

ANALIZA WPŁYWU ZJAWISKA BRDF NA JASNOŚĆ OBIEKTÓW W OBRĘBIE BLOKU ZDJĘĆ LOTNICZYCH

IMPACT OF THE BRDF PHENOMENON ON OBJECT BRIGHTNESS WITHIN AN AIR PHOTO BLOCK

Sławomir Królewicz

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

SŁOWA KLUCZOWE: BRDF, cyfrowe zdjęcia lotnicze, ZI DMC

STRESZCZENIE: Zjawisko dwukierunkowego odbicia spektralnego (BRDF) dotyczy analizy wielkości odbicia spektralnego w zależności od kierunku oświetlenia i obserwacji obiektu położonego na powierzchni Ziemi. Większość kamer lotniczych wyposażona jest w obiektywy o stożkowym polu widzenia, czego jedną z konsekwencji jest zmienność kąta obserwacji w płaszczyźnie zdjęcia lotniczego. Zdjęcia lotnicze, wykonywane najczęściej w szeregach stanowiących blok, charakteryzują się dużym wzajemnym pokryciem. Niektóre odfotografowane obiekty mogą być zarejestrowane nawet na 6 zdjęciach. Ten sam obiekt na każdym zdjęciu posiada różną jasność/barwę w poszczególnych kanałach spektralnych. W praktyce powoduje to trudności w wyrównaniu jasności/barw pomiędzy sąsiadującymi zdjęciami, a dla dużych obszarów problemy z zaklasyfikowaniem takich samych obiektów do jednej klasy. Zmiany jasności wskutek odmiennej pozycji kamery dla wyznaczonych obiektów w czterech kanałach spektralnych wynosiły od 3DN (0.07% do 29% zakresu rozdzielczości radiometrycznej (12-bit) do 1162DN (28%), średnio 128 DN (3%). Dla całego bloku zdjęć lotniczych (131 zdjęć), które są w dyspozycji autora, a nie są bezpośrednio wykorzystywane w niniejszej pracy, przeciętnie 95% wszystkich pikseli mieści się w zakresie 1200 jednostek DN. W tym kontekście średnie zmiany jasności wskutek zmiany pozycji kamery na kolejnych zdjęciach stanowią już średnio 10% a nie 3% (w odniesieniu do pełnego zakresu rozdzielczości radiometrycznej).

1. WPROWADZENIE

Do opisu odbitego promieniowania z jednego punktu pod wszystkimi możliwymi kątami zostało wprowadzone przez Nicodemus'a i in. (1977) pojęcie funkcji rozkładu dwukierunkowego odbicia (BRDF – *Bidirectional Reflectance Distribution Function*). Dwukierunkowość w tej funkcji rozumiana jest jako uwzględnienie wzajemnej pozycji źródła oświetlenia i pozycji sensora. Bezpośredni pomiar BRDF jest niezwykle trudny technicznie (Solheim i in, 2000; Cierniewski 2001), dlatego w praktyce stosuje się dwukierunkowy wskaźnik odbicia – BRF, definiowany jako stosunek luminacji obiektu do luminacji wzorca powierzchni lambertowskiej, mierzonej w tej samej jednostce kąta bryłowego i tych samych warunkach oświetlenia i obserwacji.

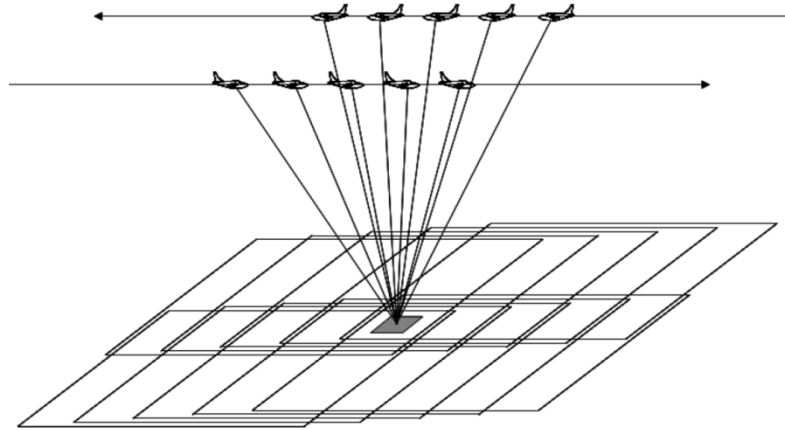
Pomiary dwukierunkowego odbicia spektralnego są wykonywane dla różnych powierzchni naturalnych oraz sztucznych w warunkach laboratoryjnych i polowych (Sandmeier, 2000; Ishiyama i Tsuchiya, 1999). Dane o dwukierunkowej charakterystyce odbicia

