczalnego punktu osnowy 0,10 m, a tym samym, czy mapa oparta na tych punktach nie jest wokół nich zdeformowana.

Punkty odstające w odległości do 1 m również mogą mieć znaki terenowe niepokrywające się ze znakami punktów w układzie 2000 i wówczas nie można oszacować ewentualnej deformacji mapy wokół tych punktów. Naturalnie znaki tych punktów mogą się też pokrywać i wtedy mapa wokół nich może być zdeformowana do 1 m. Aby to potwierdzić, należy sprawdzić zgodność znaków terenowych punktów dopasowania osnów Gromnik i 2000.

W przypadku stwierdzenia braku zgodności znaków terenowych punktów dopasowania układów pozostaje wykonanie transformacji mapy przy założeniu, że pierworys mapy nie zawierał lokalnych zniekształceń, to znaczy wszystkie 5081 punktów dawnej osnowy w układzie Gromnik posiada błąd położenia nieprzekraczający wartości dopuszczalnej 0,1 m. Dla zapewnienia minimalnych deformacji wektoryzowanej mapy transformację należy wykonać, przyjmując jako punkty dopasowania układów 3020 punktów wybranych z 4049 punktów nowej wyrównanej osnowy w układach Gromnik i

2000 i Kronsztad 1986 na przykładzie Wrocławia

SOWANIE

2000 przystających we wspomnianej odległości kryterialnej do 0,03 m. W liczbie tej zawiera się również 435 punktów dawnej osnowy w układzie Gromnik. Problem jest jednak szerszy, ponieważ pierworys mapy tworzony był również z wykorzystaniem wielu zagęszczających osnów i linii pomiarowych, które mogą wnosić własne błędy.

Obecnie dla obszaru Wrocławia dostępna jest nowa ortofotomapa lotnicza o wysokiej rozdzielczości terenowej 0,10 m w układzie 2000. Planowane jest więc przeprowadzenie wspomnianej niezniekształcającej transformacji wektoryzowanej mapy zasadniczej z układu Gromnik do układu 2000 opartej na 3020 punktach przystających w odległości do 0,03 m, a następnie kalibracji i aktualizacji tej mapy w układzie 2000 względem trwałych szczegółów terenowych ortofotomapy. Warunkiem jest odpowiednia dokładność wykonania ortofotomapy w układzie 2000, która będzie sprawdzona względem nowej mapy cyfrowej Wrocławia tworzonej po roku 1999 na podstawie nowej osnowy w układzie Gromnik, po jej transformacji do układu 2000.

● ANALIZA PORÓWNAWCZA METOD POZIOMEJ TRANSFORMACJI MAPY

Transformacja nowej 4049-punktowej osnowy poziomej III klasy z układu Gromnik do układu 2000 przez podobieństwo, jak również transformacja afiniczna oraz transformacje wielomianowe 2. i 3. stopnia wykazują takie same statystyki długości wektorów odchyłek: średnia 0,02 m, odchylenie standardowe 0,02 m, wartość maksymalna 0,17 m oraz błąd transformacji 0,03 m. Odchyłki współrzędnych mają charakter losowy o wartości średniej równej zero. Pozioma transformacja nowej mapy cyfrowej tworzonej po 1999 roku w układzie Gromnik do układu 2000 może być zatem przeprowadzona według modelu: trend wielomianowy liniowy, kwadratowy lub sześcienny plus poprawki interpolowane z punktów dopasowania układów. Poprawki mogą być interpolowane w każdym punkcie mapy na podstawie danych wartości poprawek w punktach dopasowania układów – osnowy poziomej metodami: odwrotnej odległości Sheparda (Hausbrandta) przy założeniu pewnej wartości wykładnika potęgi odwrotnej odległości $r = 2, 3, 4$, najmniejszej krzywizny, krigingu, triangulacji Delanuay'a z interpolacją liniową wewnątrz trójkątów i innymi. Analiza porównawcza wybranych metod przeprowadzona na 18 951 granicznikach obrębu Stare Miasto wykazała, że maksymalne wartości różnic współrzędnych punktów granicznych obliczonych w układzie 2000 metodami odwrotnej odległości oraz minimalnej krzywizny i krigingu nie przekraczają wartości 0,02 m, z jednym wyjątkiem – między metodami odwrotnej odległości $r = 2$ i najmniejszej krzywizny różnice te dochodzą do 0,03 m. Najmniejsze różnice współrzędnych (maksymalnie do 0,01 m) występują między metodami krigingu a najmniejszej krzywizny i odwrotnej odległości $r = 3$, $r = 4$ oraz między metodami odwrotnej odległości $r = 3$ i $r = 4$.

