

# Alij Maow

---

## Metoda ekstrakcji cech opierająca się na stosowaniu dwuwymiarowej transformacji Fouriera dla cyfrowych obrazów radarowych przekształconych do układu biegunowego

---

Ekonomiczne Problemy Usług nr 47, 317-322

---

2010

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej [bazhum.muzhp.pl](http://bazhum.muzhp.pl), gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

## **METODA EKSTRAKЦИИ CECH OPIERAJĄCA SIĘ NA STOSOWANIU DWUWYMIAROWEJ TRANSFORMACJI FOURIERA DLA CYFROWYCH OBRAZÓW RADAROWYCH PRZEKSZTAŁCONYCH DO UKŁADU BIEGUNOWEGO**

### **1. WSTĘP**

Rzeczywiste obrazy radarowe zapisane w formie cyfrowej są na ogół dobrej jakości, lecz niestety nie bez zakłóceń i innych problemów występujących w tego typu obrazach. Niektóre z nich są wynikiem działania samego radaru i jego zasad rozsyłania fal i ich odbijania się od obiektów. Inne problemy są typowe dla obrazów cyfrowych, jak np. przesunięcie o pewną ilość pikseli, obrót w obrazie o pewien kąt, brak części obrazu itp.

Problemy tego typu często występują w obrazach radarowych i są niekorzystne, szczególnie w przypadku przesunięcia, obrotu lub braku części elementów na obrazie, gdyż mają ogromny wpływ na dalsze etapy przetwarzania tych obrazów (Stateczny i Wąż, 1999).

Cyfrowe obrazy radarowe mają specyficzny charakter, ponieważ są to obrazy dwukolorowe lub w odcieniach szarości. Z tego powodu też nie wszystkie spośród wielu metod obróbki obrazów mają tu zastosowanie.

Zatem, jak to wymieniono między innymi w monografii (Stateczny (red.), 2004), metody obróbki wstępnej obrazów radarowych trzeba tak wybrać, aby:

1. Zmniejszyć jak najbardziej ilość danych do przechowywania na nośniku cyfrowym. Łatwo można sobie wyobrazić ogrom tego typu danych w przypadku rejestracji całego wybrzeża np. Bałtyku, gdy wiemy, że jeden obraz rejestrowany jest co 3 sekundy, a rozmiar każdego z nich jest w przybliżeniu równy 1 megabajtowi.
2. Możliwe było skuteczne rozpoznawanie. Należy przy tym wydobywać tylko istotne informacje, gdyż echa różnych elementów mogą być widoczne na obrazie radarowym.
3. Uzyskać szybki czas przetwarzania danych do porównania z wzorcami w bazie obrazów.
4. W przypadku obróbki obrazów podawanych w dalszych etapach na wejście sieci neuronowych jako system rozpoznawania lub klasyfikacji, elementów na wejściu systemu powinno być jak najmniej, ze względu na czas ich nauczania (niezależnie od rodzaju sieci neuronowych). Dotyczy to również klasycznych metod rozpoznawania obrazów cyfrowych.

Jak się okazuje z przeglądu literatury, metod spełniających powyższe wymogi, specjalnie zaprojektowanych dla obrazów radarowych, jest niewiele. Przegląd takich metod można znaleźć w pozycjach: Warchhold, 1998; Suna i inni, 2004; Wojnar i Kurzydłowski; 2002.

Do klasycznych metod należą między innymi te wymienione w pozycjach: Ekblad i inni, 2004; Foley, 1995; Jain, 1989; Karohada i Tadeusiewicz, 1999.

Jednymi z najbardziej efektywnych metod do obróbki obrazów cyfrowych są te, które wykorzystują dwuwymiarowe transformaty. Po wykonaniu wstępnych badań mających na celu uzyskanie jak najmniejszej ilości cech, lecz zarazem zabierających najwięcej informacji z cyfrowego obrazu radarowego, wybrano Dwuwymiarową Dyskretną Transformację Fouriera. Transformacja ta po podjęciu konkretnej strategii w jej stosowaniu na obrazach cyfrowych okazuje ogromną odporność na zakłócenia oraz zniekształcenia występujących na tych obrazach, o czym jest mowa w następnym punkcie artykułu.

## 2. DWUWYMIAROWA DYSKRETNA TRANSFORMACJA FOURIERA (2D-DFT)

Przekształcenie Fouriera jest często spotykane w literaturze w zadaniach kompresji i obróbki obrazów cyfrowych, jak przedstawiono w Gelman i in., 2003. Stosuje się ją również w kompresji obrazów sonarowych, jak w pozycji Duda, 2004; Stateczny (red.), 2004, a także w rozpoznawaniu i śledzeniu ruchu statku na obrazie radarowym poprzez analizę pól polarymetrycznych, jak w pozycji (Pastina, 2003).

