

**ANALIZA DOBORU PARAMETRÓW ALGORYTMÓW DOPASOWANIA
OBRAZÓW ZDJĘĆ LOTNICZYCH**

**ANALYSING PARAMETERS OF AUTOMATIC MATCHING PROCESSES ON
AERIAL IMAGES**

Paweł Gryboś, Sławomir Mikrut

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: fotogrametria cyfrowa, dopasowanie obrazów, korelacja, współczynnik dopasowania

STRESZCZENIE: W ramach prac prowadzonych w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH, powstał algorytm dopasowania zdjęć lotniczych. Wykorzystuje on funkcję dostępnej biblioteki opensourcowej OpenCV służącej do przetwarzania obrazów. Algorytm aplikacji znajdującej punkty homologiczne na obrazach tworzących stereogram, wykorzystuje bibliotekę „OpenCV”. Działanie algorytmu polega na wyznaczeniu na pewnej określonej części obrazu prawego, najlepszego dopasowania szablonu pobranego z obrazu lewego, przechodząc sukcesywnie przez kolejne poziomy piramidy obrazów lewego i prawego. Szablon ze zdjęcia lewego jest buforem, o określonym rozmiarze zależnym od poziomu piramidy, wokół punktu, który będziemy szukać na zdjęciu prawym. Część obrazu prawego, na którym dokonuje się przeszukiwania jest wyznaczana jako bufor, o punkcie centralnym równym przewidywanemu położeniu punktu homologicznego na zdjęciu prawym. Określenie prawdopodobnego położenia szukanego punktu następuje na podstawie wartości przesunięcia między obrazami – jeżeli jest to pierwsza iteracja po poziomach piramidy, lub na podstawie położenia punktu z poprzedniego poziomu piramidy, gdy wartość współczynnika dopasowania jest większa od zadanego progu. Przeszukanie zaczyna się od najmniejszego obrazu piramidy, czyli od najwyższego poziomu. Przechodzi kolejno na poziomy niżej i kończy się na obrazie oryginalnym. Na każdym poziomie piramidy korelowane są poszczególne punkty, a wyniki są zapisywane do odpowiedniego wektora. Wartość współczynnika dopasowania decyduje o wielkości obszaru do przeszukania na zdjęciu prawym. Wartości przesunięć po osi x i y są na bieżąco aktualizowane dla punktów wykazujących wysoki współczynnik dopasowania (minimalizacja błędów). Określenie dopasowania danego szablonu na obszarze przeszukiwania polega na obliczeniu wartości funkcji dwuwymiarowej kowariancji (korelacji lub odległości) dla sygnałów dwuwymiarowych, jakimi są obrazy i przedstawieniu tego w postaci mapy dopasowania dla każdego położenia szablonu względem obszaru przeszukiwania. Określenie najlepszego dopasowania polega na znalezieniu maksymalnej wartości piksela na powstałej mapie i zwróceniu go jako szukany punkt. Celem podniesienia wydajności algorytmu dokonano testów oraz analizy doboru parametrów dopasowania obrazów. W trakcie badań ustalony został optymalny rozmiar szablonu, zbadano także zachowanie współczynnika dopasowania obrazów.

1. WPROWADZENIE

W procesach produkcyjnych map, modeli numerycznych terenu (DTM) lub powierzchni (DSM), wykorzystuje się coraz częściej automatyczne dopasowanie obrazów. W literaturze przedstawiono wiele rodzajów algorytmów korelujących obrazy. Różnią się one obszarem zastosowań, co determinują np. ich szybkość i dokładność, ale wszystkie sprowadzają się do jednego punktu: znaleźć na dwóch zdjęciach wykonane z różnych miejsc przestrzeni, odpowiadające sobie punkty. W niniejszej pracy zaprezentowano algorytm oparty na funkcjach ogólnodostępnej biblioteki do obróbki obrazów napisanej w języku C++, oraz przedstawiono drogę ustalania optymalnych parametrów algorytmu. Jako potwierdzenie działania algorytmu, otrzymane wyniki dopasowania zostały porównane z działaniem aplikacji komercyjnej.