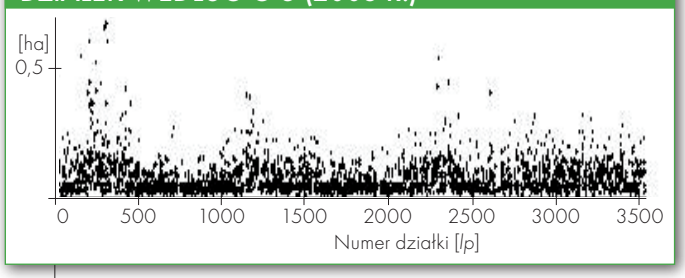
Transformacja dawnej 2134-punktowej osnowy poziomej Wrocławia z układu Gromnik do układu 2000 przez podobieństwo, jak również transformacja afiniczna oraz transformacje wielomianowe 2. i 3. stopnia wykazują takie same statystyki długości wektorów odchyłek: średnia 0,06 m, odchylenie standardowe 0,04 m, wartość maksymalna 0,20 m oraz błąd transformacji 0,08 m. Odchyłki współrzędnych mają charakter losowy o wartości średniej równej zero. Pozioma transformacja dawnej wektoryzowanej mapy z układu Gromnik do układu 2000 może być zatem również przeprowadzona według modeli: trend wielomianowy liniowy, kwadratowy lub sześcienny plus poprawki interpolowane z punktów dopasowania układów. Analiza porównawcza metod transformacji mapy przeprowadzona na 18 951 granicznikach obrębu Stare Miasto wykazała, że najmniejsze różnice współrzędnych (maksymalnie do 0,04 m, o odchyleniu standardowym 0,01 m) występują między metodami krigingu a odwrotnej odległości $r = 3$, $r = 4$ oraz między metodami odwrotnej odległości $r = 3$ i $r = 4$. Najbardziej odstaje metoda najmniejszej krzywizny, różnice współrzędnych między tą metodą a krigingiem dochodzą do 0,10 m (odchylenie standardowe 0,02 m) oraz odwrotnej odległości – do 0,14 m (odchylenie standardowe do 0,04 m).

● ANALIZA PORÓWNAWCZA METOD WYSOKOŚCIOWEJ TRANSFORMACJI MAPY

Transformacja liniowa nowej 2031-punktowej osnowy wysokościowej Wrocławia III klasy z układu Amsterdam do układu Kronsztad 1986 wykazuje następujące statystyki odchyłek: średnia 0 m, odchylenie standardowe 0,005 m, wartość maksymalna 0,012 m, wartość minimalna -0,009 m oraz błąd transformacji 0,005 m. Wyniki te świadczą o bardzo dobrym przystawaniu układów Amsterdam i Kronsztad 1986, zdefiniowanych w wyniku wyrównania nowej wysokościowej osnowy III klasy Wrocławia w tych układach w roku 1999 (Mazurkiewicz i inni, 2000). Wysokościowa transformacja nowej mapy cyfrowej tworzonej po roku 1999 może być zatem przeprowadzona według modelu: trend liniowy plus poprawki interpolowane z punktów dopasowania układów. Z analizy różnic wysokości interpolowanych w ponad 10 000 punktów mapy metodami odwrotnej odległości ($r = 2, 3, 4$), minimalnej krzywizny i krigingu (wartości średnie różnic nie przekraczają 0,001 m, odchylenia standardowe różnic nie przekraczają 0,001 m, ekstremalne wartości różnic nie przekraczają 0,002 m) wynika, że metody te można uznać za równoważne.

