

**WYKORZYSTANIE TRANSFORMACJI FOURIERA DO FILTRACJI SZUMU
INFORMACYJNEGO Z OBRAZÓW FOTOLOTNICZYCH**

**APPLICATION OF FOURIER TRANSFORMATION FOR INFORMATION NOISE
FILTRATION IN PHOTOAERIAL PICTURES**

Jerzy Miałdun

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: dyskretna transformacja Fouriera, zdjęcia lotnicze, szum informacyjny

STRESZCZENIE: Archeologia lotnicza opiera się na interpretacji zdjęć lotniczych w kontekście tzw. wyróżników. Wykorzystywane są aktualne zdjęcia lotnicze jak i archiwalne, których niska jakość techniczna często utrudnia ujawnienie potencjalnych treści merytorycznych. W pracy przedstawiono możliwości polepszenia jakości fotograficznej i informacyjnej archiwalnych zdjęć lotniczych strefy nadbrzeżnej Wysoczyzny Elbląskiej w okolicy Janowa Pomorskiego, grodziska w Barczewku oraz kompleksu osadniczego w Gierłoży gm. Ostróda. Zdjęcia lotnicze wykonywane przez autora, wszystkimi dostępnymi technikami fotograficznymi, są głównym źródłem danych o krajobrazie archeologicznym tych stanowisk. Wiele zdjęć dzisiaj jest ocenianych, jako daleko niedoskonałe technicznie, ale zawierają one możliwe do wyjawienia cenne dane o obiektach archeologicznych.

Wady zdjęć uznane za szum informacyjny to regularne ślady płyty dociskającej materiał światłoczuły do ramki tłowej, naturalny obraz linii, śladów orki oraz ślady rzędów roślin w łanie zboża.

Usuwanie tych zakłóceń prowadzono wg schematu:

- wykorzystując dyskretną transformację Fouriera generowano widmo obrazu źródłowego
- z widma usuwano te elementy, które uznano, że zawierają informację o zakłóceniach
- dla nowej funkcji widma odpowiadającemu obrazowi o polepszonych właściwościach stosowano odwrotną transformację Fouriera .

W przypadku dwóch pierwszych obiektów uzyskano zadowalające wyniki. Jakość wizualna poprawiła się na tyle, że można bez trudu rozpoznać, wcześniej nieczytelne, ślady starorzeczy i warstwy kulturowej. Dla zdjęcia grodziska w Barczewku nie znaleziono skutecznego sposobu usunięcia śladów siewu rzędowego.

W wyniku przeprowadzonych badań można stwierdzić, że wykorzystanie transformaty Fouriera do podniesienia „informacyjności” zdigitalizowanych obrazów fotolotniczych jest możliwe wtedy, gdy zakłócenia są złożone z regularnie powtarzających się elementów. Każdy obraz należy traktować indywidualnie, tworząc filtry odpowiadające charakterystykom występującego szumu.

1. WSTĘP

W archiwach zdjęć lotniczych można znaleźć fotografie niezwykle cenne ze względów merytorycznych, lecz dalece niedoskonałe technicznie. Archeologia lotnicza, do analizy zmian zachodzących w krajobrazie, wykorzystuje również dane pozyskane z wielo-czasowych materiałów fotolotniczych. Analiza tzw. wyróżników jest podstawą nieniszczących metod rozpoznawania i interpretacji stanowisk archeologicznych. Wyróżnikami (*crop*

marks) nazwano ślady na powierzchni terenu, ujawniające stanowiska archeologiczne, widoczne tylko z powietrza.

Zdjęcia lotnicze stanowisk archeologicznych w Janowie Pomorskim, Gm. Elbląg, Gierłoz, Gm. Ostróda oraz Barczewu Gm. Barczewo w większości posiadają istotne informacje o wyróżnikach. Jakość techniczna tych zdjęć często uniemożliwia wykorzystanie ich do badań tradycyjnymi metodami archeologii lotniczej.

Usunięcie lub osłabienie wpływu defektów technicznych lub nadmiaru informacji stało się możliwe przy wykorzystaniu cyfrowych technik filtracji obrazów. Wykorzystanie dyskretnej transformacji Fouriera (Gonzalez *et al.*, 1996, Wróbel *et al.*, 2004, Tadeusiewicz *et al.*, 1997) w dwóch zbadanych przypadkach poprawiło czytelność wyróżników na zdigitalizowanych zdjęciach lotniczych.

