

CYFROWA KOREKCJA WINIETOWANIA ZDJĘĆ LOTNICZYCH

DIGITAL CORRECTION OF AERIAL PHOTOGRAPHS VIGNETTING

Sławomir Królewicz

Zakład Gleboznawstwa i Teledetekcji Gleb, Instytut Geografii Fizycznej
i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza
w Poznaniu

SŁOWA KLUCZOWE: analogowe zdjęcie lotnicze, wienietowanie, cyfrowa korekcja

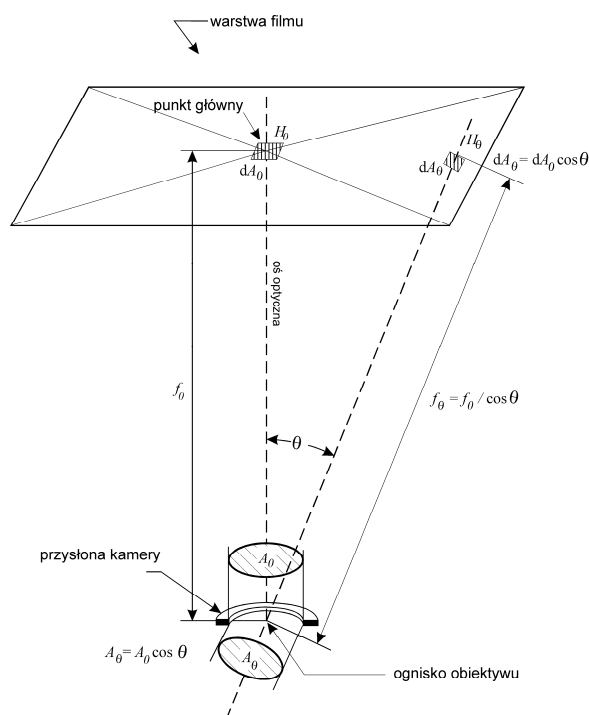
STRESZCZENIE: Archiwalne analogowe zdjęcia lotnicze są, bądź będą, poddawane skanowaniu i udostępnianiu poprzez Internet w celu ich dalszego wykorzystania w pracach fotogrametrycznych i badaniach środowiska. Zdjęcia mogą być udostępniane indywidualnie lub mogą podlegać ortorektyfikacji a następnie montażowi do postaci ogromnych, w sensie rozmiarów, obrazów rastrowych. Stosowane w trakcie montażu metody wyrównania kontrastu pomiędzy sąsiednimi zdjęciami nie zawsze są na tyle skuteczne, aby usunąć widoczny efekt wienietowania i dwukierunkowego odbicia spektralnego – dwóch kluczowych zjawisk modyfikujących rozkład naświetlenia na zdjęciu lotniczym wykonanym kamerą o stożkowym polu widzenia. Wpływ obu zjawisk jest szczególnie widoczny w kamerach normalnokątnych i szerokokątnych. Zastosowanie korekcji wienietowania przed przystąpieniem do montażu zdjęć lotniczych, pozwala uzyskać mozaiki wizualnie pozbawione efektów radialnego ściemnienia z wykorzystaniem metod statystycznych lub manualnych. Niniejsza praca prezentuje metodę korekcji wienietowania wraz ze sposobem optymalizacji uwzględniającym zmienne warunki fotografowania.

1. WPROWADZENIE

Spośród teledetekcyjnych technik pozyskiwania danych o środowisku, najstarszą jest fotografia lotnicza, za pomocą której obraz jest rejestrowany na filmie przy wykorzystaniu kamery fotograficznej w zakresie spektralnym obejmującym promieniowanie widzialne i bliską podczerwień (Camera Calibration Panel Report, 2000; Mather, 1999; Lillesand i Kiefer, 1994). W ostatnich kilkunastu latach tradycyjne kamery lotnicze są zastępowane przez wysokorozdzielcze lotnicze systemy teledetekcyjne wyposażone w kamery cyfrowe, przeznaczone głównie do zastosowań fotogrametrycznych (Beutner in., 1999; Braunecker i in. 2000; Scholten i Sujew, 1999). Nowoczesna technologia pozwala przyspieszyć i ulepszyć proces przetwarzania uzyskiwanych obrazów, np. w kamerach cyfrowych wienietowanie jest usuwane przed zapisem obrazu cyfrowego. Jedną z cech fotografii analogowej, której nie osiągnęła jeszcze technika cyfrowa, jest jej „długowieczność”. Zdjęcia zapisane na filmie fotograficznym mogą być przechowywane przez setki lat, wobec 10-20 lat trwałości nośników cyfrowych. W Polsce i na świecie zasoby archiwalnych zdjęć lotniczych są ogromne. Na przykład, zdjęcia lotnicze wykonane przez niemiecką Luftwaffe