Transformacja liniowa dawnej, niepełnej 1484-punktowej osnowy wysokościowej Wrocławia z układu Amsterdam do układu Kronsztad 1986 wykazuje następujące statystyki odchyłek: średnia 0 m, odchylenie standardowe 0,018 m, wartość maksymalna 0,095 m, wartość minimalna -0,082 m oraz błąd transformacji 0,018 m. Z analizy różnic wysokości interpolowanych w ponad 20 000 punktów mapy metodami odwrotnej odległości ($r = 3$ i $r = 4$), minimalnej krzywizny i krigingu (wartości średnie różnic są równe zero, odchylenia standardowe różnic między krigingiem a metodami odwrotnej odległości i najmniejszej krzywizny wynoszą 0,002 m oraz między meto-

1. MAKSYMALNE ODCHYŁKI POWIERZCHNIOWE DZIAŁEK WEDŁUG G-5 (2003 R.)



dą najmniejszej krzywizny i odwrotnej odległości – 0,004 m, ekstremalne wartości różnic są rzędu 0,020 m) wynika, że metody te można uznać za równoważne, ze wskazaniem na kriging – co obrazuje analiza odchylenia standardowego. Jednak przed przystąpieniem do ostatecznego wykonania transformacji dawnej wektoryzowanej mapy, należy ustalić przyczynę wykazanych dużych wartości odchyłek na niektórych punktach osnowy i usunąć te punkty ze zbioru punktów dopasowania układów.

● BŁĄD PRAWDZIWY TRANSFORMACJI MAPY

Błąd prawdziwy poziomej transformacji mapy został obliczony na podstawie znanych, zamieszczonych na budynkach ekscentrycznych punktów nowej osnowy III klasy Wrocławia wyrównanej w układach Gromnik i 2000. Metody odwrotnej odległości $r = 3$ i $r = 4$, najmniejszej krzywizny i kriging wykazały wartości średnie i odchylenia standardowe przemieszczeń punktów po transformacji oraz błąd prawdziwy transformacji nieprzekraczające 0,010 m. W przypadku metody odwrotnej odległości $r = 2$ wartości te dochodzą do 0,016 m. Wszystkie wymienione metody wykazały niewielką liczbę tych samych punktów odstających.

Błąd prawdziwy wysokościowej transformacji mapy został oszacowany na podstawie kilkunastu wybranych punktów osnowy wysokościowej, które nie brały udziału w wyznaczeniu parametrów transformacji. Metody odwrotnej odległości $r = 3$ i $r = 4$, najmniejszej krzywizny i kriging wykazały wartość błędu prawdziwego transformacji nieprzekraczającą 0,0008 m. W przypadku odwrotnej odległości $r = 2$ błąd prawdziwy wynosi 0,0011 m.

● ODCHYŁKI POWIERZCHNIOWE DZIAŁEK PO TRANSFORMACJI

Analizowane metody transformacji mapy wykazują odchyłki powierzchniowe ponad 3500 działek na obszarze Starego Miasta po transformacji w układzie 2000 od powierzchni ewidencyjnej tych działek obliczonej ze współrzędnych graniczników w układzie Gromnik o wartości do jednego 1 m², z wyjątkiem niewielu działek, które otrzymały odchyłki do 2-4 m². Wynika to z faktu niewielkich liniowych zniekształceń odwzorowawczych układu 2000 na obszarze Wrocławia oraz zerowych wartości zniekształceń odwzorowawczych w przypadku płaskiego lokalnego układu Gromnik. Otrzymane odchyłki powierzchniowe są znacznie mniejsze od maksymalnych wartości odchyłek obliczonych ze wzoru zamieszczonego w Instrukcji technicznej G-5 (2003) – rys. 1.

