

**WYBRANE PRZYPADKI KOREKCJI RADIOMETRYCZNYCH
ZNIEKSZTAŁCEŃ OBRAZÓW LOTNICZYCH**

**SELECTED CASES OF RADIOMETRIC CORRECTION
OF AERIAL PHOTOGRAPHS**

Zygmunt Paszotta

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: zniekształcenia obrazów, winietowanie, korekcje radiometryczne, funkcja spadku jasności

STRESZCZENIE: W pracach fotogrametrycznych mamy do czynienia ze zdjęciami o różnej jakości radiometrycznej. Najczęściej występujące zniekształcenia radiometryczne związane są z winietowaniem. Ogólniej można to zjawisko określić jako radialne zniekształcenia radiometryczne. Są one istotne, gdy efektem prac ma być wizualizacja obrazów terenu a w szczególności wykonanie ortofotomapy. Dlatego „Zasady wykonywania prac fotolotniczych” zawierają wymóg usuwania tych zniekształceń, co zapewnienia jednorodność rozkładów wartości kolorów na zdjęciu. W pracy opisany został matematyczny model tych zniekształceń. Przedstawione zostały wybrane przykłady zdjęć wymagających korekcji. Przedstawione zostały wykresy zmian poziomów cyfrowych pikseli, funkcje korygujące oraz rezultaty korekcji. Matematyczny model radialnych korekcji radiometrycznych zbudowany został w układzie współrzędnych biegunowych. W tym też układzie wyznaczono rozkłady wartości kolorów. Ostatecznie funkcje korygujące są funkcjami liniowymi, w których zmienną niezależną jest odległość od środka obrazu. Do badań posłużyły zeskanowane zdjęcia analogowe okolic Aalborga z roku 2002 wykonane kamerą LC 0015. W celu przeprowadzenia eksperymentów, analiz oraz wykonania korekcji opracowano odpowiednie algorytmy, które oprogramowano w języku Java. Przedstawione opracowanie rozwiązuje wybrane szczególnie przypadki korekcji radiometrycznych zdjęcia lotniczego. Oczywiście należy rozważyć również przypadki korekcji zdjęć bloków o różnym pokryciu, korekcji liniowych w różnych kierunkach, korekcji nieliniowych oraz korekcji lokalnychw wybranych obszarach. Dotychczas nie ma idealnych rozwiązań stąd należy sądzić, że tematyka ta znajdzie zainteresowanie i będzie przedmiotem dalszych badań.

1. WSTĘP

Najogólniej ujmując problem zniekształceń obrazów, możemy wyróżnić dwa typy tych zniekształceń: geometryczne i radiometryczne. W fotogrametrii dużą wagę przywiązujemy do zniekształceń geometrycznych obrazu, czyli do odchyłeń od teoretycznego geometrycznego modelu. Dzieje się tak zawsze, gdy celem naszych pomiarów punktów na zdjęciach jest uzyskanie możliwie dokładnych współrzędnych terenowych tych punktów. Osobnym problemem są zniekształcenia radiometryczne, które

stają się ważne, gdy celem naszym jest identyfikacja obiektów lub wizualizacja terenu, w postaci źródłowego zdjęcia czy też ortofotomapy.

W artykule zajmiemy się problemami radiometrycznych korekcji zdjęć. Jednym z najczęściej spotykanych przypadków zniekształceń radiometrycznych jest spadek jasności na brzegach obrazu. Mamy tu do czynienia z liniową albo nieliniową funkcją spadku jasności od środka obrazu. Jeżeli funkcje te są różne dla poszczególnych składowych kolorów, to na zdjęciu możemy zaobserwować zjawisko zmian kolorów na obrazie w zależności od odległości od środka obrazu. Jest to nie do zaakceptowania przy prezentacji zdjęć, fotoplanów lub ortofotomap i dlatego zdjęcia takie poddaje się korekcji. Jakkolwiek istnieją do tego celu profesjonalne programy o różnej funkcjonalności i poziomie zautomatyzowania, to jednak nie wyjaśniają one istoty modelu korekcji. Analiza tego zjawiska jest zaś potrzebna ze względów naukowych, praktycznych oraz dydaktycznych. Z tego powodu opracowuje się mniej lub bardziej ogólne modele dla wybranych zastosowań zdjęć (Gonzales, Winz, 1987).