zbiera się także na podstawie wielokierunkowych danych obrazowych (Chopping, 2000; Ni i in., 1999). Dane o dwukierunkowym odbiciu spektralnym pozwalają lepiej zrozumieć fizyczne przyczyny tego zjawiska, oceniać i rozwijać modele matematyczne, dokładniej interpretować obrazy i opracowywać metody ich korekcji (Sandmaier, 2000). Wykorzystywane są one również w celu dokładniejszego poznania właściwości biofizycznych różnych powierzchni roślinnych (Barnsley i in., 1997; Asner, 1998).

Efekt zjawiska dwukierunkowego odbicia spektralnego słabnie przy zmniejszaniu wartości kąta zenitalnego Słońca (Deering i in. 1994; Milton i Webb, 1987). Największa zmienność jasności obiektów nielambertowskich, ze względu na kierunek obserwacji, występuje w głównej płaszczyźnie słonecznej (Cierniewski 2001; Rahman i in., 1999; Solheim i in., 2000). Dwukierunkowa charakterystyka odbicia zależy również od długości fali (Deering i in., 1994; Sandmeier i Itten, 1999). W przypadku powierzchni roślinnych wpływ zjawiska dwukierunkowego odbicia jest mniejszy w zakresie podczerwonym niż w widzialnym (Stohr i West, 1985; Pellika, 1998). Dla powierzchni glebowych efekt dwukierunkowego odbicia jest w zakresie optycznym w małym stopniu zależny od długości fali.

Znajomość dwukierunkowej charakterystyki pozwala określić w jakim stopniu skośne widzenie zmienia jasność obiektu na obrazie teledetekcyjnym w stosunku do obserwacji nadiowej. Rahman i in. (1999) stwierdzili na podstawie pomiarów dwukierunkowego odbicia spektralnego w głównej płaszczyźnie słonecznej, iż powierzchnia pszenicy (*Triticum aestivum* L.) odbija dwukrotnie więcej promieniowania, jeżeli jest obserwowana odsłonecznie pod kątem 50° , niż pod tym samym kątem w kierunku Słońca. Muller (1993) badał wpływ skośnego widzenia na jasność 135 poziomych powierzchni testowych, porównując skośny obraz z satelity SPOT (wychylenie 19° w kierunku od Słońca) z pionowym obrazem z satelity Landsat TM. Porównaniem zostały objęte dwie pary obrazów z kwietnia i lipca. Przed zbadaniem wpływu skośnego widzenia obrazy zostały poddane korekcji atmosferycznej. Powierzchnie testowe obserwowane skośnie były jaśniejsze na obrazach z kwietnia od 22% do 35%, przy czym największe różnice dotyczyły powierzchni zbóż ozimych. Na obrazach lipcowych, przy niższej wartości kąta zenitalnego Słońca, powierzchnie obserwowane skośnie były jaśniejsze maksymalnie o 5%. Duchemin (1999), na podstawie analizy efektu dwukierunkowego odbicia na obrazach NOAA/AVHRR stwierdził, iż powierzchnie lasów sosnowych (*Pinus pinaster*) obserwowane odsłonecznie w głównej płaszczyźnie słonecznej są prawie trzykrotnie jaśniejsze niż obserwowane dosłonecznie. W przypadku obserwacji powierzchni lasów sosnowych w płaszczyźnie prostopadłej do głównej płaszczyzny słonecznej autor uważa wpływ zjawiska dwukierunkowego odbicia za nieistotny.

Większość kamer lotniczych, stosowanych do wykonywaniach zdjęć lotniczych, wyposażona jest w obiektywy o stożkowym polu widzenia, czego jedną z konsekwencji jest zmienność kąta obserwacji w płaszczyźnie zdjęcia lotniczego. Zdjęcia lotnicze, wykonywane najczęściej w szeregach stanowiących blok, charakteryzują się dużym wzajemnym pokryciem. Przy pokryciu podłużnym i poprzecznym, wynoszącymi odpowiednio 70% i 30%, niektóre fotografowane obiekty mogą być zarejestrowane nawet na 6 zdjęciach (rys. 1). Ten sam obiekt na każdym zdjęciu posiada różną jasność/barwę w poszczególnych kanałach spektralnych. To zróżnicowanie nie zależy tylko od naziemnego rozkładu BRDF poszczególnych obiektów, ale także od czynników atmosferycznych (zawartości aerozoli – niektórzy autorzy używają pojęcia BRDF atmosfery, zamglenia). Jednak w przypadku bardzo dobrych warunków fotografowania zdecydowanie dominującym czynnikiem będzie naziemny rozkład odbitego promieniowania od obiektu.