Biblioteka z rodziny tzw. „*open source*” o nazwie „OpenCV” została stworzona przez pracowników firmy Intel (Intel, 2007). Oprogramowano w niej bardzo dużą ilość funkcji i struktur możliwą do wykorzystania w procesie przetwarzania obrazów. Znajdują się tam gotowe funkcje wykonujące przekształcenia geometryczne, arytmetyczne i morfologiczne, pozwalające wczytywać, tworzyć i zapisywać obrazy w wielu formatach. Jedną grupę stanowią funkcje dopasowujące obrazy.

Na wstępie omówiono zagadnienia korelacji obrazów cyfrowych na przykładzie zdjęć lotniczych. Następnie przedstawiono algorytm z krótkim opisem działania. W kolejnej części została opisana droga doboru parametrów wraz z przedstawieniem wyników. Testy przeprowadzono na rzeczywistych obrazach Bytomia, Krakowa oraz z rejonu pustyni (Afryka). Zdjęcia Bytomia wykonane zostały w skali 1:5600 o rozdzielczości 44 μm , zdjęcia Krakowa wykonane w skali 1:5000 oraz 1:26000, a skanowane pikselem o rozmiarze 14 μm . Obszar Afryki został wykonany kamerą cyfrową z pikselem terenowym 0,20 m.

2. DOPASOWANIE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

Podstawy teoretyczne zagadnienia dopasowania obrazów zostały szeroko opisane w literaturze (Kraus, 1997), (Potuckowa, 2004), (Manual, 2004). Podsumowując można stwierdzić, że dopasowanie dwóch obrazów, odbywa się poprzez porównanie wartości jasności pikseli (z ang. *area-based matching*) lub cech takich jak krawędzie lub naroża obiektów (z ang. *feature-based matching*) występujących na danym fragmencie obrazu. Druga z metod wymaga wstępnego przetworzenia obrazów, w celu wydobycia interesujących nas cech. Ponadto dokładność dopasowania nie przekracza jednego piksela. Dopasowanie poprzez porównanie wartości jasności pikseli jest oparte na obliczaniu odpowiedniego współczynnika mówiącego o „jakości” dopasowania. W zależności od algorytmu jako miarę wykorzystuje się różnice wartości jasności pikseli lub najczęściej współczynnik korelacji dwóch obrazów.

Przy obliczaniu dopasowania, w przypadku zdjęć lotniczych, pojawiają się problemy związane z faktem wzajemnego skrócenia obrazów, niejednakowym oświetleniem scen w chwilach fotografowania oraz deniwelacjami terenu. Skrócenie obrazów powoduje, iż w dopasowanym fragmencie obrazów, piksele z lewego zdjęcia nie będą idealnie pokrywać się z pikselami ze zdjęcia prawego – pomijając wpływ oświetlenia i deniwelacji. Różnica będzie tym większa im dalej będzie znajdował się piksel od środka obrazu. Skrócenie ma

znaczenie przy wyliczaniu zgrubnego położenia szukanego punktu na lewym zdjęciu z wykorzystaniem przesunięcia między obrazami.

Wpływ niejednakowego oświetlenia można wyeliminować stosując algorytm oparty na współczynniku kowariancji dwóch sygnałów dwuwymiarowych (obrazów). Jest on obliczany w podobny sposób jak współczynnik korelacji, ale dodatkowo z obydwu obrazów jest usuwana wartość średnia.

Deniwelacje terenu są problemem zarówno przy obliczaniu zgrubnego położenia szukanego punktu, jak i przy obliczaniu współczynnika dopasowania dla danego fragmentu obrazu. Pod tym pojęciem możemy zaklasyfikować także dachy budynków, a w szczególności tych wysokich. Wykonanie zdjęcia budynku kilkunastopiętrowego z wysokości np. 1000 m powoduje, iż dach na zdjęciu lewym znajduje się w innym miejscu niż na zdjęciu prawym w odniesieniu do tych samych punktów terenu. Otoczenie dla punktu znajdującego się w pobliżu dachu na zdjęciu lewym, będzie całkiem inne na zdjęciu prawym.