Polega ona na przekształceniu obrazu z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości. W wyniku otrzymuje się tzw. widmo obrazu:

$$\begin{cases} C(k,l) = \frac{1}{N^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X(m,n) \exp\left(-j \frac{2\pi}{N} ((k-1)(m-1) + (l-1)(n-1))\right) \\ X(m,n) = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^N C(k,l) \exp\left(j \frac{2\pi}{N} ((k-1)(m-1) + (l-1)(n-1))\right), \end{cases}$$

$$\text{gdzie } \begin{cases} k = 1, 2, \dots, N; \\ l = 1, 2, \dots, N; \end{cases}$$

$$\text{oraz } \begin{cases} n = 1, 2, \dots, N; \\ m = 1, 2, \dots, N; \end{cases}$$

$X(m,n)$  – jest wartością piksela obrazu początkowego;

$C(k,l)$  – jest wartością piksela widma.

Obraz radarowy doskonale nadaje się do przekształcenia go z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości. Wynika to z tego, że obraz składa się tylko z dwóch poziomów jasności, które można zinterpretować jako regiony z pewną energią świetlną. Łąd i inne obiekty odbijające sygnał radiowy posiadają wyższą energię, niższa energia oznacza wodę.

Przekształcenie 2D-DFT skupia współczynniki o największych wartościach z obrazu w rogach macierzy widma. Każdy z nich jest symetrycznie położony względem linii dzielącej macierz po przekątnej na dwie części. Oznacza to, że współczynniki mają tam te same wartości, a są one wartościami zespolonymi (Kukharev i Forczmański, 2004). Można by pomyśleć, że wystarczyłoby w takim razie wybrać elementy odpowiednie z dwóch niesymetrycznych rogów do dalszej obróbki obrazu. Niestety to byłby tylko jeden krok na drodze do pełnego sukcesu, gdyż, jak wymieniono wcześniej, obrazy cyfrowe ogólnie, a radarowe szczególnie, mają dużo zniekształceń, a one z kolei wpływają na ja-

kość dalszej obróbki obrazu. A więc konieczne jest przyjęcie konkretnej strategii wykorzystującej cechę transformacji Fouriera dotyczącej skupiania energii w rogach macierzy widma obrazu. Wygląda ona następująco:

- Cyfrowy obraz radarowy jest przeskalowany  $n$  razy w celu zmniejszenia rozmiaru obrazu. Liczbę  $n$  ustalić można eksperymentalnie, w badaniach wykonanych w artykule ustalono  $n$  na 3. Przeskalowanie to zmniejsza obraz na tyle, aby dalsze etapy nie były zależne od niewyraźnego obrazu oraz zawierały wystarczającą ilość informacji potrzebnych do późniejszej obróbki.
- Przekształcenie współrzędnych pikseli obrazu z kartezjańskiego układu współrzędnych do biegunowego układu współrzędnych (promień, kąt). Obraz przekształca się do układu biegunowego w celu uniknięcia problemu obrotu. W przypadku obrazów radarowych jest to konieczne i wpływa pozytywnie na wyniki badań. Przekształcenie do układu biegunowego można opisać jak w wyrażeniu (2) (Kuchariew, 1998):

$$\rho_i = \frac{(z_i)}{\max(Z)}; \theta_i = \arctan\left(\frac{\text{imag}(z_i)}{\text{real}(z_i)}\right)$$

gdzie:

$\rho_i, \theta_i$  – współrzędne układu biegunowego rozmieszczone według pikseli;

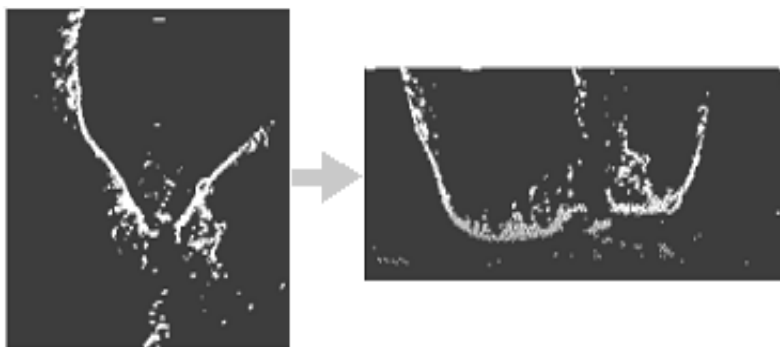
$Z$  – wektor elementów obrazu w układzie kartezjańskim zapisany w postaci zespolonej.