W ogólnym przypadku zmian jasności obrazu możemy mówić o niejednorodności rozkładów jasności rozumianych jako rozkłady wartości (poziomów) cyfrowych pikseli w różnych obszarach obrazu cyfrowego. Zgodnie z Wytocznymi Technicznymi K-2.7 (Kurczyński, 1999) powinno zaś występować „wyrównane zaciemnienie na całej powierzchni negatywów”. Jednym ze sposobów analizy tego zjawiska jest budowa i analiza jednowymiarowych brzegowych rozkładów poziomów cyfrowych pikseli w wybranych układach współrzędnych na obrazie. Konsekwencją takiego postępowania jest budowa odpowiednich funkcji korygujących obraz a następnie zmiana poziomów cyfrowych pikseli obrazu. Najpierw jednak trzeba zbudować model matematyczny rozważanych korekcji.

2. MATEMATYCZNY MODEL RADIALNYCH KOREKCJI RADIOMETRYCZNYCH

W celu poprawnego opisanie tego zjawiska wprowadzimy kilka pojęć i formuł matematycznych. Pojęcia te są znane, jednakże określenie ich za pomocą wyrażeń matematycznych przyczyni się do uniknięcia nieporozumień. Przyjmujemy zatem, że zdjęcie analogowe barwne, określać będziemy za pomocą funkcji:

$$f : (x, y) \Rightarrow f(x, y) \quad f(x, y) \in [0,1] \times [0,1] \times [0,1] \quad (1)$$

Piksel na tym zdjęciu to obszar określony następująco:

$$P_{i,j} = \{(x, y); jd < x < (j+1)d, id < y < (i+1)d, j = 0, 1, \dots, m-1, i = 0, 1, \dots, n-1\} \quad (2)$$

Między pikselami a ich indeksami istnieje wzajemna jednoznaczność:

$$(i, j) \Leftrightarrow P_{i,j} \quad (3)$$

Kolor piksela wyznacza się następująco:

$$F(P_{i,j}) = F(i, j) = \frac{1}{d^2} \iint_{P_{i,j}} f(x, y) dx dy \quad (4)$$

Po dyskretyzacji, kolory przyjmują wartości całkowite:

$$f(P_{i,j}) \Rightarrow c(P_{i,j}) \quad c(P_{ij}) \in C = L \times L \times L; L = \{0, 1, \dots, k-1\} \quad (5)$$

Zatem obraz cyfrowy można wyrazić jako funkcję:

$$c: P_{i,j} \Rightarrow c(P_{i,j}), j = 0, 1, \dots, m-1, i = 0, 1, \dots, n-1 \quad (6)$$

Piksel środkowy tego obrazu ma indeksy i_0, j_0 :

$$P_{i_0, j_0}; j_0 = (m-1)/2, i_0 = (n-1)/2 \quad (7)$$

Odległość dowolnego piksela od środka można zapisać jako:

$$\rho(P_{i,j}, P_{i_0, j_0}) = \rho((i, j), (i_0, j_0)) = \sqrt{(i - i_0)^2 + (j - j_0)^2} \quad (8)$$

Obraz cyfrowy posiada zniekształcenia geometryczne $\mathcal{E}_x, \mathcal{E}_y$, które zmieniają współrzędne pikselowe na sumy: $j + \mathcal{E}_x, i + \mathcal{E}_y$. Obraz cyfrowy może posiadać również zniekształcenia radiometryczne możliwe do opisanego za pomocą pewnej funkcji $c_1(i, j)$ lub losowe $\mathcal{E}(i, j)$. Może być wtedy zapisany jako:

$$c'(i, j) = c(i, j) + c_1(i, j) + \mathcal{E}(i, j) \quad (9)$$

W celu opisanego zniekształceń radialnych wygodniej jest przejść na współrzędne biegunowe $(i, j) \Rightarrow (\rho, \varphi)$. Jeżeli przyjmiemy, że $k = INT(\rho)$, uzyskamy wtedy:

$$c'(k, \varphi) = c(k, \varphi) + c_1(k, \varphi) + \mathcal{E}(k, \varphi) \quad (10)$$