● WNIOSKI

Analiza danych wykazała, że zbiory punktów dopasowania układów poziomych i wysokościowych przystają do siebie z dokładnością do wielomianowego trendu niskiego stopnia plus reszta losowa o zerowej wartości średniej i odchyleniu standardowym mieszczącym się w granicach błędu dopuszczalnego punktu osnowy III klasy. Błąd transformacji przy zastosowaniu liniowego, kwadratowego lub sześciennego modelu trendu jest praktycznie taki sam na obszarze Wrocławia. Reszta losowa jest modelowana w postaci poprawek do trendu metodami interpolacji z punktów dopasowania układów – osnowy geodezyjnej. Analizowane metody interpolacji: odwrotna odległość, najmniejsza krzywizna i kriging pod względem dokładności dają zbliżone wyniki. Wskazany jest przy tym kriging, który zapewnia wysoką dokładność interpolacji, jak również ekstarapolacji mapy poza granicami punktów dopasowania układów w ich bliskim sąsiedztwie. Jest to jedyna z analizowanych metod, której bardzo dobre właściwości interpolacyjne i ekstrapolacyjne określone są na podstawie empirycznej funkcji kowariancji. Funkcja ta jest dobrze wyznaczalna z interpolowanych wartości, danych w dużej liczbie punktów dopasowania układów. Na rys. 2 pokazana jest empiryczna funkcja kowariancji i dopasowany do niej model analityczny Gaussa. W niektórych przypadkach lepsze dopasowanie uzyskano przy zastosowaniu modelu Gaussa-Jordana.

Ze względu na różne własności interpolacyjne i ekstarapolacyjne oraz konieczność zapewnienia kontroli wyników poziomej i wysokościowej transformacji mapy zasadniczej wskazane jest przeprowadzenie transformacji dwiema niezależnymi metodami, ze wskazaniem na kriging jako jedną z nich. Drugą może być metoda odwrotnej odległości, najmniejszej krzywizny lub triangulacji Delanuay'a z interpolacją liniową w trójkątach. W przypadku odwrotnej odległości analiza wykazała, zgodnie z oczekiwaniem, że zastosowanie kwadratu odległości prowadzi do nieco wygładzonych wyników względem sześcianu i czwartej potęgi odległości, których wyniki są zbliżone do krigingu. W transformacji kontrolnej wskazana jest również zmiana modelu trendu.

PROF. DR HAB. INŻ. EDWARD OSADA
(Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Instytut Górnictwa, Zakład Geodezji i Geoinformatyki)
Recenzent: DR HAB. INŻ. BERNARD KONTNY, prof. nadzw., prodziekan ds. kierunku studiów Geodezja i kartografia na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu

Literatura

- Instrukcja techniczna G-5, 2003: Ewidencja gruntów i budynków. Główny Geodeta Kraju;
- Mazurkiewicz J., Osada E., Szczepański J., Tosza K., 2000: Osnowa geodezyjna mapy numerycznej Wrocławia. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Geodezja i UR nr 394;
- Osada E., 1998: Analiza, wyrównanie i modelowanie geodanych. Wyd. AR we Wrocławiu;
- Osada E., 2002: Geodezja. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej;
- Osada E., 2008: Opracowanie technologii transformacji poziomej i wysokościowej mapy zasadniczej miasta Wrocławia do układów 2000 i Kronsztad 1986. Politechnika Wrocławska. Instytut Górnictwa. Raport SPR, 2008.

2. EMPIRYCZNA I ANALITYCZNA FUNKCJA KOWARIANCJI ODCHYŁEK WSPÓŁRZĘDNYCH Y