Rys. 1. Rejestracja tego samego obiektu na zdjęciach lotniczych wykonywanych z różnych punktów

W kamerach analogowych dodatkowym czynnikiem znacząco wpływającym na jasność obiektów jest winietowanie, którego wpływ jest porównywalny z wpływem szorstkości obiektów, np. deniwelacji terenu (Królewicz, 2003). W kamerach cyfrowych wpływ winietowania, którego wielkość jest zmienna wraz z wielkością otworu względnego przysłony, jest znany i usuwany w procesie *postprocessingu*.

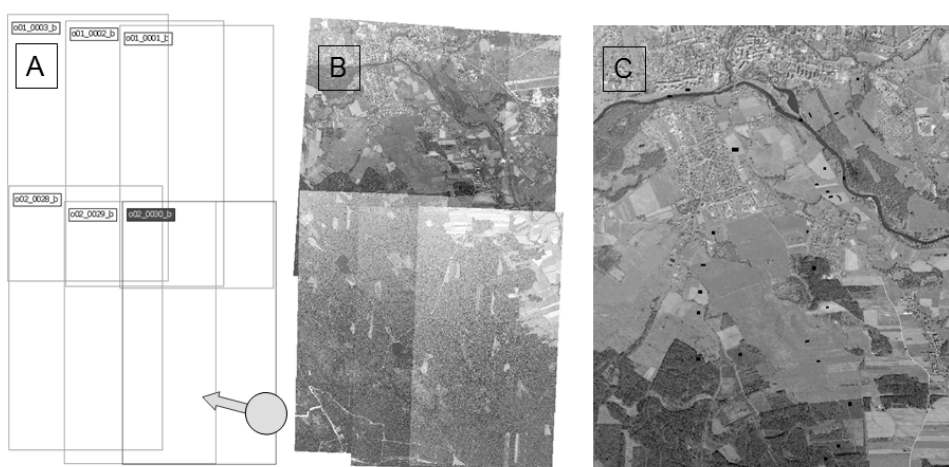
W literaturze dotyczącej korekcji wpływu zjawiska BRDF na rozkład jasności zdjęcia lotniczego, niektórzy autorzy zwracają uwagę na fakt, iż zastosowanie ogólnych modeli, korygujących jasność obiektów jednocześnie na całym zdjęciu, powoduje niepożądane zmiany jasności małych obiektów (Haest i in., 2009). Jednocześnie trudno znaleźć w literaturze przykłady prac, które charakteryzowałyby ilościowo różnice jasności obiektów wynikające ze zmiany pozycji kamery lotniczej, z uwzględnieniem jej geometrii.

Celem pracy było określenie wielkości różnic jasności wybranych obiektów pokrycia terenu odfotografowanych zdjęciach lotniczych wykonanych kamerą DMC ZI w zmieniających się warunkach obserwacji przy niewielkich zmianach warunków oświetlenia. Wykorzystano zdjęcia poddane względnej kalibracji radiometrycznej umożliwiającej porównywanie jasności pomiędzy zdjęciami w poszczególnych kanałach spektralnych w jednostkach jasności DN. Wykonano także analizę różnic jasności w obszarach wspólnych kolejnych zdjęć lotniczych w szeregu wykorzystując metodę pól podstawowych.

Obrazy uzyskiwane kamerą DMC, po wykonaniu *postprocessingu* są zasadniczo wolne od zniekształceń geometrycznych i radiometrycznych generowanych przez poszczególne obiektywy. Korekcja radiometryczna obejmuje usunięcie wpływu winietowania, różnej wielkości przysłony i czasu naświetlania, filtrów wielospektralnych, różnic w czułości poszczególnych elementów światłoczułych matryc powstałych wskutek przyczyn elektronicznych lub w trakcie montażu kamery (kurz). Korekcja oparta jest o dwuetapową kalibrację – w pierwszym etapie dotyczy ona poszczególnych obiektywów, w drugim kamery jako całości. W trakcie montażu czterech składowych obrazów panchromatycznych niewielkie różnice w jasności pomiędzy poszczególnymi częściami są usuwane poprzez zastosowanie techniki łączenia histogramu (Heier i in., 2002).