Gdy mamy do dyspozycji tylko jedno zdjęcie, musimy skorzystać z pewnych uproszczeń. Najlepiej by było gdyby prawdziwy obraz był zbliżony do jednorodnego tzn. $c(k, \varphi) \approx b$. Dalej zakładając, że radialne zniekształcenia radiometryczne są liniowe mamy $c_1(k, \varphi) = ak$ oraz, że zniekształcenia losowe nie zależą od kierunku ani od odległości od środka, mamy:

$$c'(k) \approx \bar{c}'(k) = ak + b + \mathcal{E}(k) \quad (11)$$

Dla obrazów kolorowych w paletcie *RGB*, funkcje liniowe zapiszemy jako:

$$\begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 k + b_1 \\ a_2 k + b_2 \\ a_3 k + b_3 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Zakładając, że $E(\varepsilon(k)) = 0$ i $E(\varepsilon^2(k)) = \sigma$, estymatory współczynników funkcji liniowych można wyznaczyć metodą najmniejszych kwadratów. Obraz po korekcji wyznaczymy z równości

$$c(k, \varphi) + \varepsilon(k) = c'(k, \varphi) - c_1(k) = c'(k, \varphi) - \hat{a}k \quad (13)$$

3. REALIZACJA ALGORYTMU KOREKCJI

Zgodnie z przedstawionym uprzednio modelem tok postępowania będzie następujący:

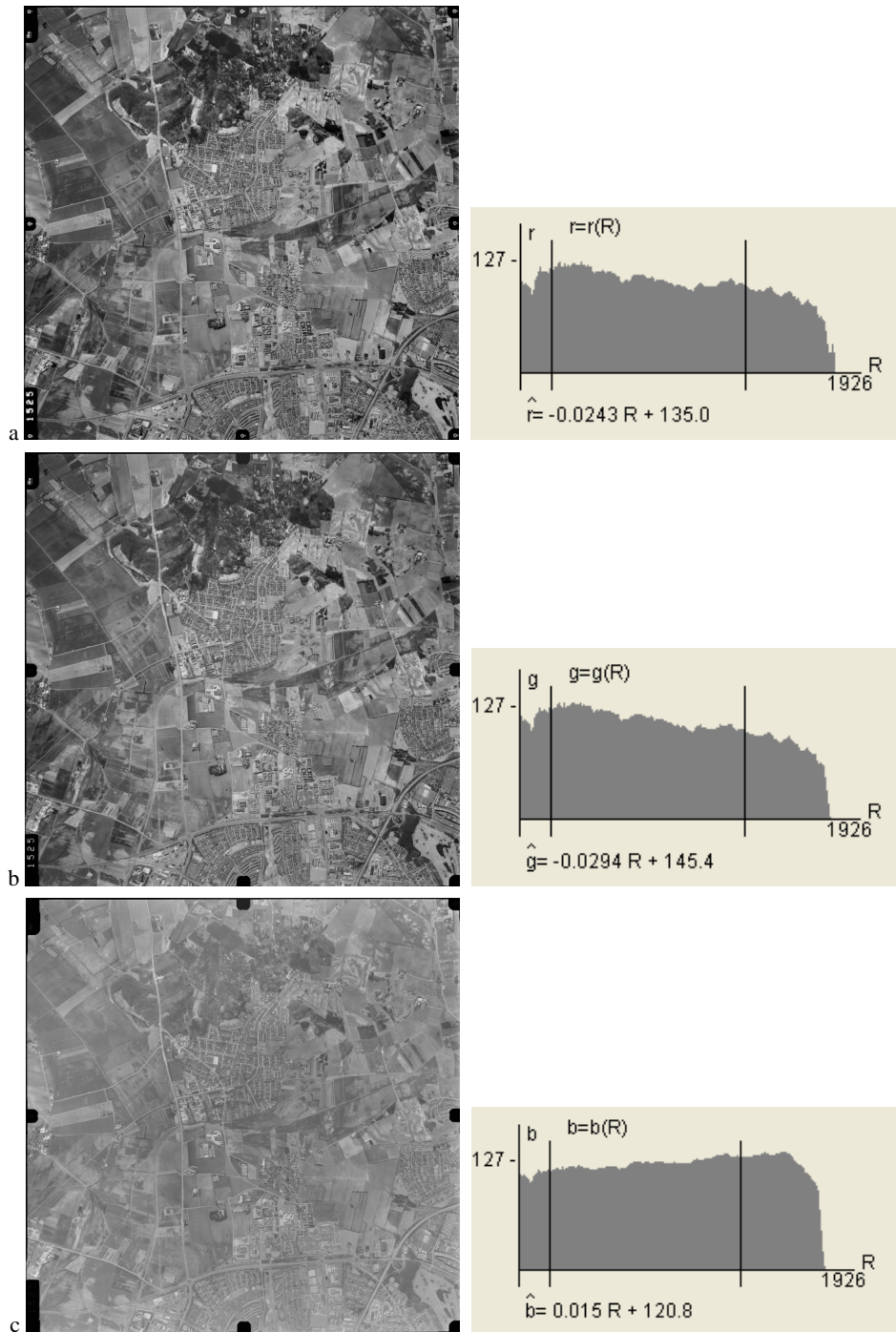
1. Wygenerowanie z obrazu cyfrowego zależności (11).
2. Estymacja współczynników regresji.
3. Korekcja obrazu zgodnie z wyrażeniem (13).