2. MATERIAŁ I METODY PRZETWARZANIA

Do badań wybrano panchromatyczne zdjęcia stanowisk, które były fotografowane przez autora przy współpracy z badającymi je archeologami.

Stanowisko Janów Pomorski położone w gm. Elbląg nad brzegiem jez. Drużno jest pozostałością wczesnośredniowiecznej osady rzemieślniczo-handlowej Truso. Nikłe ślady na powierzchni ziemi i bogactwo zabytków odkrytych podczas badań wykopaliskowych skłoniły archeologów do podjęcia programu wieloletnich badań teledetekcyjnych. Osada, niegdyś usytuowana u ujścia strumienia spływającego z Wysoczyzny Elbląskiej, po wiekach została pogrzebana pod warstwami stożka napływowego. Istotnymi celami badań były: odtworzenie przebiegu linii brzegowej jeziora oraz infrastruktury osady.

Wykorzystane w badaniach zdjęcie zostało wykonane w lipcu 1981 r. kamerą UMK 10/1318. Zasobnik na materiał światłoczuły miał wadliwą płytę dociskającą film do ramki tłowej. Efektem tego są regularnie rozmieszczone prostokątne plamki na zdjęciach. W ocenie archeologów zdjęcia posiadają dużą wartość merytoryczną, ponieważ były wykonane przed powodzią w styczniu 1982 r. i późniejszymi pracami melioracyjnymi zmieniającymi układ hydrograficzny.

Drugim stanowiskiem obserwowanym przez kilkanaście lat jest kompleks osadniczy położony we wsi Gierłoz w gm. Ostróda u ujścia rz. Gizeli do Drwęcy. Płaski obszar o powierzchni ponad 400 ha jest bardzo trudny do badania metodą Archeologicznego Zdjęcia Polski (AZP). Archeologiczne Zdjęcie Polski to nazwa realizowanego na terenie całej Polski od 1978 r. przedsięwzięcia poszukiwania, rejestrowania i nanoszenia na mapy stanowisk archeologicznych. Celem przedsięwzięcia jest uzyskanie informacji potrzebnych do celów naukowych i konserwatorskich.

Pierwsze zdjęcia nachylone wykonane w maju 1984 r. potwierdziły obecność licznych śladów warstwy kulturowej i pogrzebanej sieci cieków wodnych. Wykonywane w kolejnych latach zdjęcia ujawniły, na zaoranych polach, ślady osadnictwa (wyróżniki glebowe). Ciemniejsze plamy mają rozmyte granice, a ślady orki bardzo utrudniają ich separację.

Trzecim stanowiskiem wybranym do badań jest grodzisko w Barczewku gm. Barczewo. Majdan grodziska do 1998 r. był użytkowany rolniczo. Dlatego spodziewano się wystąpienia na zdjęciach wyróżników glebowych lub wegetacyjnych. Stanowisko położone jest ok. 15 km na wschód od Olsztyna. Stwarza to dogodne warunki do wykonywania zdjęć przy każdej nadarzającej się okazji lotu nad inne obiekty. Wielokrotne loty, wykonywane od 1984 r., nie przynosiły oczekiwanych rezultatów. Jedyne loty w czerwcu 1995 r. zaowo-

cował zdjęciami z wyraźnymi plamami wyróżników wegetacyjnych. Ślady zabudowy i ciągów komunikacyjnych są jednak rozmyte liniami rzędów zboża.

Wszystkie wybrane do badań zdjęcia posiadają wady utrudniające ich interpretację. W badaniach potraktowano je jako szum informacyjny w dziedzinie częstotliwości.

2.1. Dyskretna transformacja Fouriera

Transformacja Fouriera pozwala na przedstawianie funkcji w postaci sumy wielu funkcji sinus i/lub cosinus. W analizie obrazów z transformacji Fouriera wykorzystywane są często następujące przekształcenia:

- detekcja tych cech obrazu, które są znacznie lepiej widoczne, łatwiejsze do analizy w spektrum Fouriera niż w obrazie źródłowym,
- usunięcie tych składowych w spektrum Fouriera, które odpowiadają za szum, a następnie, przez tzw. odwrotną transformację Fouriera, odtworzenie skorygowanego obrazu.

W badaniach wykorzystano zmodyfikowaną wersję transformacji zwaną dyskretną transformacją Fouriera (*Discrete Fourier Transform*, w skrócie DFT), mającą zastosowanie do przetwarzania sygnałów cyfrowych.