w trakcie drugiej wojny światowej, przechowywane w *The Aerial Reconnaissance Archives* (TARA), stanowią zbiór złożony z ponad siedmiu milionów fotografii. Archiwum TARA obecnie jest przenoszone z uniwersytetu w Keele do archiwum RCAHMS w Edynburgu (RCAHMS, 2008). W Polsce zasoby zdjęć lotniczych są głównie gromadzone przez Centralny ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej oraz przez Służbę Geograficzną Wojska Polskiego. Powszechne udostępnienie zdjęć zgromadzonych przez te instytucje pozwoliłoby na ich szersze wykorzystanie w badaniach środowiska przyrodniczego, zwłaszcza badaniach ewolucji środowiska, pracach planistycznych, projektowych czy archeologicznych itp. Udostępnienie zdjęć analogowych w postaci cyfrowej, umożliwi ich wstępną korekcję, poprzez usunięcie wpływu winietowania a zatem lepsze ich przygotowanie do interpretacji.

Wspólną cechą fotograficznych i cyfrowych sensorów teledetekcyjnych jest wykorzystywanie układów optycznych o stożkowym polu widzenia. Materiał, z którego zbudowane są soczewki obiektywu i jego konstrukcja, są przyczyną tego, iż strumień światła docierający bezpośrednio do błony filmowej lub powierzchniowej matrycy CCD, przechodząc przez układ optyczny (rys. 1), ulega radialnemu osłabieniu w miarę wzrostu odległości od punktu głównego zdjęcia (Lillesand i Kiefer 1994; Wójcik, 1989; Furmańczyk, 1980; Slater, 1975).



Rys. 1. Czynniki geometryczne powodujące naturalne winietowanie w obiektywie (zmodyfikowane na podstawie Lillesand i Kiefer, 1994)

Oslabienie naświetlenia jest powodowane przez trzy następujące czynniki geometryczne: zmniejszenie efektywnej powierzchni otworu względnego przysłony, A_θ ,

przy kącie padania promieni θ różnym od 0° ; zwiększenie odległości od ogniska obiektywu do płaszczyzny zdjęcia, f_θ , dla każdego punktu płaszczyzny zdjęcia poza punktem głównym i zmniejszenie efektywnego obszaru filmu, dA_θ , prostopadłego do promienia padającego pod kątem θ różnym od 0° . Reasumując, wskutek czynników geometrycznych naświetlenie (H) zmienia się zgodnie z poniższą formułą, zwaną prawem winietowania naturalnego (Jóźwicki, 1970) lub prawem Lamberta (Wojcik, 1989):

$$H_\theta = H_0 \cos^4 \theta \quad (1)$$

gdzie:

H_0 – naświetlenie w punkcie głównym zdjęcia,

H_θ – naświetlenie w dowolnym punkcie zdjęcia (poza punktem głównym).

Powyższa formuła jest spełniona dla układów optycznych, w których elementy budowy wewnętrznej obiektywu nie powodują dodatkowego rozpraszania światła. W takim przypadku zmiany przysłony nie wpływają na poprawność powyższej formuły. Natomiast w układach zbudowanych z wielu soczewek, osadzonych jedna w drugiej, występuje dodatkowe rozpraszanie światła, powodowane przez ich „samozacienienie”. Wskutek tego spadek naświetlenia w kierunku krawędzi zdjęcia następuje silniej, niż by to wynikało z prawa winietowania naturalnego i jest w tym przypadku zależny od wielkości otworu przysłony (Slater, 1975). Ma to szczególne znaczenie wobec automatycznej zmiany ustawień przysłony i czasu naświetlania dla każdego wykonywanego zdjęcia w trakcie przemieszczania kamery nad terenem. Osłabienie naświetlenia w kierunku od punktu głównego do krawędzi zdjęcia, wskutek dodatkowego rozpraszania światła na elementach wewnętrznych obiektywu, przebiega według bardziej ogólnej formuły (Lillesand i Kiefer, 1994; Slater, 1975; Furmańczyk, 1981):