2. METODYKA

W pracy wykorzystano 6 czterokanałowych zdjęć lotniczych o numerach 01-0001, 01-0002, 01-0003, 02-0028, 02-00029 i 02-0030 wykonanych kamerą cyfrową DMC ZI dnia 2 czerwca 2009 roku, przedstawiających okolice miejscowości Szprotowa. Średni wymiar terenowy piksela zdjęć wyniósł około 40 cm. Zdjęcia tworzą blok złożony z dwóch szeregów, po trzy zdjęcia każde. Zdjęcia wykonywano w standardowy sposób, to znaczy stosując automatyczne ustawienia czasu i wielkości przysłony w trakcie lotu fotogrametrycznego. Wzajemne pokrycie zdjęć, schematycznie oraz w postaci fotoszkiegu kanału niebieskiego pokazano na rysunku 2 (A i B). Zdjęcia przetwarzano w zapisie 16-bitowym po to, aby zachować oryginalną 12-bitową rozdzielczość radiometryczną.



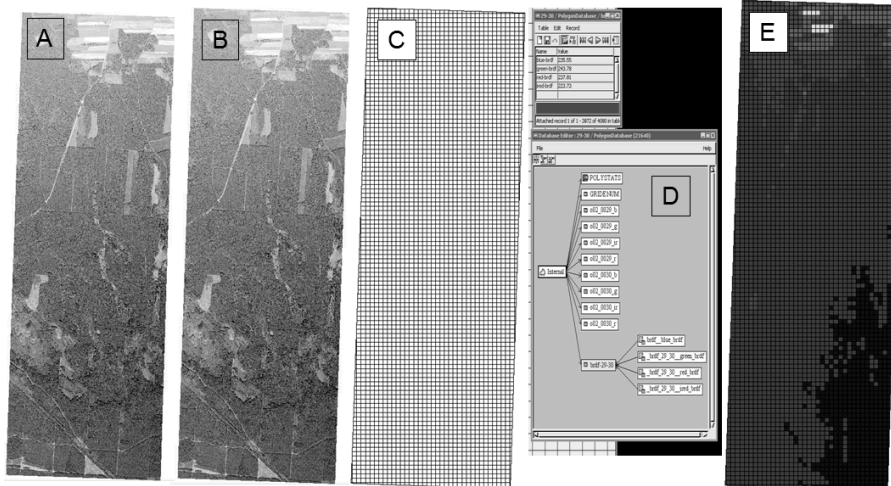
Rys. 2. Schematyczne pokrycie zdjęć lotniczych (A). Obraz powierzchni terenu objętej analizą w kanale niebieskim (B) oraz rozmieszczenie wybranych obiektów (C)

Zdjęcia zostały poddane ortorektyfikacji w oparciu o obliczony jednometrowy model powierzchni terenu. Przy ortorektyfikacji każdego zdjęcia w celu zachowania oryginalnych wartości jasności zastosowano próbkowanie metodą najbliższego sąsiada.

W obszarze wspólnym, trzykrotnie i sześciokrotnie odfotografowanym na zdjęciach pierwszego i drugiego szeregu, wyznaczono 40 obiektów terenowych należących do różnych kategorii pokrycia terenu: pola zaorane i zabronowane, pola uprawne, łąki, lasy (młodniki, liściaste i iglaste), woda płynąca (rys. 2B). Każdy taki obiekt charakteryzował się jednolitą szorstkością. Średnią jasność obiektu w danym kanale spektralnym zdjęcia obliczano na podstawie wszystkich pikseli znajdujących się w całości w granicach obiektu. Dla każdego obiektu obliczano także warunki obserwacji, pionowy i poziomy kąt obserwacji oraz kąt fazowy, czyli kąt pomiędzy kierunkiem obserwacji a kierunkiem oświetlenia.

Dla wspólnych obszarów kolejnych zdjęć lotniczych w szeregach: 01-02, 02-03, 28-29 i 29-30, obliczono siatki pól podstawowych o wymiarze 50×50 m (125×125 pikseli). Dla każdego oczka siatki obliczono jasność średnią w kanałach spektralnych poszczególnych zdjęć i zapisywano ją w bazie danych. Następnie w bazie danych obliczano różnice jasności dla poszczególnych kanałów spektralnych.

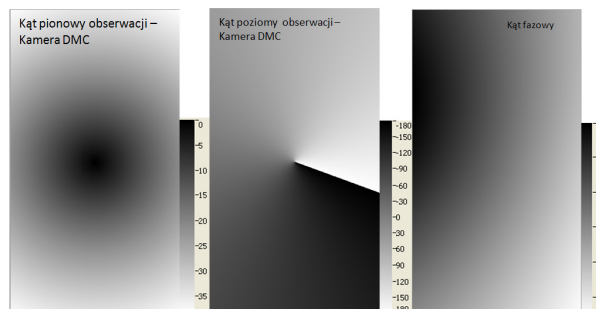
Model powierzchni terenu i ortorektifikację zdjęć wykonano za pomocą pakietu oprogramowania OrthoEngine PCI Geomatica w wersji 10.2.1. Obliczenia kątów oświetlenia, obserwacji i rozpraszania, różnic jasności dla poszczególnych obiektów i oczek siatki pól podstawowych i ich zapisu bazodanowego dokonano w pakiecie TNTmips w wersji 7.6.



