

Piotr Pawlik\*, Sławomir Mikrut\*\*

## **Porównanie dokładności metod wyznaczania punktów charakterystycznych na parach zdjęć lotniczych\*\*\***

### **1. Wstęp**

W celu rozwiązania problemu znalezienia odpowiadających sobie punktów na parze zdjęć lotniczych opracowano algorytm oparty na metodzie SIFT [3, 4, 5] oraz dokonano jego wstępnej implementacji i weryfikacji. Metoda SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform*) należy do metod detekcji stabilnych cech lokalnych i jest wykorzystywana m.in. do automatycznego tworzenia zdjęć panoramicznych, wyszukiwania wzorcowych obiektów na obrazach cyfrowych, nawigacji robotów (również w zastosowaniach przemysłowych). Przewagę tej metody nad innymi sposobami opisu punktów charakterystycznych potwierdzają m.in. badania Mikołajczyka i Schmid [6]. W ramach pracy dokonano również implementacji dwóch innych dostępnych algorytmów (Harris i Hesjan), a następnie porównano wszystkie trzy metody na podstawie wyliczeń na rzeczywistych obrazach zdjęć lotniczych dla dwóch wybranych skal.

### **2. Metody wyszukiwania punktów charakterystycznych**

Wyszukiwanie punktów charakterystycznych stanowi podstawę wielu zastosowań z zakresu autonomicznych systemów wizyjnych, wyszukiwania obrazów, czy też łączenia obrazów. Ponadto stworzone na potrzeby porównywania znalezionych punktów deskryptory ich otoczeń są stosowane nie tylko do porównywania obrazów, ale także do segmentacji. Zagadnienie wyszukiwania punktów charakterystycznych na potrzeby łączenia zdjęć lotniczych cechuje się pewną specyfiką, odróżniającą ten problem od zwykłego łączenia zdjęć (np. automatycznego tworzenia zdjęć panoramicznych). W przypadku zdjęć lotniczych ważnym aspektem jest uzyskanie dokładnych współrzędnych korespondujących punktów. Natomiast sposób wykonywania tych zdjęć gwarantuje dużą niezmiennosć skali i wzajem-

---

\* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; piotrus@agh.edu.pl

\*\* Zakład Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie; smikrut@agh.edu.pl

\*\*\* Praca finansowana z grantu Komitetu Badań Naukowych nr 4T12E 001 27

nego obrotu kolejnych ujęć. Powyższa specyfika wymusza konieczność weryfikacji użyteczności różnych metod wyszukiwania punktów charakterystycznych dla zastosowań fotogrametrycznych. Jedną z częściej stosowanych w wielu zastosowaniach metod jest algorytm SIFT. Jego użyteczność została potwierdzona także w łączeniu zdjęć lotniczych [7]. Jednakże metoda ta, charakteryzując się dużą niewrażliwością na zmianę skali, wydaje się nadmierowa w zastosowaniach, w których różnice skali są niewielkie – takich jak zastosowania fotogrametryczne. Z tego powodu w niniejszym artykule została podjęta próba porównania metody SIFT z innymi, prostszymi metodami wyszukiwania punktów charakterystycznych. W literaturze zwraca się uwagę, że w standardowych zastosowaniach przypadkach niewielkiej zmiany skali metodą lepszą od SIFT jest klasyczna metoda Harissa [2]. Należało stwierdzić, czy także w zastosowaniach fotogrametrycznych metoda Harissa wykaże swoją wyższość. Oprócz metody Harissa dla porównania wybrano jeszcze jedną „klasyczną” metodę wyznaczania punktów charakterystycznych, jaką jest liczenie wyznacznika hesjanu [1].