$$H_\theta = H_0 \cos^n \theta \quad (2)$$

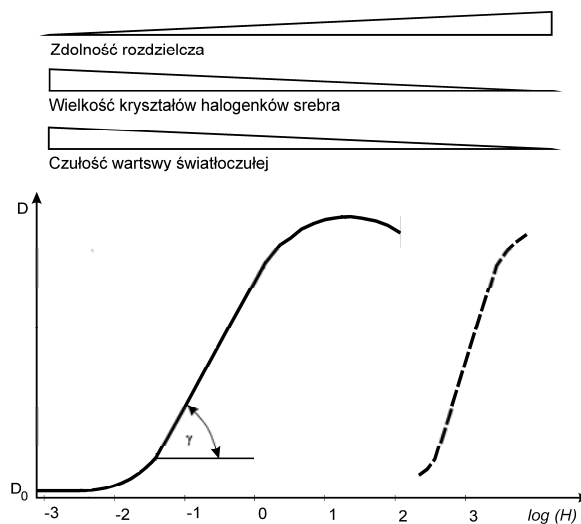
gdzie n jest wielkością wyznaczaną empirycznie dla danego układu optycznego.

Natężenie reakcji fotochemicznej, zachodzącej pod wpływem światła padającego na emulsję fotograficzną w momencie otwarcia migawki, można określić poprzez pomiar gęstości optycznej (D). Gęstość optyczna charakteryzuje przepuszczalność światła przez negatyw i jest logarytmem dziesiętnym naświetlenia docierającego do negatywu:

$$D = \log(H) \quad (3)$$

Wykres powstały z zależności gęstości optycznej (D) i logarytmu dziesiętnego naświetlenia (H) nosi nazwę krzywej charakterystycznej warstwy światłoczułej (rys. 2). Nachylenie krzywej informuje o kontrastowości (określane jest mianem współczynnika gamma), a jej położenie względem osi odciętych o czułości i rozdzielczości filmu. Krzywa, zaznaczona linią ciągłą, odnosi się do filmu o wyższej czułości i niskim kontraście, natomiast krzywa zaznaczona linią przerywaną charakteryzuje film o wyższym kontraście i niższej czułości. Dany kształt krzywej charakterystycznej zależy również od warunków

wywołania filmu fotograficznego. Prostoliniowy odcinek krzywej charakterystycznej to odcinek naświetleń użytecznych, który odznacza się stałym przyrostem gęstości optycznej. Odcinek użytecznych naświetleń tworzy z osią odciętych kąt δ . Tangens tego kąta nazywa się współczynnikiem kontrastowości gamma. W przypadku filmów kolorowych, każda z trzech warstw światłoczułych posiada odrębną krzywą charakterystyczną. W przypadku wysokiej jakości filmów wszystkie krzywe charakterystyczne dla poszczególnych warstw światłoczułych zazwyczaj się prawie pokrywają.



Rys. 2. Zdolność rozdzielcza, wielkość kryształów halogenków srebra oraz czułość warstwy światłoczułej na podstawie położenia krzywej charakterystycznej względem osi odciętych odnoszącej się do wartości logarytmu dziesiętnego naświetlenia (Geuthner, 1987; zmodyfikowany)

Do precyzyjnego pomiaru gęstości optycznej na negatywie zdjęcia lotniczego używa się wspólnie urządzeń zwanych skanerami. Jakość, z jaką skaner dokonuje pomiaru zależy od kilku jego parametrów: rozdzielczości optycznej, gęstości optycznej minimalnej i maksymalnej jaką jest w stanie rozpoznać skaner (Ihring S. i Ihring E., 1998). Rozdzielczość optyczna określa wymiary najmniejszej powierzchni elementarnej, w ramach której zostanie pomierzona średnia gęstość optyczna i jest wyrażana ilością tych elementów na jednostkę długości, najczęściej na cal. Gęstość minimalna, to najniższa a gęstość maksymalna to najwyższa wartość gęstości optycznej, jaką skaner potrafi zmierzyć. Na przykład, skaner fotogrametryczny DSW 500, przeznaczony do materiałów negatywowych, pozwala odczytywać gęstość optyczną w zakresie od 0,01 do 2,50 D. Za pomocą odpowiedniego oprogramowania, wartość zmierzonej gęstości optycznej (mierzona dla każdej warstwy filmu) jest konwertowana na współrzędne barwne w modelu RGB. Funkcja według, której dokonuje się tej konwersji, nie jest zapisywana jako metadane z zeskanowanym zdjęciem. Brak tej funkcji oraz niezastosowanie prawidłowych warunków wywołania filmu lotniczego uniemożliwiają analizy i korekcyjne radiometryczne, w tym usunięcie winietowania, na zdjęciach lotniczych w oparciu o względny logarytm