Na końcu należy wspomnieć także o jeszcze jednym ważnym czynniku określającym obraz, a mianowicie struktura i tekstura obrazu. Dopasowanie obrazów przedstawiających lasy, krzewy lub zawierających jednolite fragmenty takie jak wody stojące, łąki jest obarczona dużym prawdopodobieństwem wystąpienia błędnego dopasowania pomimo wysokiego współczynnika korelacji.

Najlepsze do korelacji wydają się być tereny o zróżnicowanej strukturze, zawierające elementy liniowe wzajemnie przecinające się (drogi, chodniki, ścieżki, granice pól itp.), elementy punktowe wyróżniające się jasnością w stosunku do tła oraz elementy powierzchniowe o urozmaiconym rysunku. Jednakże, jak można wnioskować z poprzedniego akapitu, obraz przedstawiający blokowisko, pomimo że zawiera dużo elementów liniowych i punktowych nie da wyników, jakich spodziewalibyśmy się, co zostanie poparte wynikami testów opisanych w dalszej części artykułu.

3. ALGORYTM DOPASOWANIA OBRAZÓW ZAIMPLEMENTOWANY Z WYKORZYSTANIEM FUNKCJI BIBLIOTECZNYCH

Ogólna zasada działania polega na wyznaczeniu na pewnej określonej części obrazu prawego, najlepszego dopasowania szablonu pobranego z obrazu lewego, przechodząc sukcesywnie przez kolejne poziomy piramidy obrazów lewego i prawego. Schemat autorskiego algorytmu przedstawiono na rysunku 1. Szablon ze zdjęcia lewego jest buforem, o określonym rozmiarze zależnym od poziomu piramidy, wokół punktu, który będzie szukany na zdjęciu prawym. Część obrazu prawego, na którym dokonuje się przeszukiwanie jest wyznaczana jako bufor, o punkcie centralnym równym przewidywanemu położeniu punktu homologicznego na zdjęciu prawym. Określenie prawdopodobnego położenia szukanego punktu następuje na podstawie wartości przesunięcia między obrazami lub na podstawie położenia dopasowanego punktu z poprzedniego poziomu piramidy. Przeszukiwanie zaczyna się od najmniejszego obrazu piramidy, czyli od najwyższego poziomu. Przechodzi kolejno na następne poziomy i kończy się na obrazie oryginalnym. Na każdym poziomie piramidy korelowane są poszczególne punkty, a wyniki są zapisywane do odpowiedniego wektora. W trakcie wykonywania matchingu wartości przesunięć dx i dy są na bieżąco aktualizowane dla punktów wykazujących wysoki współczynnik dopasowania (minimalizacja błędów).

Określenie dopasowania danego szablonu na obszarze przeszukiwania polega na obliczeniu wartości dwuwymiarowej funkcji kowariancji i przedstawieniu jej w postaci mapy dopasowania dla każdego położenia szablonu względem obszaru przeszukiwania. Określenie najlepszego dopasowania polega na znalezieniu maksymalnej (w przypadku metody obliczania dopasowania opartej na podobieństwie) wartości piksela na powstałej mapie i zwróceniu go jako szukany punkt.

Do operacji na plikach obrazów wykorzystanie zostały funkcje z biblioteki OpenCV. Gotowe funkcje zostały także użyte do obliczania współczynnika dopasowania dla dwóch fragmentów obrazów – wynikiem jest mapa dopasowania, oraz do odnajdywania maksymalnej wartości piksela – szukanie punktu najlepszego dopasowania. Tworzenie piramid obrazów oparte jest także na funkcjach dostarczanych przez bibliotekę. Cały mechanizm działania algorytmu jest pomysłem autorskim.

Wielkość obszaru dopasowywanego, rozmiar przeszukiwanego bufora oraz wartość progu decydującego o poprawności dopasowania są parametrami dowolnie konfigurowalnymi. Optymalne wartości tych parametrów zostały dobrane na drodze testów.