### 3. Metodologia porównania najlepszych punktów wspólnych pary zdjęć lotniczych

Najistotniejszą różnicą w sposobie wyznaczania punktów charakterystycznych pomiędzy SIFT-em a pozostałymi metodami jest występowanie w algorytmie SIFT piramidy rozdzielczości umożliwiającej porównywanie obrazów w różnych skalach. Ponieważ zarówno Harris, jak i Hesjan są wyliczane tylko dla jednej skali (co jest wystarczające w wypadku zdjęć lotniczych), na potrzeby porównania metoda SIFT wyliczana była podobnie (bez piramidy). Dodatkowym efektem zawężenia się do jednej skali było zaniechanie wyznaczania podpikselowych współrzędnych punktów w metodzie SIFT, która korzystając z obrazów w trzech kolejnych skalach potrafi aproksymować położenie punktu charakterystycznego z dokładnością większą niż jeden piksel. Tak więc, wszystkie trzy metody wyznaczały współrzędne znalezionych punktów z dokładnością pikselową.

Ze względu na to, że każda metoda wyznaczała inne punkty charakterystyczne jako weryfikator dokładności wyznaczania współrzędnych odpowiadających sobie punktów par zdjęć wybrano średnią paralaksę poprzeczną liczoną dla modelu po wykonaniu orientacji wzajemnej zdjęć [8].

Średnia paralaksa na modelu liczona dla poszczególnych punktów wchodzących w skład orientacji, daje wyobrażenie o dokładności poszczególnych algorytmów. Wyboru tego parametru dokonano głównie w aspekcie praktycznym, ponieważ w pracach fotogrametrycznych jest to parametr mówiący o dokładności „spasowania” punktów na modelu i jednocześnie jest kryterium dopuszczającym dane pomiary do dalszych etapów procesu fotogrametrycznego.

Do obliczeń wykorzystano procedurę orientacji wzajemnej modelu metodą Schutta zaimplementowaną do systemu VSD-WIN, realizowanego w ramach tego samego projektu badawczego.

W celu znalezienia odpowiadających sobie punktów na parze zdjęć lotniczych konieczny był wybór metody opisu otoczeń wyznaczonych punktów w celu ich porównania (i ewentualnego zaklasyfikowania jako punkty wspólne). Badania Mikołajczyka i Schmid [6] wykazały, że najlepszym deskryptorem otoczeń punktów jest wektor cech zaproponowa-

ny przez Lowe'a [5] w metodzie SIFT. Należy tu podkreślić, że wyznaczanie punktów charakterystycznych i wyznaczanie ich deskryptorów są w metodzie SIFT całkowicie odrębne. Dlatego też użycie deskryptorów SIFT dla wszystkich metod wyznaczających punkty charakterystyczne nie faworyzowało żadnej z nich. Pozwoliło to na skoncentrowaniu się jedynie na dokładności wyznaczenia punktów charakterystycznych, co było głównym przedmiotem badań. Przykładowe punkty spasowane metodą SIFT przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Fragmenty porównywanych zdjęć lotniczych wraz z wyznaczonymi metodą SIFT punktami charakterystycznymi dla obrazu Bytom

## 4. Wyniki testowania poprawności wyznaczenia współrzędnych punktów charakterystycznych

### 4.1. Przebieg eksperymentu

W pierwszym kroku dokonano pomiaru manualnego punktów do orientacji wzajemnej, tj. tych samych punktów na zdjęciu lewym i prawym. Pomiaru dokonano w programie VSD-WIN. Następnie dla tych punktów została policzona orientacja wzajemna, celem obliczenia elementów orientacji oraz paralaksy poprzecznej.

Następnym krokiem było uruchomienie procedur: SIFT, Harris i Hesjan. Algorytmy te zostały oprogramowane i uruchomione w zewnętrznym kompilatorze. Każdy z algorytmów automatycznie wyszukiwał punkty orientacji wzajemnej. Weryfikacja poprawności wyznaczenia tych punktów odbywała się zgodnie z algorytmem opisanym w pracy [7].