naświetlania, czyli wielkość związaną z rzeczywistą ilością światła słonecznego docierającego do negatywu.

Celem prezentowanej pracy było stworzenie metody korekcji winietowania na cyfrowych obrazach zdjęć lotniczych zapisanych w modelu barwnym RGB, przy wykorzystaniu względnego logarytmu naświetlenia H oraz procedury szacowania wartości wykładnika n w równaniu (2).

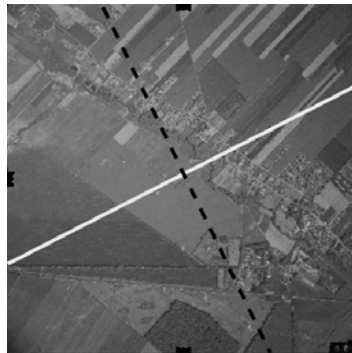
2. METODYKA

W celu dokonania konwersji współrzędnych barwnych RGB do wartości logarytmu naświetlenia w poszczególnych składowych barwnych zastosowano standardową krzywą charakterystyczną filmu, jednakową dla trzech warstw światłoczułych oraz liniową zależność pomiędzy gęstością optyczną a współrzędną barwną. Wynika z tego teoretycznie jednakowy zakres zmienności gęstości optycznej w każdej warstwie światłoczułej oraz taka sama wartość współczynnika kontrastowości γ . Przeliczenia współrzędnych barwnych do wartości logarytmu dziesiętnego naświetlenia, uwzględniając przyjęte założenia dokonywano według następującej formuły:

$$H_k = 10^{(W_k / (Dz / 255)) / \gamma} \quad (4)$$

gdzie:

- H_k – wartość logarytmu naświetlenia w składowej barwnej k ($k=\{R,G,B\}$),
- W_k – współrzędna w składowej barwnej k ($k=\{R,G,B\}$),
- Dz - zakres zmienności gęstości optycznej w składowych barwnych,
- γ – współczynnik kontrastowości.



Rys. 3. Położenie odcinka prostopadłego (biała linia) do kierunku głównej płaszczyzny słonecznej (czarna przerywana linia) na zdjęciu lotniczym

Winietowanie usuwano zgodnie ze wzorem (1) lub stosując metodę szacowania wykładnika n . Posłużyło to wizualnej ocenie skutków zastosowania dwóch różnych sposobów usuwania winietowania. Szacowanie wartości wykładnika n oparto na analizie symetryczności trendu spadku naświetlenia na odcinkach prostoliniowych łączących przeciwległe krawędzie zdjęcia i przechodzących przez punkt główny. Szukano odcinka,

który byłby położony prostopadle do głównej płaszczyzny słonecznej. Na tym odcinku wpływ warunków obserwacji na jasność obiektów jest znikomy a spadek naświetlenia jest związany zasadniczo tylko z winietowaniem. Znalezienia tego odcinka dokonywano poprzez analizę symetryczności spadku naświetlenia na odcinkach prowadzonych przez punkt główny zdjęcia co 5°, oddzielnie dla trzech składowych barwnych. Spadek naświetlenia na kolejnych odcinkach analizowano funkcją wielomianową drugiego rzędu. Dla znalezionej odcinka, prostopadłego do głównej płaszczyzny słonecznej (kierunek oświetlenia promieniami słonecznymi w momencie wykonania zdjęcia), szacowano wartość wykładnika n poprzez dopasowanie do siebie wykresów funkcji spadku naświetlenia wyrażonego równaniem (2) i rzeczywistego spadku wyrażonego wielomianem. Wartość korygującą jasność piksela na zdjęciu lotniczym o winietowanie, obliczano według poniższej formuły:

$$K_{i,j} = \frac{1}{\cos^{n_k} \left(\arctg \left(\sqrt{(i - i_s)^2 + (j - j_s)^2} * \left(\frac{25,4}{m * f} \right) \right) \right)} \quad (5)$$

gdzie:

- $K_{i,j}$ – wartość korygująca jasność na zdjęciu lotniczym piksela o współrzędnych obrazowych (i, j) ,
- n_k – oszacowana wartość wykładnika dla składowej barwnej k ,
- i_s, j_s - współrzędne obrazowe opisujące położenie punktu głównego zdjęcia,
- m – rozdzielczość skanowania w pikselach na cal,
- f – ogniskowa kamery lotniczej w mm.

