

## METODA REDUKCJI PLAMKOWANIA NA OBRAZACH RADAROWYCH ZA POMOCĄ DWUSTOPNIOWEGO FILTRU WARUNKOWEGO

### A METHOD FOR SPECKLE REDUCTION ON RADAR DATA USING A TWO-LEVEL CONDITIONAL FILTER

Dariusz Ziółkowski, Edyta Woźniak

Katedra Geoinformatyki i Teledetekcji, WGiSR, Uniwersytet Warszawski

SŁOWA KLUCZOWE: SAR, obrazy radarowe, redukcja plamkowania, filtracja

STRESZCZENIE: Niniejszy artykuł przedstawia wstępne wyniki prac nad opracowaniem dwustopniowego filtra warunkowego służącego do redukcji plamkowania na obrazach radarowych, który efektywnie usuwałby szum przy jednoczesnym zachowaniu krawędzi i tekstury obiektów. Filtr ten w pierwszym etapie pracy analizuje obraz pod względem jego zmienności przestrzennej, bada homogeniczność i wielkość obszarów i wykrywa krawędzie między poligonami. W dalszej kolejności, w zależności od zaistniałej sytuacji, podejmuje decyzję o zastosowaniu okna filtrującego o określonej wielkości i kształcie. Jest ono zmienne w różnych częściach sceny i zależy od obliczonych parametrów obrazu w danym punkcie. Porównanie wyników pracy filtra warunkowego z innymi filtrami adaptacyjnymi wykazuje, że zdecydowanie lepiej zachowuje on krawędzie między obszarami oraz teksturę obrazu. Dzięki temu stosunek ilości usuniętego z obrazu szumu do ilości informacji utraconej w tym procesie wydaje się być zdecydowanie korzystniejszy w przypadku zaprezentowanego filtra warunkowego niż w przypadku innych filtrów.

## 1. WSTĘP

Jednym z głównych etapów wstępnego przetwarzania obrazów radarowych jest redukcja plamkowania. Opracowano do tej pory wiele metod filtracji tych obrazów: filtry adaptacyjne (Lee, 1986; Lee *et al.*, 1994; North, Wu, 2001; Xiao *et al.*, 2003; Qiu *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2009) filtracje z zastosowaniem transformacji fourierowskich, transformacji falkowych (Gnanadurai, Sadasivam, 2005; Gupta, Gupta, 2007), czy też metody wykorzystujące analizę częstotliwości dopplerowskiej (ang. *Multi-look processing*). W obrębie każdej z tych metod opracowano wiele różnych algorytmów. Jednakże bez

względu na zastosowaną metodę, proces filtracji wiąże się zawsze z utratą rozdzielczości obrazu a tym samym z redukcją nie tylko szumu, ale również wartościowej informacji. Im silniejszy filtr zostanie zastosowany tym większa redukcja szumów, ale też większa utrata informacji. W przypadku filtrów adaptacyjnych siła filtracji jest zależna w dużej mierze od wielkości okna filtrującego. Dobór wielkości tego okna jest uzależniony od parametrów filtrowanego obrazu a przede wszystkim od stopnia zmienności przestrzennej zarejestrowanego na obrazie obszaru. Obrazy obejmujące obszary o dużym zróżnicowaniu pokrycia i ukształtowania terenu wymagają mniejszego okna filtrującego ze względu na mniejszą powierzchnię pól jednorodnych. W przypadku jednorodnych obszarów o większej powierzchni możliwe jest zastosowanie większego okna filtrującego. Jednakże prowadzi to często do niepożądanych efektów na granicach tych obszarów, gdzie dochodzi do rozmycia krawędzi. Wynika to z tego, że piksele graniczne są filtrowane zazwyczaj przez sąsiednie piksele należące do różnych obszarów.

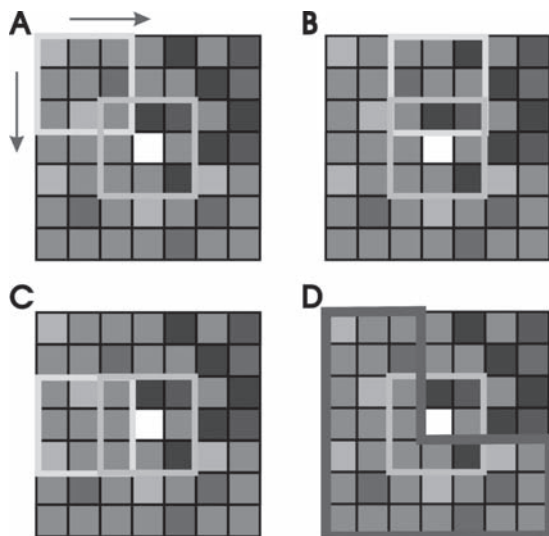
Stosowane obecnie filtry adaptacyjne wykorzystywane do redukcji plamkowania obrazów radarowych dają wręcz nieograniczone możliwości doboru wielkości okna filtrującego, zaczynając od najmniejszego o wielkości 3x3 piksele. Jednakże każdy z tych filtrów ma jedną zasadniczą wadę. Raz zdefiniowana wielkość okna filtrującego jest niezmienna dla całego filtrowanego obrazu. Stwarza to szczególnie duże problemy w przypadku bardzo zróżnicowanych obrazów, na których obok dużych obszarów jednorodnych zarejestrowane są również tereny charakteryzujące się dużą zmiennością przestrzenną.