Jako przykład wykorzystane będzie zdjęcie okolic Aalborga (Dania) udostępnione w ramach realizacji projektu EuroSDR „Automated checking of DTMs”. Jest to zdjęcie barwne wykonane w 2003 roku w skali 1:25 000. Jego wyciągi spektralne przedstawia rysunek 1. Przedstawione są także zależności między odległością pikseli od środka obrazu R a wartością kolorów w wyciągach spektralnych RGB. Wykresy te zostały wykonane dla obrazów czterokrotnie pomniejszonych w stosunku do obrazu oryginalnego.

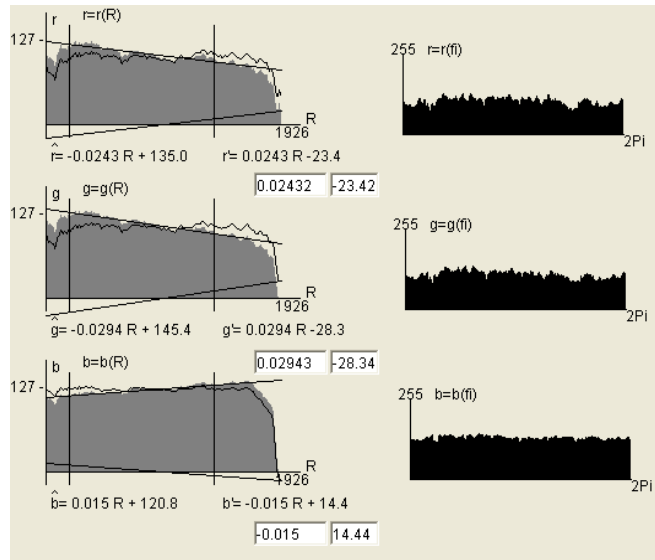
Następnym etapem było wyznaczenie funkcji liniowych aproksymujących rozkłady kolorów oraz wyznaczenie liniowych funkcji korekcyjnych. Do estymacji pobrano dane z zakresu określonego liniami pionowymi.

Graficznym efektem korekcji na wykresach rozkładów kolorów powinno być uzyskanie poziomych wykresów. Ilustruje to rysunek 2. Na rysunku tym przedstawiono również wykresy rozkładów średnich wartości kolorów w funkcji kąta z osią Ox układu współrzędnych tłowych.