Ostatecznie korekcji dokonano poprzez przemnożenie wartości naświetlenia, uzyskanej w oparciu o wzór (4), przez wartość korekcyjną uzyskaną w oparciu o wzór (5).

Praktyczną realizacją zaproponowanej procedury było przygotowanie aplikacji do korekcji winietowania, napisanej za pomocą języka skryptowego SML, stanowiącego integralną część oprogramowania TNTmips.

Do przetestowania zaproponowanej procedury wykorzystano 68 zdjęć lotniczych udostępnionych przez firmę Dedal&Foto Andrzej Kijowski. Zdjęcia wykonano 20 maja 2007 roku nad obszarami aglomeracji poznańskiej i gminy Pniewy, kamerą lotniczą RMK A15 o ogniskowej 152,504 mm, bez filtra antywinietującego na filmie Agfa Aviphot Chrome 200 PE1. Zdjęcia zostały zeskanowane w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej i zapisane bezstratnie w formacie TIFF w modelu barwnym RGB.

3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wszystkie zdjęcia lotnicze poddano usunięciu winietowania przygotowaną aplikacją dwa razy: przyjmując wartość wykładnika $n=4$ w równaniu (2) i szacując wartość wykładnika zgodnie z przedstawioną powyżej procedurą. Na podstawie własnych doświadczeń i dokumentacji technicznej filmu przyjęto $Dz=2,1$ i $\gamma=0,6$. Oszacowane

wartości wykładnika n dla składowych barwnych poszczególnych zdjęć lotniczych zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie oszacowanych wartości wykładnika n dla składowych barwnych poszczególnych zdjęć lotniczych. W nagłówku tabeli skrótami oznaczono: nr ZD – kolejny numer zdjęcia lotniczego, nB, nG, nR – wykładnik oszacowany dla składowych barwnych modelu RGB; nB/nG, nB/nR, nG/nR – wskaźniki zróżnicowania wykładnika n pomiędzy składowymi barwnymi modelu RGB.