4. DOBÓR PARAMETRÓW DOPASOWANIA

Parametry algorytmu były dobierane już na etapie tworzenia aplikacji. Pierwsze testy miały na celu wybór najlepszej metody obliczania współczynnika dopasowania spośród trzech oferowanych przez funkcję *cvMatchTemplate()*, zaimplementowaną w bibliotece OpenCV (Opencvlibrary, 2007). Testy zostały przeprowadzone na dwóch fragmentach zobrazowania miasta Bytomia. Charakteryzowały się one gęstą zabudową miejską z dużą ilością wysokich bloków, rozdzielczość terenowa wynosiła 36cm/piksel, a wielkość obrazu 5448x5424 pikseli. Za każdym razem korelowanych było 30 tych samych punktów, wybranych uprzednio na zdjęciu lewym. Korelowane one były kolejno z wykorzystaniem metod opartych o:

- sumę kwadratów różnic,
- współczynnik korelacji,
- współczynnik kowariancji.

Rozmiar szablonu wynosił 30x30 pikseli dla pierwszego fragmentu i 50x50 dla drugiego, a przeszukiwane okno wynosiło 200x200 pikseli. Pierwszym celem było określenie, która z metod daje najlepsze wyniki dopasowania punktów. Drugim, zbadanie zależności między poprawnością znalezienia punktów homologicznych a obliczoną wartością współczynnika dopasowania. Sprawdzanie poprawności znalezienia punktów zostało wykonane w sposób manualny. Największą skuteczność i najbardziej obiecujące wartości progu zostały uzyskane dla metody opartej na funkcji kowariancji. I tą metodę wybrano do dalszych badań.

4.1 Sprawdzenie optymalnego rozmiaru maski (template) dla każdego poziomu piramidy

Kolejne testy miały za zadanie określić optymalny rozmiar maski dla każdego poziomu piramidy, ponieważ każdy z nich różni się stopniem generalizacji, co powinno wpływać na skuteczność dopasowania i wiązać się z rozmiarem dopasowywanego wycinka

lewego obrazu. W pierwszej kolejności wykonano testy na obrazie oryginalnym, czyli dla zerowego poziomu piramidy. Zostały one przeprowadzone na obrazach miasta Bytomia (zdjęcia lotnicze w skali 1:5600, piksel skanowania 44 μm).

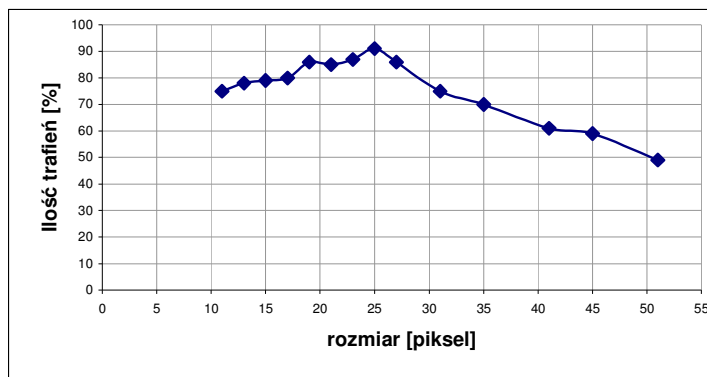


Rys. 1. Schemat zastosowanego algorytmu

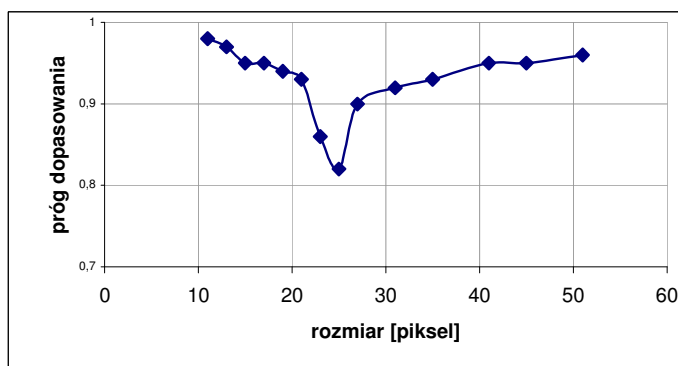
Za pomocą autografu cyfrowego VSD zostało pomierzonych na stereogramie 100 punktów. Punkty ze zdjęcia lewego stanowiły wejście dla aplikacji, a punkty z prawego były punktami kontrolnymi – na ich podstawie była oceniana poprawność dopasowania. Rozmiar szablonu zmieniał się od 11x11 pikseli do 51x51 pikseli.