Usuwanie szumu informacyjnego z wybranych do badań obrazów cyfrowych wykonywano wg schematu:

- Wykorzystując transformatę Fouriera generowano dla obrazu źródłowego $f(x,y)$ jego widmo $F(u,v)$. Amplituda F-obrazu (odpowiednik fourierowski obrazu rzeczywistego)

$$A(u,v) = |F(u,v)| \quad (1)$$

w tej formie ma mało wygodną postać do dalszych przekształceń. Amplituda sygnału może zawierać się w szerokich granicach wartości, dlatego na wykresach jest reprezentowana jako:

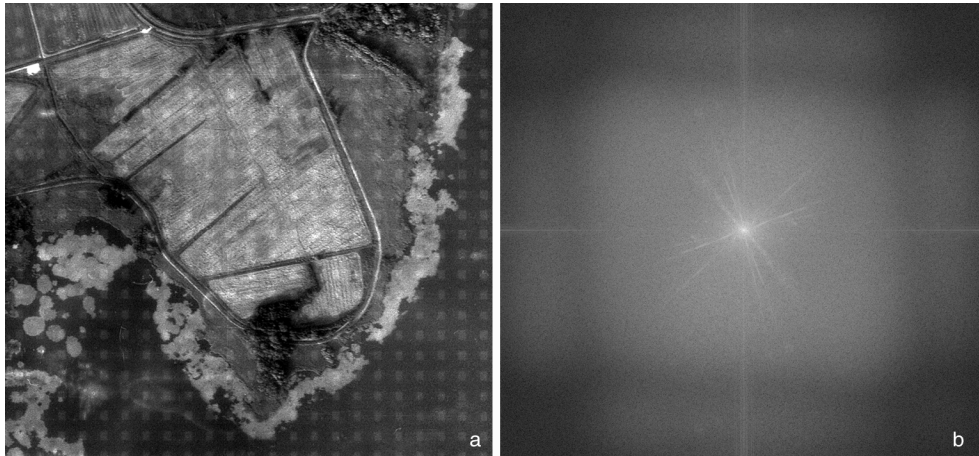
$$\log_{10}(A(u,v)+1) \quad (2)$$

Niskie częstotliwości w źródłowym obrazie amplitudy są reprezentowane przez punkty w środkowej części widma. Niezbędne jest odpowiednie przesunięcie ćwiartek F-obrazu, tak, aby można było w sposób bardziej intuicyjny konstruować filtry (Wróbel et al., 2004).

- Z obrazu amplitudy F-obrazu należy usunąć te elementy, które można podejrzewać, że zawierają informację o szumie. Dokonuje się tego mnożąc odpowiadające sobie elementy widma przez odpowiednio skonstruowaną funkcję filtru $H(u,v)$.
- Nowa funkcja widma $F'(u,v)$ odpowiada obrazowi o skorygowanych właściwościach. Stosując odwrotną transformację Fouriera można uzyskać obraz $f'(x,y)$ pozbawiony szumu.

2.2. Przekształcenia na wybranych obrazach

Analizując zdjęcie stanowiska w Janowie Pomorskim można spodziewać się, że szum w postaci jaśniejszych prostokątów będzie miał w widmie amplitudy swoje ślady w centralnej części obrazu amplitudy (Rys. 1).



Rys. 1. Obraz źródłowy (a) i amplituda obrazu (b)

Po dokładnym obejrzeniu środkowej części obrazu amplitudy (Rys. 1b) przyjęto, że informacje o zakłóceniach obrazu źródłowego zawarte są w jaśniejszych plamkach rozrzuconych regularnie wokół centrum. Zaprojektowano filtr, o wymiarach równych wymiarom obrazu źródłowego, przypisując wszystkim jego elementom wartość 1. Miejscom odpowiadającym jaśniejszym plamkom nadano wartości 0. Macierz obrazu amplitudy pomnożono tablicowo przez filtr otrzymując nową macierz obrazu skorygowanej amplitudy.

$$A'(u, v) = A(u, v) \cdot H(u, v) \quad (3)$$

Przy użyciu odwrotnej dyskretnej transformacji Fouriera (*Inverse Discrete Fourier Transform*, w skrócie IDFT) odtworzono obraz źródłowy z wyraźnie osłabionym szumem (Rys. 2a).