Rys. 3. Proces obliczania różnic jasności we wspólnym obszarze dwóch kolejnych zdjęć lotniczych: (A) i (B) wyodrębnione fragmenty zdjęć w pojedynczym kanale spektralnym, (C) siatka pól podstawowych dla obszaru wspólnego, (D) zapis wyników obliczeń różnic jasności w bazie danych i (E) wizualizacja różnic poprzez zestawianie skali szarości

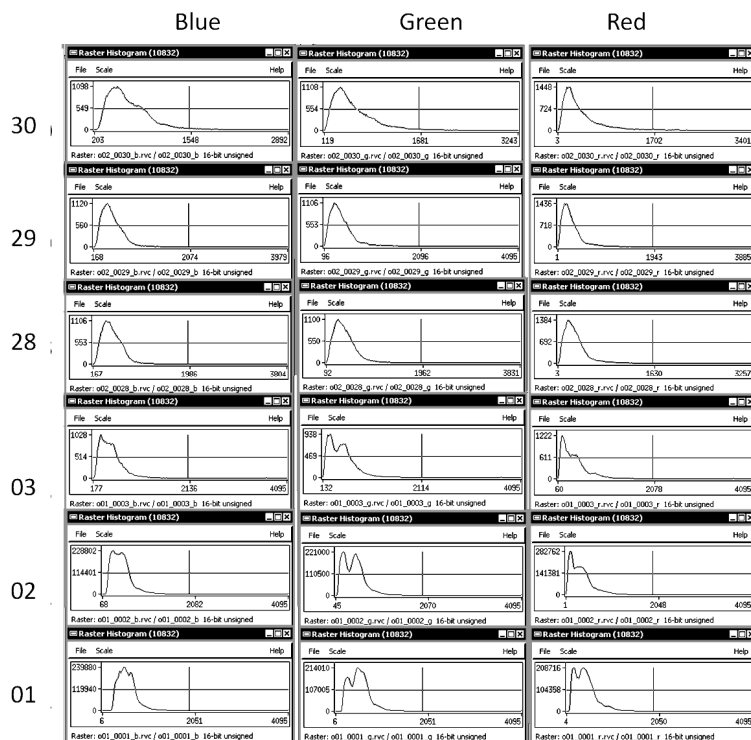
3. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Wykorzystane w pracy zdjęcia lotnicze z pierwszego szeregu wykonano o godzinie 9:43, przy czym Słońce znajdowało się 43° nad horyzontem, oświetlając powierzchnię Ziemi azymutalnie z kierunku 109° . Zdjęcia z drugiego szeregu wykonano 9 minut później, przy czym warunki oświetlenia zmieniły się nieznacznie – Słońce wzniosło o 1.5° i przesunęło się o 2° w kierunku południowym. Można zatem przyjąć warunki oświetlenia niemal stałe dla zdjęć z pierwszego i drugiego szeregu. Warunki obserwacji, pionowy i poziomy kąt obserwacji przez kamerę lotniczą obliczono dla każdego zdjęcia (rys. 4).



Rys. 4. Kąty poziomy i pionowy obserwacji oraz rozpraszania (fazowy) obliczane dla każdego zdjęcia

Brak informacji o ustawieniach przysłony i czasu naświetlania nie pozwala na dokładną kalibrację poszczególnych kanałów spektralnych zdjęć względem siebie. Duża czułość radiometryczna kamery i dobre warunki fotografowania pozwalają przypuszczać, iż parametry fotografowania nie zmieniały się znacznie. Zmienność proporcji zajmowanej powierzchni przez różne rodzaje pokrycia terenu (patrz rys. 2) pomiędzy zdjęciami pierwszego (zrównoważone proporcje) i drugiego szeregu (dominacja powierzchni leśnych) wskazuje jednak na to, że przysłona i czas musiały się nieznacznie zmienić przy zastosowanym automatycznym doborze.