Wydaje się, że w takiej sytuacji najlepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie takiego algorytmu filtrującego, który potrafiłby analizować obraz pod względem jego zmienności przestrzennej (określać wielkość pól jednorodnych, wykrywać granice obszarów itp.) oraz dopasowywać wielkość i kształt okna filtrującego do zaistniałej na obrazie sytuacji. Jest to główna idea, którą kierowali się autorzy przy konstrukcji prezentowanego w tym artykule filtra. Założono, że proponowany algorytm powinien: używać większego okna filtrującego w obrębie dużych obszarów jednorodnych; mniejszego okna filtrującego w przypadku obszarów heterogenicznych, charakteryzujących się dużą zmiennością jasności pikseli; na granicach dwóch obszarów powinien podejmować decyzję, do którego obszaru zakwalifikować piksel graniczny oraz filtrować ten piksel wykorzystując wyłącznie wartości pikseli z tego jednego obszaru.

## **2. METODA**

W celu uzyskania zamierzonego efektu zastosowano dwuetapowy model filtra, który określono mianem dwustopniowego filtra warunkowego. Kod źródłowy algorytmu filtrującego został napisany w języku Visual Basic przy użyciu oprogramowania Visual Basic Express Edition. W pierwszym etapie w algorytmie zastosowano szereg różnej wielkości okien przeszukujących, które w otoczeniu filtrowanego piksela dokonują analizy homogeniczności obrazu w celu znalezienia obszarów jednorodnych pod względem zmienności częstotliwości przestrzennej. W prezentowanej w niniejszym artykule wersji filtra zastosowano dla każdego filtrowanego piksela duże okno przeszukujące o wymia-

7x7 pikseli oraz dziewięć małych okien przeszukujących o wymiarach 3x3 piksele rozmieszczonych wewnątrz dużego okna o wymiarach 7x7 pikseli (Rys. 1). Wielkość tych okien przy niewielkiej zmianie parametrów algorytmu może oczywiście ulec zmianie.



**Rys. 1.** Zasada działania filtru. A, B, C – kolejne okna przeszukujące, D – okno użyte do filtracji piksela środkowego. Małe okno centralne jest oknem referencyjnym, do którego porównywane są parametry statystyczne liczone w pozostałych małych oknach przeszukujących.

W obrębie wszystkich wymienionych wyżej okien obliczane są dwa proste parametry statystyczne: odchylenie standardowe oraz wartość średnia. Głównym zadaniem tych parametrów w tym przypadku jest określenie homogeniczności obszaru, sprawdzenie, czy filtrowany piksel centralny oraz całe duże okno przeszukujące znajduje się wewnątrz obszaru jednorodnego, czy na granicy dwóch różnych obszarów.

Przyjęto założenie, że im mniejsze odchylenie standardowe w obrębie okien przeszukujących, tym obszar jest bardziej jednorodny. Zwiększenie wartości odchylenia standardowego może być spowodowane albo zwiększeniem heterogeniczności obszaru, lub też położeniem okna przeszukującego na granicy dwóch różnych obszarów charakteryzujących się odmiennym współczynnikiem wstecznego rozproszenia. W tych dwóch ostatnich przypadkach przefiltrowanie obrazu za pomocą dużego okna filtrującego mogłoby się przyczynić nie tylko do redukcji szumów na obrazie, ale także do utraty lub zafałszowania dużej części informacji, ponieważ do filtracji wykorzystywane byłyby również te piksele obrazu, które w rzeczywistości reprezentują inną formę pokrycia terenu (lub inną cechę środowiska widoczną na obrazie radarowym) niż piksel centralny. Dlatego też w przedstawianym algorytmie przyjęto założenie, że jeżeli wartość odchylenia standardowego

w centralnym małym oknie przeszukującym odbiega od odchylenia standardowego w innych oknach przeszukujących o większą niż zadana przez użytkownika wartość, to piksel centralny może być filtrowany wyłącznie za pomocą wartości znajdujących się w małym oknie centralnym. Jeśli zaś istnieją okna, dla których nie zostaje przekroczona wartość progowa odchylenia standardowego, to piksel centralny filtrowany jest przy użyciu pikseli znajdujących się w oknie centralnym i oknach spełniających powyższy warunek.