Rysunek 2 przedstawia zależność rozmiaru szablonu od uzyskiwanych skuteczności dopasowania. Maksimum przypada dla wartości około 25 pikseli. Na rysunku 3 przedstawiona jest zależność progu, rozumianego jako maksymalna wartość miary dopasowania, powyżej której uznajemy punkty za dobrze dopasowanie, od rozmiaru szablonu. Najlepszy wynik został uzyskany dla rozmiarów szablonu w okolicach 25 pikseli.

Testy mające na celu określić optymalny rozmiar dla pozostałych poziomów piramidy zostały przeprowadzone zarówno na zobrazowaniach Bytomia jak i Krakowa. Zdjęcia Krakowa przedstawiały tereny podmiejskie, pola uprawne i stawy. Miały tą samą rozdzielczość terenową i podobny rozmiar.



Rys. 2. Wykres zależności ilości poprawnie skorelowanych punktów od rozmiaru szablonu



Rys. 3. Wykres zależności wartości progu dopasowania od rozmiaru szablonu

Dopasowywana była siatka złożona z 60 punktów, o rozmiarze oczka 500 pikseli. Badane były obrazy ośmio-, cztero- i dwukrotnie mniejsze od oryginału. Oprócz skuteczności dopasowania w zależności od rozmiaru, brana była pod uwagę wartość progu, czyli liczba, jaka mogła być przyjęta w algorytmie do automatycznej oceny poprawności dopasowania. Przetestowano rozmiary od 11x11 do 51x51. Dla każdego poziomu piramidy zestawiono dwa wykresy przedstawiające zależność skuteczności i progu od rozmiaru maski (Gryboś *at al.*, 2007).

Testy przeprowadzone i opublikowane (Gryboś *at al.*, 2007) wykazały, iż optymalny rozmiar maski (template) dla obrazu oryginalnego wynosi 25 pikseli. W przypadku obrazów pomniejszonych (zdegradowanych) wartość optymalnego rozmiaru wzrasta i może być dobrana z przedziału od ponad 30 do ponad 40, średnio dla wszystkich poziomów piramidy. Dla obrazów najmniejszych, w przedziale 29 – 51, skuteczność praktycznie się nie zmienia i jest tak samo wysoka dla obydwu scen. Wynika to z faktu, iż degradacja na obrazie Bytomia jest już tak znaczna, że zredukowany jest wpływ wysokich budynków i gęstej zabudowy miejskiej na skuteczność dopasowania. Wykres progu

przedstawia w jeszcze lepszym świetle zobrazowanie Bytomia, gdyż w zaznaczonym przedziale wartość progu oscyluje w okolicy 0,60, przy 0,70 dla zdjęć Krakowa. Na wyższym poziomie piramidy uwidacznia się już wpływ różnorodności terenów przedstawionych przez testowanie sceny, skuteczność dopasowania dla Krakowa jest wyższa, ale próg jest niższy dla Bytomia. Optymalny rozmiar maski (template) mieści się w przedziale do 30 do 45. Próg w przypadku Krakowa waha się w pobliżu 0,70, a dla Bytomia jest to wartość od około 0,60 do nawet 0,55.

Dla obrazów dwukrotnie mniejszych optymalny przedział jest podobny jak dla obrazów czterokrotnie mniejszych. Wzrasta natomiast wartość progu: Kraków – 0,70 i Bytom – 0,80÷0,75. Uwidacznia się także w jeszcze większym stopniu, różnica w skuteczności dopasowania.