Dla każdej testowanej pary zdjęć (tj. Kraków\_1, Kraków\_2 oraz Bytom), dokonano pomiaru manualnego dla sześciu rejonów oraz automatycznego, niezależnie dla metod: SIFT, Harris oraz Hesjan. Idealne rozmieszczenie punktów występuje miejscach tzw. rejonów Grubera, tzn. w obszarze podwójnego pokrycia zdjęć, w każdym z narożników oraz po punkcie na środku zdjęcia. Program VSD-WIN pozwala na wczytanie w pliku \*.txt współrzędnych obrazu w układzie pikselowym. Stąd po uruchomieniu programów zewnętrznych liczących wybrane metody dokonano importu współrzędnych. Następnie została obliczona orientacja wzajemna dla wszystkich metod. Dodatkowo dokonano oceny wizualnej roz-

mieszczenia punktów skorelowanych automatycznie w skali od 0 do 6 (gdzie 0 oznacza najgorszej a 6 – najlepsze rozmieszczenie). Wyniki eksperymentu zamieszczono w tabeli 1.

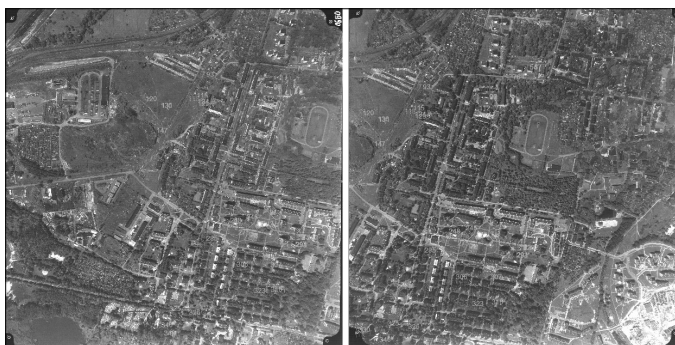
Na rysunkach 2–4 przedstawiono przykład rozmieszczenia punktów na obrazie Bytom po zastosowaniu poszczególnych algorytmów, tj. SIFT, Harris, Hesjan.



Rys. 2. Przykład rozmieszczenia punktów w metodzie SIFT dla obrazu Bytom



Rys. 3. Przykład rozmieszczenia punktów w metodzie Harris dla obrazu Bytom



Rys. 4. Przykład rozmieszczenia punktów w metodzie Hesjan dla obrazu Bytom

**Tabela 1**  
Wyniki spasowania obrazów Kraków\_1, Kraków\_2 oraz Bytom

Obraz	Metoda pomiaru	Liczba punktów	Paralaksa poprzeczna początkowa	Paralaksa $Q$	Rozmieszczenie
Kraków_1	Pomiar manualny	6	12,2	0,002	6
	SIFT	24	8,5	0,030	4
	Harris	34	8,8	0,024	3
	Hesjan	28	8,9	0,012	3
Kraków_2	Pomiar manualny	6	-3,1	0,002	6
	SIFT	36	-1,9	0,017	5
	Harris	51	-1,3	0,093	4
	Hesjan	30	-1,3	0,012	3
Bytom	Pomiar manualny	6	11,2	0,012	6
	SIFT	33	17,8	0,034	3
	Harris	33	17,9	0,06	4
	Hesjan	57	10,9	0,04	3

Porównania metod dokonano w oparciu o liczbę wykrytych (spasowanych) punktów, paralaksę poprzeczną, Paralaksę  $Q$  oraz rozmieszczenie punktów na obrazie. Jak widać z zamieszczonej tabeli, metody automatyczne mimo większej liczby punktów w porównaniu z metodami manualnymi, cechuje mniejsza paralaksa, co może świadczyć o celowości zastosowania tych metod w praktyce. Jeśli chodzi o porównanie metod, trudno tutaj jednoznacznie pokusić się o wskazanie pierwszeństwa jakiejś metody, na co wpływ może mieć różny rodzaj materiału badawczego (zdjęcia o zróżnicowanej teksturze obrazu).