Rys. 5. Histogramy kanałów spektralnych RGB zdjęć lotniczych (01, 02, 03, 28, 29, 30)

Różnica w proporcjach areálu zajmowanego przez różne kategorie pokrycia terenu jest widoczna również na histogramach poszczególnych kanałów spektralnych (rys. 5 – dla czytelności przedstawiono tylko histogramy kanałów niebieskiego, zielonego oraz czerwonego). Dla zdjęć z drugiego szeregu (28,29,30) wartości maksymalne nie osiągają teoretycznego maksimum (4095). Najmniejsze wartości maksymalne, oscylujące wokół 3000 zanotowano dla zdjęcia 02-0030. Zakres dostępnych poziomów został wykorzystany w przypadku tego zdjęcia jako około 75% zakresu zdolności radiometrycznej. Przypuszczalnie dla tego zdjęcia warunki naświetlania zmieniły się najbardziej.

W tabeli 1 przedstawiono zmienność jasności we wspólnych obszarach kolejnych zdjęć lotniczych (01-02, 02-03, 28-29 i 29-30), które analizowano w siatce pól podstawowych 50 × 50 m. Zmienność przedstawiono w pięciostopniowej skali w przedziałach po 100 jednostek DN (1-[0,100), 2-[100, 200), 3-[200, 300), 4-[300, 400), 5-[400, 500)), obliczając wartość bezwzględną z różnic średnich jasności obliczanych w obrębie pola podstawowego.

Tab.1. Rozkład zmian jasności w obszarach wspólnych kolejnych zdjęć lotniczych (01-02, 02-03, 28-29 i 29-30) w szeregach pierwszym (S1) i drugim (S2) jako wartość bezwzględna DN (zdjęcia zorientowane poprawnie względem stron świata)

Kanał	R		G		B		IR	
Zdjęcia	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02	02-03	01-02
S1								
S2								
Zdjęcia	28-29	29-30	28-29	29-30	28-29	29-30	28-29	29-30

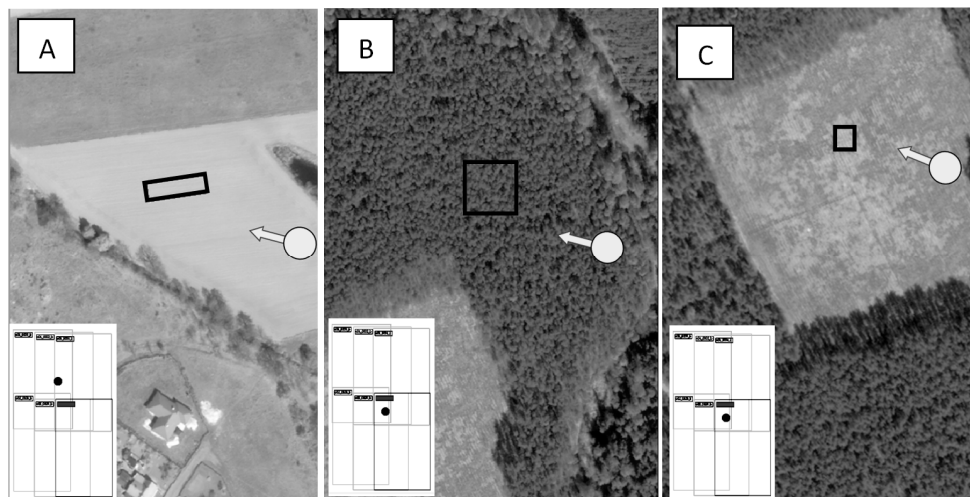
Największe zmiany zanotowano na obszarze wspólnym dla zdjęć 29 i 30 z drugiego szeregu – różnice jasności osiągnęły poziom niemal 500 jednostek DN. Najczęściej we wszystkich obszarach wspólnych różnice jasności mieszczą się w pierwszej klasie, czyli nie przekraczają 100 jednostek DN. Najmniejsze różnice dotyczą zdjęć 02 i 03 z pierwszego szeregu. Najwyższe wartości różnic w poszczególnych obszarach zawsze występują w północnej części obszarów, co wynika z obserwacji odsłonecznej powierzchni terenu przez kamerę lotniczą oraz przy najwyższych wartościach kąta obserwacji (środkowa część wspólnego obszaru dwóch kolejnych zdjęć). Mimo przyjętych tylko pięciu klas różnic jasności, można zauważyć w kanale podczerwonym duże różnice, mieszczące się trzeciej klasie) w środkowej części obszaru wspólnego zdjęć 01-02 (oznaczone w czarnym kwadracie w tabeli 1). Jest to miejsce, w którym różnice wartości pionowego kąta obserwacji nie są duże, za to zmienia się bardzo poziomy kąt obserwacji. Stwierdzone różnice dotyczą powierzchni roślinnej, znajdującej się w pełnej fazie wegetacji.