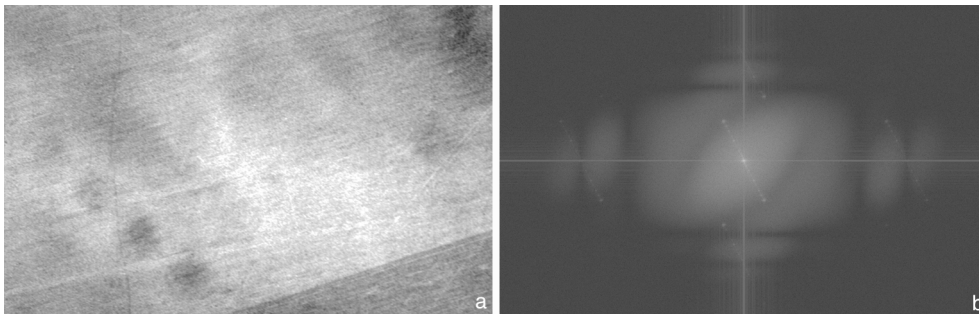


Rys. 2. Obraz po filtracjach

Obraz po filtracji posiada cechy pełnowartościowego materiału do interpretacji treści archeologicznej.

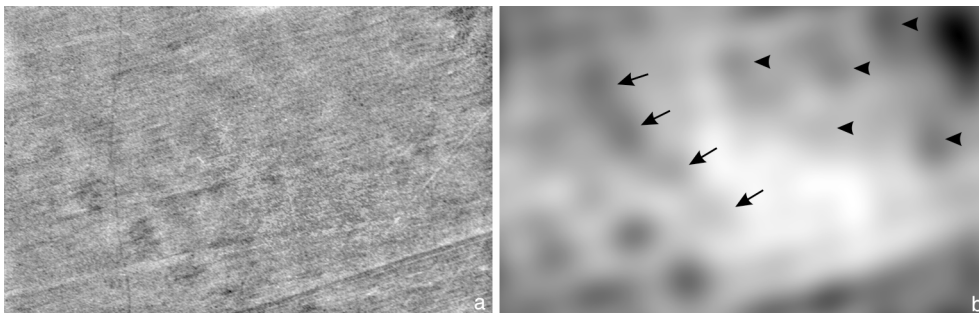
Konsekwencją dobrego wyniku było opracowanie filtra, który osłabił również inne szумы leżące w dziedzinie wysokich częstotliwości obrazu źródłowego. Za niepożądany szum informacyjny uznano ślady orki, zbrzylenie gleby i drobne kępy roślinności. Po przeprowadzeniu kilkunastu prób opracowano filtr pasmowo przepustowy, który spełnił oczekiwania (Rys. 2b).

Dobre wyniki filtracji obrazu z wykorzystaniem przekształceń Fouriera uzyskano również na stanowisku Gierłoż (Rys. 3a).



Rys. 3. Ślady warstwy kulturowej są silnie zniekształcone śladami orki (a).
Obraz amplitudy F-obrazu (b)

Skomplikowany obraz amplitudy (Rys. 3b) nie pozwalał na określenie, które elementy zawierają informację o szumie. Po licznych niepowodzeniach, zastosowania wyżej opisanych filtrów, przyjęto zmodyfikowany schemat postępowania. Obraz amplitudy obrazu oryginalnego filtrowano tak, aby znacznie osłabić niskie częstotliwości. Przetworzony obraz amplitudy zawierający informacje o elementach znajdujących się w dziedzinie wysokich częstotliwości, transformowano odwrotnie (IDFT), otrzymując obraz niepożądanych szumów (śladów orki, Rys. 4a). Po odjęciu od oryginału obrazu szumów uzyskano obraz ujawniający nieznaną dotąd obiekty archeologiczne (Rys. 4b).



Rys. 4. Obraz źródłowy po filtracji górnoprzepustowej (a). Obraz po korekcji (b)

Rząd okrągłych plam występujący na większości zdjęć tego stanowiska to ślady mieleży. Obraz po korekcji (Rys. 4b) ujawnia jeszcze jeden rząd z czterema okrągłymi plamami (strzałki) oraz kilka śladów półziemianek (główki strzałek).