$Z = [z_1, z_2, \dots, z_M]; z_i = (x_i - x) + j(y_i - y)$ , dla  $i = 1, 2, \dots, M$ ;

$M$  – liczba elementów obrazu;

$\max(Z)$  – maksymalna wartość w wektorze  $Z$ ;

$x, y$  – współrzędne „centrów” obrazów;

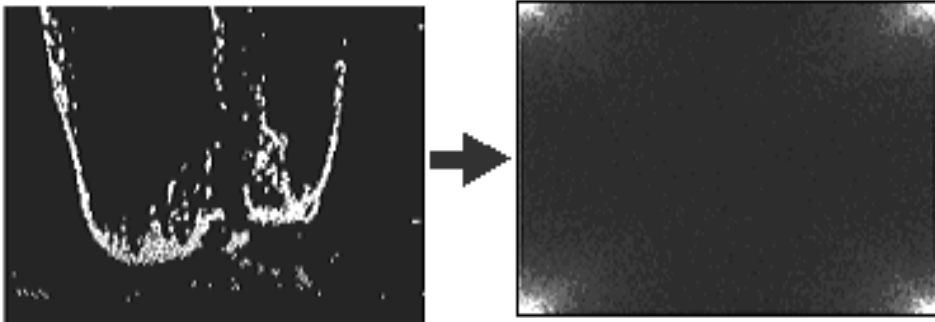


Rysunek 1. Przeskalowany obraz radarowy w układzie  $(x, y)$  oraz ten sam obraz po przekształceniu do układu biegunowego (promień, kąt)

Źródło: opracowanie własne.

Na rysunku 1 przedstawione jest przekształcenie z układu kartezjańskiego na układ biegunowy dla obrazu radarowego po trzykrotnym jego skalowaniu. Rozmiary obrazów zmieniono, aby wyraźniej pokazać rezultat operacji.

- Przekształcenie obrazu z dziedziny czasu w układzie biegunowym na dziedzinę częstotliwości przy użyciu 2D-DFT (patrz wzór 1). Na rysunku 2 przedstawiono rezultat tego przekształcenia. Ponownie rozmiary obrazów zmieniono dla celów wizualizacji.
- Obliczenie wartości bezwzględnej elementów widma 2D-DFT (patrz wzór 1). Jak wspomniano wcześniej, elementy te mają wartości zespolone. Jak będzie pokazane w dalszej części artykułu, operacja ta dokonuje się, aby można było wybrać elementy z jednego rogu macierzy, a nie z dwóch niesymetrycznych rogów.
- Elementy do dalszej obróbki wybierane są przy pomocy metody kwadratu. Widma obrazów są w lewoskrętnym układzie współrzędnych. Zaczynając od pierwszego elementu, przemieszczamy się po wierszach i po kolumnach, by pobrać wartości do tablicy jednowymiarowej, czyli wektora cech obrazu. Z przeglądu literatury wynika, iż należy wybrać współczynniki w widmie z dwóch rogów niesymetrycznych. Można wybrać dowolne dwa fragmenty po jednej stronie osi pionowej lub poziomej. Natomiast po obliczeniu dla każdego elementu wartości bezwzględnej można było wybrać elementy z jednego rogu macierzy widma. Pokazuje to rysunek 3.
- Rozmiar kwadratu zależy od ilości potrzebnych nam elementów do konkretnego zadania. Przeważnie dokonuje się to w sposób eksperymentalny.
- Po przypisaniu wybranych elementów do wektora cech, element o indeksie (1,1) zostaje wyzerowany. Przekształcenie 2D-DFT powoduje, iż w tym elemencie jest zawarta wartość średnia wszystkich elementów macierzy przekształcenia. Ma ona negatywny wpływ na pracę systemu, ponieważ jest bardzo duża i najbardziej poddana działaniu szumu. Stąd w niniejszym podejściu wyzerowano pierwszy element pobieranych wartości z widma.



Rysunek 2. Przekształcenie 2D-DFT dla obrazu radarowego w układzie biegunowym po lewej. Widmo obrazu po przekształceniu po prawej

Źródło: opracowanie własne.

Liczba uzyskanych i przechowanych elementów wektora dla każdego obrazu radarowego badanego wynosiła 63 elementy, po usunięciu elementu o indeksie (1,1). W badaniach były zapisywane do pliku tekstowego w kolejnych wierszach. W ten sposób obrazy radarowe i cyfrowe o rozmiarach 760x760 pikseli (elementów) można było zmniejszyć do obrazu o rozmiarach 8x8 elementów. Elementy te zawierają w rzeczywistości najistotniejsze informacje o danym obrazie, można je wykorzystać do dalszej skutecznej obróbki.