W drugim etapie badań analizy punktów spasowania dokonano w każdym z sześciu wspomnianych obszarów niezależnie. Spowodowano, że wszystkie metody dostarczyły po 6 punktów w każdym obszarze (w sumie 36 najlepszych punktów). Wyniki zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2**  
Wyniki spasowania obrazów Kraków\_1, Kraków\_2 oraz Bytom  
dla jednakowej liczby punktów (36)

Obraz	Metoda pomiaru	Liczba punktów	Paralaksa poprzeczna początkowa	Paralaksa $Q$	Rozmieszczenie
Kraków_1	SIFT	36	10,9	0,024	6
	Harris	36	12,4	0,027	6
	Hesjan	36	10,8	0,020	6
Kraków_2	SIFT	36	-2,6	0,020	5
	Harris	36	-2,1	0,020	5
	Hesjan	36	-1,9	0,017	5
Bytom	SIFT	36	9,0	0,030	5
	Harris	36	11,9	0,054	5
	Hesjan	36	9,4	0,029	5

## 5. Podsumowanie i wnioski

Praca miała na celu porównanie metod znajdowania (spasowania) odpowiadających sobie punktów na parze zdjęć lotniczych. Do porównania wybrano trzy algorytmy: SIFT, Harris, Hesjan, a następnie porównano je z pomiarem manualnym. Metody te przetestowano na rzeczywistych obrazach zdjęć lotniczych: Kraków\_1, Kraków\_2 i Bytom.

Celem porównania wyników wybrane zostały następujące parametry:

- liczba pomierzonych punktów,
- średnia paralaksa poprzeczna na modelu,
- paralaksa liczona ze wszystkich składowych,
- rozmieszczenie punktów na modelu.

Wyniki wskazują na to, że metody automatyczne dają porównywalne rezultaty, jeśli chodzi o dokładność (paralaksa), natomiast gorzej kształtuje się kwestia rozmieszczenia punktów. Autorzy pracują nad poprawieniem algorytmu, który wybierałyby punkty może o mniejszej dokładności, ale za to w każdym z kluczowych miejsc modelu stereoskopowego (tzw. rejonach Grubera).

Jeśli chodzi o metody automatyczne (biorąc pod uwagę paralaksę i rozmieszczenia punktów), relatywnie najlepiej zachowuje się metoda SIFT (najwyższe oceny, jeśli chodzi

o rozmieszczenie punktów i stosunkowo dobre dokładności). Przy założonej jednakowej liczbie punktów do orientacji (36) stosunkowo dobrze wypadła metoda Hesjan.

Zwraca uwagę fakt, że wybrane metody na różnych obrazach prezentują różne dokładności, co może świadczyć o tym, że są czułe na „teksturę” obrazu. Będzie to przedmiotem dalszych badań autorów.

### Literatura

- [1] Haar Romeny B.M. *et al.*: *Higher order differential structure of images*. Image and Vision Computing, 12(6), 1994, 317–325
- [2] Harris C., Stephens M.J.: *A Combined Corner and Edge Detector*. Alvey Vision Conference, 1988, 147–152
- [3] Ke Y., Sukthankar R.: *PCA-SIFT: A More Distinctive Representation for Local Image Descriptors*. Computer Vision and Pattern Recognition, 2004
- [4] Lowe D.G.: *Object recognition from local scale-invariant features*. International Conference on Computer Vision, 1999, 1150–1157
- [5] Lowe D.G.: *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*. International Journal of Computer Vision, 60, 2, 2004, 91–110
- [6] Mikołajczyk K., Schmid C.: *A performance evaluation of local descriptors*. Proceedings of the 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003
- [7] Pawlik P., Mikrut S.: *Wyszukiwanie punktów charakterystycznych na potrzeby łączenia zdjęć lotniczych*. Półrocznik Automatyka, t. 10, z. 3, Wydawnictwa AGH 2006, 407–412
- [8] Sitek Z.: *Fotogrametria Ogólna i Inżynierska*. Warszawa, PPWK im. E. Romera 1990, 154–160