nr ZD	nB	nG	nR	nB/nG	nB/nR	nG/nR	nr ZD	nB	nG	nR	nB/nG	nB/nR	nG/nR
17	3,29	4,39	3,49	0,75	0,95	1,26	69	4,41	5,63	4,49	0,78	0,98	1,25
18	3,30	3,92	3,14	0,84	1,05	1,25	70	4,00	5,14	4,09	0,78	0,98	1,26
19	3,60	4,50	3,70	0,80	0,97	1,22	71	3,79	4,48	3,75	0,85	1,01	1,20
20	3,48	4,37	3,52	0,80	0,99	1,24	72	5,05	6,38	4,91	0,79	1,03	1,30
21	3,59	4,66	3,64	0,77	0,99	1,28	73	2,71	3,33	2,68	0,81	1,01	1,24
22	3,01	4,05	3,03	0,74	0,99	1,34	74	3,17	4,18	3,25	0,76	0,98	1,29
23	4,09	5,33	4,41	0,77	0,93	1,21	75	2,53	3,53	2,68	0,72	0,94	1,32
24	2,45	2,97	2,58	0,82	0,95	1,15	76	5,01	5,80	4,90	0,86	1,02	1,18
25	2,67	3,21	2,64	0,83	1,01	1,21	77	2,58	3,21	2,33	0,80	1,11	1,38
26	3,21	4,11	3,12	0,78	1,03	1,32	78	2,60	2,91	2,22	0,89	1,17	1,31
27	2,77	4,00	3,23	0,69	0,86	1,24	79	2,65	2,85	2,38	0,93	1,11	1,20
28	2,32	3,14	2,24	0,74	1,03	1,41	80	3,25	4,29	3,24	0,76	1,00	1,32
29	2,44	2,98	2,54	0,82	0,96	1,18	81	2,31	2,56	2,14	0,90	1,08	1,20
30	4,50	5,24	4,54	0,86	0,99	1,16	82	3,36	4,11	3,06	0,82	1,10	1,34
31	4,32	4,66	3,81	0,93	1,13	1,22	83	3,39	4,32	3,50	0,78	0,97	1,23
32	2,54	2,87	2,28	0,89	1,12	1,26	84	3,81	4,67	3,91	0,82	0,97	1,20
33	3,39	3,93	3,32	0,86	1,02	1,18	85	2,65	3,93	3,29	0,67	0,81	1,20
34	2,31	3,33	2,54	0,70	0,91	1,31	86	2,66	3,50	2,71	0,76	0,98	1,29
35	2,14	3,28	2,58	0,65	0,83	1,27	87	3,61	5,05	3,98	0,72	0,91	1,27
36	5,14	5,91	4,96	0,87	1,04	1,19	88	4,01	4,71	3,86	0,85	1,04	1,22
37	2,93	3,18	2,84	0,92	1,03	1,12	89	4,25	4,11	3,41	1,03	1,25	1,21
38	3,33	4,15	3,30	0,80	1,01	1,26	90	3,99	5,37	4,15	0,74	0,96	1,29
39	3,76	4,64	3,75	0,81	1,00	1,24	91	3,30	4,99	3,49	0,66	0,95	1,43
40	3,36	3,92	3,63	0,86	0,93	1,08	92	3,87	4,82	3,88	0,80	1,00	1,24
41	4,65	5,81	4,67	0,80	1,00	1,24	93	3,31	4,33	3,34	0,76	0,99	1,30
42	3,59	4,15	3,35	0,86	1,07	1,24	94	4,85	5,48	4,46	0,89	1,09	1,23
43	4,95	5,03	4,42	0,98	1,12	1,14	95	4,26	5,06	4,23	0,84	1,01	1,20
44	3,50	4,61	3,71	0,76	0,94	1,24	96	2,44	3,06	2,26	0,80	1,08	1,36
45	4,47	5,56	4,49	0,80	0,99	1,24	97	3,96	4,50	3,40	0,88	1,17	1,32
46	3,93	4,70	3,98	0,84	0,99	1,18	98	2,84	3,87	3,07	0,73	0,93	1,26
47	2,66	2,94	2,67	0,91	1,00	1,10	99	3,65	5,20	3,93	0,70	0,93	1,32
48	3,53	4,05	3,27	0,86	1,08	1,24	100	3,66	5,30	4,03	0,69	0,91	1,32
49	4,38	4,89	4,09	0,90	1,07	1,19	101	2,97	4,05	3,31	0,73	0,90	1,22
50	2,14	3,12	2,30	0,69	0,93	1,36	102	3,98	5,74	4,27	0,69	0,93	1,34

Uzyskane na podstawie analizy rzeczywistego spadku naświetlenia wartości wykładnika n różniły się od wartości 4, wynikającej z prawa winietowania naturalnego. Wartość wykładnika $n > 4$ oznacza mniejsze a $n < 4$ – większe rozjaśnienie podczas korekcji niż wynikałoby to z prawa winietowania naturalnego. Wartości n były zróżnicowane zarówno dla poszczególnych zdjęć jak i składowych barwnych – niebieskiej (B), zielonej (G) i czerwonej (R). Wśród korygowanych zdjęć średnie n dla składowej niebieskiej i czerwonej wyniosło 3,45, przy odchyleniu standardowym równym odpowiednio 0,78 i 0,75, a dla składowej zielonej 4,3, przy odchyleniu standardowym 0,91. Minimalne wartości n dla składowych niebieskiej, zielonej i czerwonej wyniosły odpowiednio – 2,14, 2,56 i 2,14, a maksymalne – 5,14, 6,38 i 4,69. Poza zdjęciem o numerze „89” wykładnik n był wyższy dla składowej zielonej w stosunku do składowych niebieskiej i czerwonej. Wartość wykładnika n dla składowej niebieskiej stanowiła średnio 80% jego wartości dla składowej zielonej, natomiast wartość wykładnika n dla składowej zielonej była przeciętnie wyższa o 25% od jego wartości dla składowej czerwonej.