Na podstawie tych wyników możemy określić optymalne parametry dla algorytmu dopasowania, które pozwolą nam jak najlepiej dopasowywać punktu począwszy od najmniejszego obrazu piramidy.

5. OCENA SKUTECZNOŚCI DOPASOWANIA

Oceny skuteczności dopasowania dokonano poprzez wykonanie dopasowania na zestawie pięciu stereogramów. Oprócz używanych we wcześniejszych testach zobrazowań Bytomia i Krakowa, przetestowano również zdjęcia z centrum Krakowa i z terenów pustynnych. Dla każdego stereogramu była generowana siatka punktów o rozmiarze 200 pikseli. Dopasowanie odbywało się dla parametrów otrzymanych z wcześniejszych testów. W przypadku zdjęć kolorowych dokonano dopasowania dla każdej składowej.

Dla każdego stereogramu została sporządzona tabela przedstawiająca skuteczność dopasowania w zależności od wartości progu. W przypadku obrazów RGB mamy możliwość oceny, który komponent jest najlepszy do korelacji.

Tab 1. Wyniki dopasowania dla zobrazowania miasta Bytomia w skali 1: 5600

Próg	0,6	0,7	0,8	0,9
Skuteczność [%]	70,6	48,6	27,5	12,0

Tab 2. Wyniki matchingu na obrazach z Krakowa w skali 1: 5000

Próg	Red	Green	Blue
	Skuteczność [%]	Skuteczność [%]	Skuteczność [%]
0,5	79,17	95,4	92,1
0,6	64,58	87,5	83,1
0,7	49,77	75,9	75,2
0,8	33,80	52,1	58,1
0,9	19,44	26,2	31,5

Tab 3. Wyniki matchingu na obrazach z pustyni w skali 1:10000

Próg	Red	Green	Blue
	Skuteczność [%]	Skuteczność [%]	Skuteczność [%]
0,5	90,4	94,4	94,4
0,6	85,3	90,3	89,6
0,7	77,4	84,9	83,3
0,8	66,7	73,9	72,4
0,9	48,1	55,7	58,2

Tab 4. Wyniki matchingu na obrazach z Krakowa w skali 1:26 000 – tereny podmiejskie

Próg	Red	Green	Blue
	Skuteczność [%]	Skuteczność [%]	Skuteczność [%]
0,5	89,0	94,3	89,3
0,6	78,8	85,6	82,4
0,7	66,4	76,2	73,7
0,8	51,6	60,5	59,8
0,9	27,7	35,1	35,8

Tab 5. Wyniki matchingu na zobrazeniach Krakowa w skali 1:26 000 – tereny miejskie

Próg	Red	Green	Blue
	Skuteczność [%]	Skuteczność [%]	Skuteczność [%]
0,5	94,4	96,5	97,9
0,6	89,1	92,0	92,1
0,7	78,1	81,6	82,0
0,8	57,7	62,9	62,9
0,9	29,9	31,4	32,4

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W ramach badań przetestowano autorskie oprogramowanie „Image Correlation”, wchodzące w skład systemu VSD-WIN. Badania przeprowadzono na obrazach powstałych z zeskanowania zdjęć analogowych tj. Bytom i Kraków (różna skala i tekstura obrazu) oraz

z kamery cyfrowej (pustynia – rejon Afryki). Ocenie poddano skuteczność dopasowania obrazów, badaną na podstawie progu liczonej korelacji tzn. im wyższy próg tym ilość punktów wykrytych maleje. Dla wszystkich zdjęć kolorowych (trzy składowe R G B), kanał niebieski wykazuje największą skuteczność przy progu 0.9. Stwierdzono również, że aby mieć skuteczność na poziomie 50 %, należy korelować obrazy przy założonym progu 0.7.

Przeprowadzone analizy wykazały, że istotnym czynnikiem wpływającym na skuteczność działania algorytmu są właściwości samego obrazu, jego skala, rodzaj przedstawianego użytkownika, struktura i tekstura. Zauważono, że korelacja na obrazach przedstawiających obszary zalesione i zakrzewione lub zawierających jednolite fragmenty takie jak wody stojące, pola jest obciążona dużym prawdopodobieństwem wystąpienia błędnego dopasowania pomimo wysokiego współczynnika. Także skala zdjęć ma duże znaczenie na dopasowanie, co było przedmiotem odrębnych badań (Pawlik et al., 2007).