Analizę zróżnicowania jasności wyznaczonych obiektów można by prowadzić indywidualnie dla każdego z nich. Jednak ze względu na brak miejsca, stwierdzone różnice zostaną omówione na podstawie wybranych statystyk i przykładowych obiektów.

Różnice jasności wskutek zmiany pozycji kamery dla badanych obiektów osiągnęły w czterech kanałach spektralnych od 3 DN (0.07% 12-bitowego zakresu rozdzielczości radiometrycznej) do 1162 DN (28%), średnio 128 DN (3%). Dla całego bloku zdjęć lotniczych (131 zdjęć), które są w dyspozycji autora, a nie są bezpośrednio wykorzystywane w niniejszej pracy, przeciętnie 95% wszystkich pikseli mieści się w zakresie 1200 jednostek DN. W tym kontekście średnie zmiany jasności wskutek zmiany pozycji kamery

na kolejnych zdjęciach stanowią już średnio 10% a nie 3% (w odniesieniu do pełnego zakresu rozdzielczości radiometrycznej).

Na rysunku 6 przedstawiono trzy przykłady spośród wyznaczonych obiektów. Przypadek A dotyczy obiektu położonego w obszarze wspólnym trzech zdjęć pierwszego szeregu. Obiekty B i C zostały odfotografowane w strefie wspólnej dla wszystkich analizowanych zdjęć lotniczych.



Rys. 6. Przykłady wybranych obiektów i ich lokalizacja na schemacie wzajemnego pokrycia zdjęć

Obiekt A to fragment pola pozbawionego w momencie fotografowania roślinności, na którym prowadzono uprawę roślin okopowych. Redliny i bruzdy były ustawione równoległe do miedzy (widocznej na zdjęciu). Kierunek uprawy zatem niewiele różnił się od kierunku oświetlenia, co zasadniczo było przyczyną małego zacienienia. Kolejne pozycje kamery lotniczej w szeregu powodowały niewielkie zmiany pionowego kąta obserwacji przy dużych różnicach kąta poziomego. Zmiany jasności wynikające ze różnego położenia kamery dla tego obiektu nie przekroczyły we wszystkich kanałach 100 jednostek DN.

Obiekt B został wybrany na obszarze lasu iglastego (około 40-letniego). Drzewa tej wielkości nie tworzą struktur ukierunkowanych, w przeciwieństwie do uprawianych powierzchni rolniczych czy młodych monokultur sosnowych. W przypadku tej powierzchni zmiany jasności dla zdjęć z pierwszego szeregu nie przekroczyły 90 jednostek DN. Różnice pomiędzy zdjęciami z pierwszego i drugiego szeregu osiągnęły poziom od 250 do 600 jednostek DN, zależnie od warunków obserwacji.

Obiekt C znajduje się na odkrytej glebie, w obrębie szkółki leśnej, przy czym kierunek przygotowanej uprawy leśnej był niemal prostopadły do kierunku oświetlenia – stąd zmiany azymutalnego kąta obserwacji, wynoszące niemal 180° pomiędzy zdjęciami pierwszego i drugiego szeregu, spowodowały najwyższe zanotowane różnice jasności spośród wszystkich badanych obiektów.

Precyzyjniejsza analiza różnic jasności – nie względna poszczególnych kanałów tylko bezwzględna, w postaci współczynnika odbicia – możliwa byłaby, gdyby kamera poddana została kalibracji radiometrycznej.

4. WNIOSKI

Jasność tych samych obiektów na zdjęciach lotniczych jest w dużym stopniu zależna od warunków obserwacji. Warunki te zmieniają się wraz ze zmianą pozycji kamery lotniczej. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, iż różnice jasności obiektu zarejestrowanego na kilku zdjęciach lotniczych mogą osiągać do 28% zakresu 12-bitowej zdolności radiometrycznej w pojedynczym zakresie spektralnym.

5. PODZIĘKOWANIA

Zdjęcia lotnicze udostępnione przez Biuro Urządzenia Lasu i Geodezji Leśnej w Brzegu do celów dydaktycznych i naukowych dzięki uprzejmości Pana dyrektora Janusza Bańkowskiego. Firma MGGP Aero z Tarnowa przygotowała specjalnie 16-bitowe wersje kanałów spektralnych zdjęć lotniczych.