Rys. 5. Grodzisko w Barczewku. Na majdanie widoczne ślady zabudowy i ciągów komunikacyjnych, które wytworzyły wyróżniki wegetacyjne

Niepowodzeniem zakończyły się próby usunięcia śladów rzędowego siewu zboża na majdanie grodziska w Barczewku (Rys. 5). Stanowisko to było fotografowane wielokrotnie i tylko jeden raz udało się zarejestrować na zdjęciach wyróżniki wegetacyjne ujawniające zarysy infrastruktury osadniczej. Planowane badania wykopaliskowe powinny być poprzedzone rozpoznaniem z powietrza (Braasch, 1999). Precyzyjne planowanie badań pozwala uniknąć zakładania zbędnych wykopów badawczych i niepotrzebnego niszczenia obiektów.

Wizualna ocena materiałów poddanych filtracji wykazała pogorszenie ich informacyjności w stosunku do oryginału. Braku zadowalających wyników można upatrywać w tym, że rzędy roślin są równoległe do siebie tylko na krótkich prostych odcinkach. Gęstość siewu jest nieregularna. Zakłócenia „rytmiczności” szumu spowodowane są zarówno agrotechniką jak i zalegającymi w glebie szczątkami organicznymi zmieniającymi lokalnie jej żyzność.

3. WNIOSKI

Wykorzystanie transformacji Fouriera do usuwania szumu informacyjnego przyniosła oczekiwane rezultaty w dwóch zbadanych przypadkach. Niepożądany szum zostawia na obrazach amplitudy wyraźne ślady. Po przeprowadzeniu wielu prób skonstruowano filtry osłabiające częstotliwości odpowiadające za szum na obrazie źródłowym.

Pomimo zadowalających wyników filtracji zastosowanie tej metody w praktyce może być ograniczone z powodu jej pracochłonności. Nie udało się opracować reguł postępowania sprawdzających się w każdym przypadku. Każdy korygowany obraz cyfrowy należy traktować indywidualnie. Czasochłonne próby prowadzące do konstrukcji skutecznych filtrów mogą być uzasadnione przy polepszaniu jakości obrazów zawierających niezwykle cenne dane merytoryczne.

4. LITERATURA

Braasch O., 1999. Z innego punktu widzenia – prospekcja archeologiczna w archeologii, [w:] *Metodyka ratowniczych badań archeologicznych*, Ż. Kobyliński (red.), s. 41–100. Warszawa.

Gonzalez R. C., Woods R. E., 1996. *Digital Image Processing*, Pearson Education.

Tadeusiewicz R., Korohoda P., 1997. *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Postępu Telekomunikacji, Kraków.

Wróbel Z., Koprowski R., 2004. *Praktyka przetwarzania obrazów w programie Matlab*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.

APPLICATION OF FOURIER TRANSFORMATION FOR INFORMATION NOISE FILTRATION IN PHOTOAERIAL PICTURES

KEY WORDS: Discrete Fourier Transform, aerial photography, information noise

SUMMARY: Aerial archaeology is based on aerial photograph interpretation with reference to so called crop marks. Both feasible and archival aerial photographs are used, however their low technical quality frequently makes it difficult to reveal their potential merits. This paper introduces the possibilities of improving the information and photographic quality of archival aerial pictures of Wysoczyzna Elblaska coastal zone in the region of Janow Pomorski, hill fort in Barczewko and settlement site in Gierloz, county Ostroda. Aerial photographs taken by the author with the application of all available photographic techniques constitute the main data base regarding the archeological landscape of the sites. At present, numerous photographs are seen as technically imperfect but they contain reveal able and invaluable data concerning archaeological objects.

Photograph faults seen as information noise it is nothing but regular prints of the plate that presses photosensitive material towards the background frame, authentic picture of the lines, traces of ploughing and plant rows in the corn field.

The removal of the clutter has been performed according to the following scheme:

- by applying discrete Fourier transform, source picture spectrum was generated
- the elements suspected of containing clutter information were deleted
- inverse discrete Fourier transform was applied to the new function of the spectrum corresponding to the picture of improved properties

With respect to the first two objects, satisfying results have been achieved. Visual quality has improved to such an extent that previously illegible traces of former river beds and cultural layers were easily recognizable. No operative means for removal of the row sowing traces in Barczewko hill fort have been found.

As the result of carried out research it may be stated that the application of Fourier transform for improving information capacity of digitized aerial photo is possible when the clutter consists of regularly repeating elements. Each picture has to be referred to individually by creating filters correspondent to the characteristics of occurring noise.

dr inż. Jerzy Miałdun
e-mail: jerzy.mialdun@uwm.edu.pl
www.morska.com/mialdun