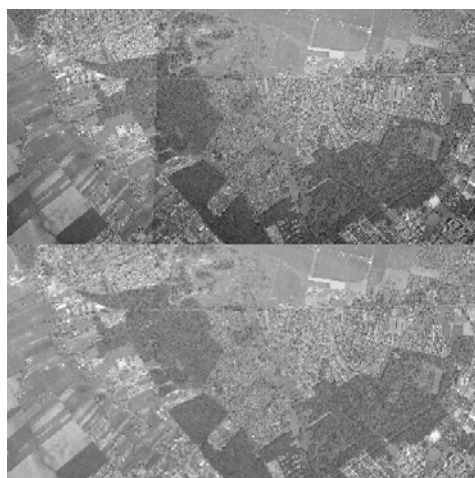
Uzyskane wartości wykładnika n za pomocą zaproponowanej procedury mieszczą się w zakresie znanym z literatury. Minimalną wartość $n=1,5$ dla kamer lotniczych podaje Lillesand i Keefer (1994). Furmańczyk (1977) oszacował wartość $n=6,4$ dla kamery AFA BAAF. Niektórzy autorzy do korekcji winietowania przyjmowali arbitralnie wartość wykładnika $n=4$ (Becker i in., 1988; Silvestro, 1969). Slater (1975) zauważył, iż spadek naświetlenia w płaszczyźnie zdjęcia zgodny z formułą wyrażoną wzorem (1) jest prawdziwy przy przysłonie ustawionej na 8.

Zróżnicowane wartości wykładnika n pomiędzy poszczególnymi zdjęciami wynikały przede wszystkim ze zmieniających się warunków fotografowania. Ich odmienność powodowała w konsekwencji inne, automatycznie ustawiane w kamerze, parametry czasu naświetlania i wielkości otworu przysłony. Warunki fotografowania zmieniają się wskutek ruchu kamery względem terenu o zmiennym pokryciu.

Większa wartość wykładnika n dla składowej zielonej, w stosunku do niebieskiej i czerwonej, wynikała prawdopodobnie z ustawień parametrów skanowania albo innych niż standardowe warunków wywołania filmu. W przypadku wykorzystanego do analizowanych zdjęć filmu krzywe charakterystyczne dla poszczególnych warstw światłoczułych są niemal identyczne stąd wynika jednakowy współczynnik kontrastowości i zakres użytecznej gęstości optycznej (Agfa, 2004). Potwierdzeniem tego faktu jest również to, że zdjęcia kupowane w CODGiK-u są zazwyczaj w tonacji zielonej.

Różnice jasności barw na zdjęciach skorygowanych dwoma metodami, tzn. przy $n=4$ i n oszacowanym zaproponowaną metodą, nie są duże i nie zawsze wizualnie zauważalne (przypadku kiedy oszacowane wartości wykładnika n są zbliżone są do 4). Na podstawie wizualnego porównania odpowiadających sobie zdjęć, stwierdzono, iż zdjęcia lotnicze z oszacowanymi wykładnikami, oddzielnie dla poszczególnych składowych barwnych, posiadały lepiej wyrównany rozkład naświetlenia. Świadczyło o tym zachowanie tej samej intensywności natężenia barwy obszarów zielonych (lasy, łąki, zboża ozime i jare) niezależnie od ich położenia względem punktu głównego zdjęcia. Na tych samych zdjęciach, skorygowanych w oparciu o równanie (1), barwa wspomnianych powierzchni roślinnych w narożnikach zdjęć traciła na intensywności, stopniowo ulegając zszarzeniu. Niezależnie od zastosowanej metody korekcji, usunięcie winietowania, w wyraźny sposób poprawia jakość zdjęć, ułatwiając ich montaż przez bardzo wyraźne zmniejszenie widocznych różnic jasności pomiędzy sąsiednimi zdjęciami (rys. 4).

Czas potrzebny na usunięcie winietowania dla pojedynczego zdjęcia w małym stopniu zależał od przyjętej metody korekcji. Szacowanie wartości wykładnika n dla składowych barwnych pojedynczego zdjęcia trwało kilka sekund; dodatkowy czas potrzebny był na przygotowanie dwóch masek korekcyjnych. Zdjęcie zeskanowane z rozdzielczością 1814 dpi o wymiarze około 20000 na 20000 pikseli, na komputerze wyposażonym w procesor Pentium Q6600 z 4Gb pamięci RAM korygowane było przez około 40 minut. Po dokonaniu optymalizacji aplikacji, polegającej na zastosowaniu równoległego przetwarzania na wszystkich rdzeniach procesora, czas przetwarzania pojedynczego zdjęcia został skrócony do około 15 minut.