6. LITERATURA

- Asner G.P., 1998: Biophysical and biochemical sources of variability in canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 64, 234–253.
- Barnsley M.J., Allison D., Lewis P., 1997: On the information content of multiple angle (MWA) images. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 18, pp. 1937–1960.
- Cierniewski J., 2001: Model kierunkowego odbicia od gleb uprawnych uwzględniający obecność agregatów glebowych oraz mikroreliefu powierzchni gleby. Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
- Chopping J. M., 2000: Large-Scale BRDF Retrieval over New Mexico with Multiangular NOAA AVHRR Dataset. *Remote Sensing of Environment*. 74: 163–191.
- Deering D., Middleton E.M., Eck T.F., 1994: Reflectance anisotropy for sprucehemlock forest canopy. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 47, 242–260.
- Heier H., Kiefner M., Zeitler W., 2002: Calibration of the Digital Modular Camera DMC; FIG XXII International Congress, Washington, D.C. USA.
- Haest B., Biesemans J., Horsten W., Everaerts J., 2009. Radiometric calibration of digital photogrammetric camera image data. Proceedings of ASPRS 2009 Annual Conference Baltimore, Maryland March 9-13.
- Ishiyama T., Tsuchiya K., 1999: Development of BRF (Bidirectional reflectance factor) facility and its preliminary results. *Advances in Space Research*. Vol. 23, No. 8, 1389–1392.
- Królewicz S., 2003: Obraz powierzchni piaszczystych na zdjęciach lotniczych w zmieniających się warunkach ich oświetlenia i obserwacji. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 13B: 409–418.
- Milton E.J., Webb J.P., 1987: Ground radiometry and airborne, multispectral survey of bare solis, *Int. J. Rem. Sens.* 18, 3–14.
- Muller E., 1993: Evaluation and correction of angular anisotropic effects in multirate SPOT and Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 45, No. 3, 295–309.
- Ni W., Woodcock E.C., Jupp D.L.B., 1999: Variance in Bidirectional Reflectance over Discontinuous Plant Canopies. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 69, 1–15.
- Nicodemus F.E., Richmond J.C., Hsia J.J., Ginsberg I.W., Limperis T., 1977: Geometrical consideration and nomenclature for reflectance. Technical report NBS MN-160, National Bureau of Standards.

Pelikka P., King D.J., Leblanc S.G., 2000: Quantification and Reduction of bidirectional effects in aerial CIR Imagery of Deciduous Forest Using Two Reference Land Surface Types. *Remote Sensing Review*, Special issue on "Multi-angle Measurements and Models", Vol. 19, 259–291.

Rahman H., Quadir D.A., Zahedul Islam A.Z.M., Dutta S., 1999: Viewing Effect on remote Sensing Monitoring of Wheat and Rice Crops. *GeoCarto International*, Vol. 14, No. 1, 74–78.

Sandmeier S.R., Itten K.I., 1999: A field goniometer system (FIGOS) for acquisition of hyperspectral BRDF data. *IEEE Transaction Geosciences. Rem. Sen.*, Vol. 37, 978–986.

Sandmeier S.R., 2000: Acquisition of Bidirectional Reflectance Factor Data with Field Goniometers. *Remote Sensing of Environment*. Vol.73, 257–269.

Solheim I., Engelsen O., Hosgood B., Andreoli G., 2000: Measurement and Modelling of the spectral and directional reflection properties of lichen and moss canopies. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 72, 78–94.

IMPACT OF THE BRDF PHENOMENON ON OBJECT BRIGHTNESS WITHIN AN AIR PHOTO BLOCK

KEY WORDS: BRDF, Digital aerial photographs, ZI DMC

SUMMARY: The phenomenon of bidirectional spectral reflectance (BRDF) is concerned with analysis of spectral reflectance as dependent on the direction of illumination and observation of a facility located on the surface of the Earth. Most aerial cameras are equipped with conical view lenses. One consequence is variation of observation angle in the plane of an aerial photograph. Aerial photographs, performed mostly in strips constituting a block, are characterized by a large overlap. Some photographed objects can be registered on up to 6 photos. The same object in every picture has different brightness in different spectral channels. In practice, this makes it difficult to offset the brightness / color between adjacent images, and for large areas – problems with classifying same objects to a single class. In this work 6 photographs were analyzed for brightness change. Due to changes in camera position for designated sites the brightness changed in four spectral channels from 3DN (0.07% of 12-bit radiometric resolution) to 1162DN (28%). The average change of brightness was 128 DN (3%). For the whole block of aerial photographs (131 pictures) that are available to the author, and are not directly used in this study, an average of 95% of all pixels are in the range of 1200 units of DN. In this context, the average brightness changes due to changes in camera position on subsequent images are already the average of 10% instead of 3%.

dr Sławomir Królewicz
e-mail: skrol@amu.edu.pl
telefon: 61 8296236
fax: 61 8296230