W badaniach nad efektywności podejścia zaproponowanego w artykule zbadano procent rozpoznawania 100 obrazów radarowych za pomocą miary Euklidesa.



Rysunek 3. Przepisanie wartości współczynników macierzy przekształcenia 2D-DFT z kwadratowej macierzy o rozmiarze 8x8 do tablicy jednowymiarowej

Źródło: opracowanie własne.

### 3. PODSUMOWANIE

Tradycyjne podejście wyboru cech z obrazu cyfrowego przy pomocy 2D-DFT, stosowane między innymi w wymienionych wyżej pracach, zostało tutaj zmodyfikowane w celu wydobycia jeszcze bardziej istotnych informacji z obrazu radarowego. Wybrano współczynniki z jednego rogu macierzy przekształcenia. Eksperymentalnie wyznaczono blok 8x8 współczynników. Zredukowało to w dużym stopniu liczbę wybranych informacji w porównaniu do tradycyjnych podejść. Wyniki uzyskane po stosowaniu tego nowego podejścia okazały się bardzo dobre, przy użyciu sztucznych sieci neuronowych jako systemu rozpoznawania. Rozpoznawalność tych obrazów jest rzędu 98%, jest to wynik bardzo dobry w porównaniu z innymi metodami transformacji danych wykorzystujących dwuwymiarowe transformacje. Przykładowo przy zastosowaniu dwuwymiarowej dyskretnej transformacji cosinusowej wyniki rozpoznawalności nie przekraczały 80%. Przypisanie wektorów cech obrazów radarowych do plików tekstowych za pomocą nowego podejścia zmniejszyło rozmiar bazy obrazów badanych z 3 GB do 2 MB. Oznacza to, że zmniejszono rozmiar bazy danych prawie 1,5 tysiąca razy. Wyniki te pokazują, iż podejście stosowane w artykule jest jak najbardziej skuteczną metodą ekstrakcji cech z cyfrowych obrazów radarowych.

### SUMMARY

The article discusses the problem of features extraction of digital images by using Two-Dimensional Discrete Fourier Transform. A new approach to using this transformation in order to obtain the most significant features of digital images, which are necessary to increase the efficiency of further processing is presented. Results of the effectiveness of this approach in radar images recognition are shown as well. The article consists of an introduction, a general description of Two-Dimensional Discrete Fourier Transform, and a description of the new approach, a summary and the literature list.

*Translated by Alij Maow*

## LITERATURA:

1. Duda J., *Metoda dopasowania obrazów pozyskiwanych metodami hydroakustycznymi do batymetrycznego pozycjonowania jednostek pływających*, praca doktorska, 2006;
2. Ekblad U., Kinser J. M., Atmer J., Zetterlun N., *Image information content and extraction techniques*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 525 (2004), pp. 397-401;
3. Gelman L., Sanderson M., Thompson C., *Signal recognition: Fourier transform vs. Cosine transform*, Pattern Recognition Letters 24 (2003), pp. 2823–2827;
4. Jain A. K., *Fundamentals of digital image processing*, Prentice-Hall International Editions, 1989;
5. Karohada P., Tadeusiewicz R., *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Drukarnia Narodowa, Kraków 1999;
6. Kuchariew G., *Przetwarzanie i analiza obrazów cyfrowych*, Politechnika Szczecińska, Szczecin 1998;
7. Kukharev G., Forczmański P., *Data Dimensionality Reduction for Face Recognition*. Machine GRAPHICS & VISION 13(1/2), 99-121, 2004;
8. *Methods of comparative navigation*, Stateczny A. (red.), Learned Society of Danzig, Danzig, 2004 (In Polish);
9. Pastina D., Lombardo P., Farina A., Daddi P., *Super-resolution of polarimetric SAR images of ship targets*, Signal Processing 83 (2003) 1737-1748;
10. Stateczny A., Wąż M., *Metoda pozyskiwania obrazów radarowych w procesie neuronowego wyznaczania pozycji okrętu*, materiały VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Inżynierii Ruchu Morskiego, WSM, Szczecin 1999;
11. Suna Z., Bebisa G., Miller R., *Object detection using feature subset selection*, Pattern Recognition 37 (2004) 2165-2176;
12. Warchhold A., *Cyfrowe przetwarzanie sygnału radarowego dla potrzeb wyznaczania pozycji okrętu metodami porównawczymi*, materiały na XI MKNT „Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu”, cz. II, AMW, Gdynia 1998;
13. Wojnar L., Kurzydłowski K. J., *Praktyka analizy obrazu*, Polskie Towarzystwo Stereologiczne, Kraków 2002;
14. *Wprowadzenie do grafiki komputerowej*, Foley D. (red.), WNT, Warszawa 1995.