Podsumowując można stwierdzić, że zagadnienie dopasowania obrazów jest w dalszym ciągu problemem aktualnym. Powstałe oprogramowanie pozwala w pewnym stopniu uczynić krok do przodu, jednak wymaga w dalszym ciągu pracy na skutecznością działania i optymalizacją algorytmu. Przeprowadzone pierwsze testy świadczą jednak o dobrym kierunku obranym przez autorów. Autorzy widzą sens dalszych eksperymentów.

7. LITERATURA

Kraus K.: *Photogrammetry*, Bonn, Dummler, 1997.

Gryboś P., Mikrut S.: Analiza możliwości wykorzystania funkcji biblioteki „OpenCV 1.0” do automatycznego dopasowania zdjęć lotniczych; *Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne Kraków; Półrocznik Automatyka*; Tom 11; rok 2007; str. 89 -102.

Intel, 2007: <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>

Openclibrary, 2007: <http://opencvlibrary.sourceforge.net/>

Pawlik P., Mikrut S., Porównanie dokładności wybranych metod dopasowania obrazów zdjęć lotniczych, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol.17*. Dobczyce 2007 (Praca w druku).

Potuckova M., „Image matching and its application in photogrammetry”. Rozprawa doktorska, *Czeska Wyższa Uczelnia w Pradze, Aalborg*, 2004.

Praca zbiorowa, *Manual of Photogrammetry – Fifth Edition*, Bethesda , ASPRS, 2004.

Pracę wykonano w ramach grantu projektu badawczego KBN Nr 4 T12E 001 27

ANALYSING PARAMETERS OF AUTOMATIC MATCHING PROCESSES ON AERIAL IMAGES

KEY WORDS: digital photogrammetry, images matching, correlation, matching coefficient

SUMMARY: One of the works conducted in the Department of Photogrammetry and Remote Sensing Informatics, University of Science and Technology, Kraków, Poland included the development of an algorithm for aerial images matching. The algorithm utilises the function of an available OpenCV opensource library, which is used to process images.

The application algorithm, which finds homological points in images that form a stereogram, utilises the OpenCV library. The operation of the algorithm consists in determining, in a particular part of the right image, the best template downloaded from the left image, by means of successive passing through the levels of the right and left image pyramids. The left image template is a buffer of a specific size, which depends on the pyramid level, around the point to be searched for in the right image. Part of the right image, in which the search is performed, is determined as a buffer whose central point is equivalent to the anticipated position of the homological point in the right image. The determination of the probable position of the point searched for is made based on the displacement value between images, provided that this is the first iteration after the pyramid levels, or based on the point's position from the previous pyramid level, when the value of the matching coefficient is higher than the threshold set. The search starts from the smallest image of the pyramid, it is from the highest level. Then, it passes to lower levels, one after another, and ends in the original image. On each level of the pyramid, particular points are corrected, and results are ascribed to proper vectors.

The value of a matching coefficient determines the size of the area in the right image to be searched through. The values of displacement along the x and y axes are updated on a current basis, with respect to points that demonstrate high matching coefficient (the minimisation of errors).

The determination of a given template matching within the search area consists in calculating the value of a two-dimensional co-variance function (correlation or distance) for two-dimensional signals that the images are, and presenting them in a form of a matching map for each template position in relation to the search area. The determination of a best match consists in finding the maximum value of pixel on the map, and returning it as the point searched for.

In order to improve the efficiency of the algorithm, tests were conducted along with the analysis of image matching parameters' selection. An optimum size of the template was determined in the course of research, and also the behaviour of the image matching coefficient was studied.

mgr inż. Paweł Gryboś
e-mail: pawelgrybos@interia.pl

dr inż. Sławomir Mikrut
e-mail: smikrut@agh.edu.pl
telefon: (012) 617 2302
fax: (012) 617 3993