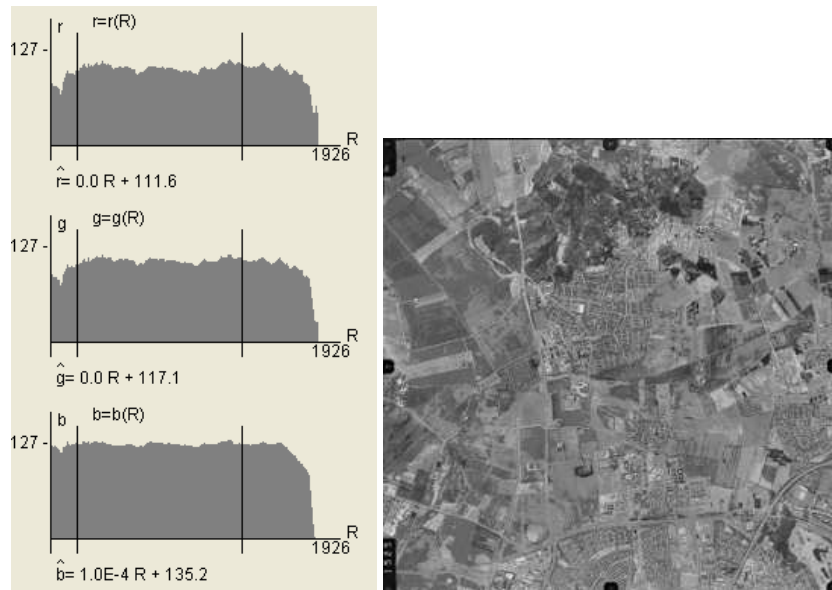
Rezultatem wykonanej korekcji powinien być obraz z poziomymi rozkładami posiadającymi zmiany wartości wynikające tylko z treści obrazu. Odpowiada to obrazowi bez radialnych zniekształceń radiometrycznych (rys. 3). Przedstawione rozwiązanie będzie zawsze uzależnione od treści obrazu i dlatego opracowany program komputerowy pozwala również wpisywać dowolne inne wartości współczynników funkcji korygujących w odpowiednie pola edycyjne.



Rys. 1. Wyciągi spektralne i rozkłady kolorów w funkcji odległości od środka zdjęcia



Rys. 2. Rozkłady kolorów, liniowe aproksymacje i funkcje korygujące



Rys. 3. Rozkłady kolorów i obraz po korekcji

4. WNIOSKI

Przedstawione opracowanie rozwiązuje wybrane szczególne przypadki korekcji radiometrycznych zdjęć lotniczego. Oczywiście należy rozważyć również przypadki korekcji zdjęć bloków o różnym pokryciu, korekcji liniowych w różnych kierunkach, korekcji nieliniowych oraz korekcji lokalnych w wybranych obszarach. Istotnym zagadnieniem jest również wprowadzanie korekcji wartościami losowymi o zadanych rozkładach, w przypadku obiektów jednorodnych, co może usunąć efekt pasm Macha. Omawianie tych zagadnień jest ważne, ze względów praktycznych, naukowych i dydaktycznych. Dotychczas nie ma idealnych rozwiązań stąd należy sądzić, że tematyka ta znajdzie zainteresowanie i będzie przedmiotem dalszych badań.

5. LITERATURA

- Gonzales R.C., Winz P., 1987. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley.
Kurczyński Z., 1999. *Zasady wykonywania prac fotolotniczych*. *Wytyczne Techniczne K-2.7*, GUGiK Warszawa.

SELECTED CASES OF RADIOMETRIC CORRECTION OF AERIAL PHOTOGRAPHS

KEY WORDS: image distortions, vignetting, radiometric distortion, brightness decrease function

Summary

In photogrametric works there are often serial photographs which have different radiometric quality levels. In most cases, radiometric distortion of serial photographs is connected with vignetting. Generally speaking, this phenomenon can be defined as radial radiometric distortion. Removal of this distortion is important, particularly in the process of orthophotomap generation. Radiometric correction assures distribution homogeneity of the color values in an aerial photo. The requirement of execution of this operation is included in the technical guideline entitled "Principles of practices of photo aerial works".

This article briefly describes the mathematical model of radiometric distortion. Selected examples of photographs which need radiometric correction are presented. The changes involve diagrams of digital grey-levels of pixel, correction function and the results of corrections. A model of radial radiometric correction was built in the polar coordinates system. The distributions of color values were determined in the same system. Finally, corrective functions are defined as linear functions, in which the independent variable was the distance from the center of image.

Appropriate algorithms were developed in order to conduct experiments, to make radiometric correction and analyses. For this, the author used scanned analog photographs of Aalborg from 2002, which were taken by a LC 0015 camera. The author created the application in Java, in which the presented algorithms were used.

Some particular problems of radiometric correlation were solved in the introduced elaboration. Certainly, other cases of corrections (correction of a block of photos which have different overlaps, linear correction in different directions, nonlinear corrections and correction in the chosen area of

aerial photo) should be also considered. The problem of radiometric correction has not been solved completely so far. It can be supposed that this subject area will find interest and further research will be conducted.

Dr hab. Zygmunt Paszotta, prof. UWM
e-mail: paszotta@uwm.edu.pl
tel. +89 5234712