Rys. 4. Przykład dwóch zdjęć zmontowanych bez usunięcia winietowania (górny montaż) i po jego usunięciu (dolny montaż).

4. LITERATURA

Agfa-Gevaert N.V., 2004, Mortsels-Belgium. Agfa Aviphot Chrome 200 PE1. Panchromatic colour reversal film.

Beutner S., Jacobsen K., Wegmann H., 1999: Topographic Information System by Satellite and Digital Airborne Images. Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4 „Sensors and Mapping from Space 1999”. Hanover, September 27-30.

Braunecker B., Eckardt A., Sandau R., 2000: Performance of the Imaging System in the LH Systems ADS40. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Vol. XXXIII, Part B1. Amsterdam 2000. 104-109.

Camera Calibration Panel Report, 2000, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland.

Furmańczyk K., 1977: Niektóre aspekty przestrzennego rozkładu gęstości optycznej zdjęć obszarów morskich. *Fotointerpretacja w Geografii*, no 10, Toruń, 203-210.

Furmańczyk K., 1980: *Zarys Fotointerpretacji*. Skrypty uczelniane Uniwersytetu Gdańskiego. Gdańsk.

Furmańczyk K., 1981: Analiza możliwości wykorzystania metody fotometrycznej do rejestracji rzeźby dna strefy brzegowej Południowego Bałtyku. *Archiwum Hydrotechniki*. Z 4. tom XXVIII. 585 -599.

- Geuthner T., 1987: Podstawy fotografii. PPWK, W-wa.
- Harris W., 1968: Aerial Photographic Exposure. [W]: Manual of Color Aerial Photography. Ed. Smith J.H., Anson A.. American Society of Photogrammetry, Virginia.
- Ihrig S., Ihrig E., 1999: Skanowanie dla profesjonalistów. Wyd. RM, W-wa.
- Jóźwicki R., 1970: Optyka instrumentalna. WNT, W-wa.
- Lillesand T.M., Kiefer R.W., 1994: Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, Inc. Nowy Jork.
- Mather P., M. 1999: Computer Processing of Remotely Sensing Images. John Wiley & Sons, Inc. Nowy Jork.
- RCAHMS, 2008: <http://www.rcahms.gov.uk/a-future-for-tara-the-aerial-reconnaissance-archives.html>
- Scholten F., Sujew S., 1999: The High Resolution Stereo Camera (HRCS) – Digital 3D-Image Acquisition, Photogrammetric Processing and Data Evaluation. Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4 „Sensors and Mapping from Space 1999”. Hanover, September 27-30
- Slater Ph. N., 1975: Photographic Systems for Remote Sensing. [w]: Manual of Remote Sensing First Edition. American Society of Photogrammetry, Falls Church, Virginia.
- Wójcik S., 1989: Zdjęcia lotnicze. PPWK. W-wa.

PODZIĘKOWANIA

Autor dziękuje firmie Dedal&Foto Andrzej Kijowski za udostępnienie zdjęć lotniczych dla potrzeb niniejszej publikacji.

DIGITAL CORRECTION OF AERIAL PHOTOGRAPHS VIGNETTING

KEY WORDS: analogue aerial photographs, vignetting, digital correction

SUMMARY: Archival analogue aerial photographs are, or will be scanned and made available via the Internet with a view of further using them in photogrammetric works and in environmental research. Photographs can be made available individually, or they can be subjected to orthorectification and converted into large raster images. Methods of histogram matching between neighbouring photographs are not always sufficiently effective to remove the visible effects of vignetting and of bi-directional spectral reflection, the two key phenomena modifying the distribution of exposure on an aerial photo, which was made with a camera of a conical field of view. The influence of both phenomena is particularly visible in cameras with the normal- and wide-angle fields of view. Applying the correction of vignetting before the mosaic process of aerial photographs yields mosaics visually deprived of the effects of radial dimming using statistical or manual methods. This work is introducing the method of vignetting correction together with the way of optimization considering the changeable conditions of aerial photo taking.

Dr Sławomir Królewicz
e-mail: skrol@amu.edu.pl
tel. +61 8296236
fax +61 8296230