Drugim parametrem wykorzystywanym w filtrze jest wartość średnia, która jest obliczana dla wszystkich małych okien przeszukujących. Do filtracji piksela centralnego posłużą tylko i wyłącznie te piksele dużego okna przeszukującego, które znajdują się w obrębie małych okien przeszukujących, których wartość średnia nie odbiega od wartości średniej małego okna centralnego o więcej niż określona przez użytkownika wartość progowa. Wyrażona jest ona w wartościach procentowych odchylenia od wartości średniej, by uniezależnić zaproponowany algorytm od wartości współczynnika wstecznego rozproszenia.

W ten sposób na podstawie wymienionych wyżej dwóch parametrów statystycznych powstają dwa zestawy okien przeszukujących. Ostatecznie do filtracji piksela centralnego brane są tylko i wyłącznie piksele z tych okien przeszukujących, które stanowią część wspólną obu tych zestawów.

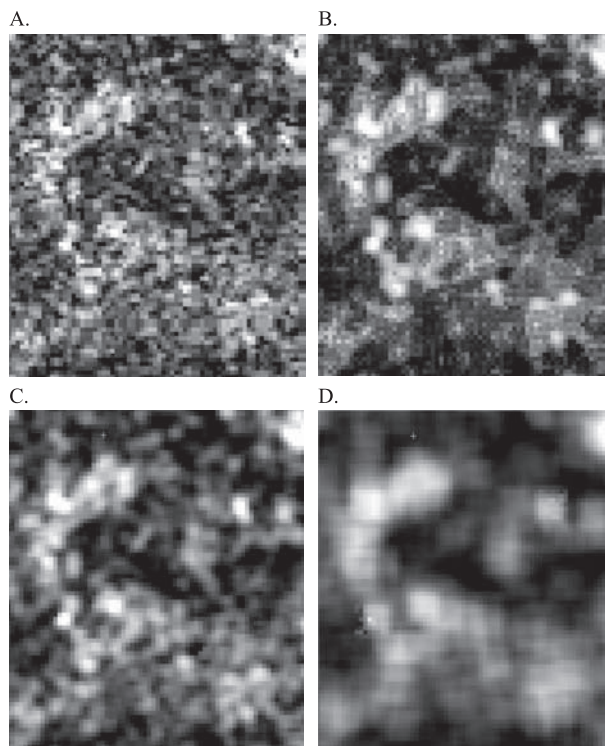
Przedstawiona powyżej zasada działania algorytmu odnosi się tylko i wyłącznie do pierwszego etapu pracy filtra. Jest to etap, w którym na podstawie analiz wartości średniej oraz odchylenia standardowego poszczególnych okien przeszukujących dokonywany jest wybór tych pikseli, na podstawie których zostanie dokonana filtracja piksela centralnego. Przy zastosowanej przez autorów w tym przypadku wielkości dużego okna filtrującego o wymiarach 7x7 pikseli, liczba pikseli użytych do filtracji może wahać się w zależności od homogeniczności danego fragmentu sceny radarowej w granicach od 9 pikseli dla obszarów heterogenicznych do 49 pikseli dla obszarów homogenicznych. W dalszej kolejności następuje proces filtracji. W tym przypadku autorzy zastosowali zwykły filtr oparty o wartość średnią obliczoną na podstawie pikseli wyselekcjonowanych w pierwszym etapie działania filtra.

### **3. ANALIZA WYNIKÓW**

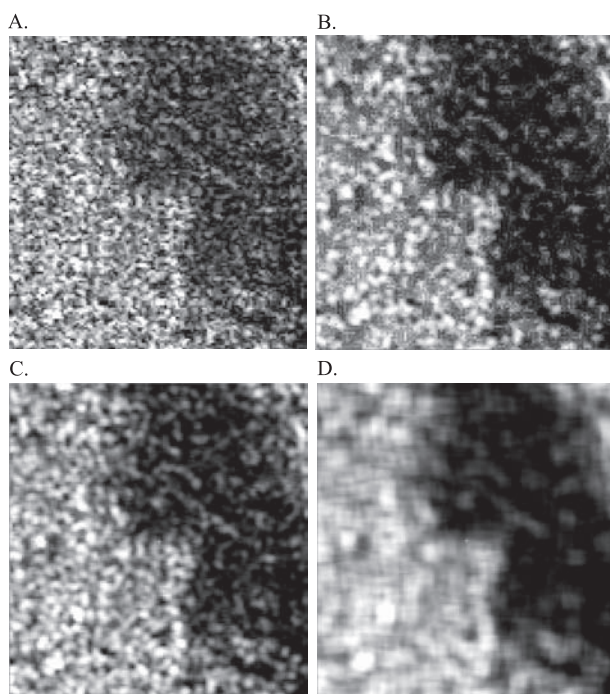
Doprzetestowania działania zaproponowanego algorytmu filtrującego użyto fragment sceny radarowej z satelity ERS-2 (pasma C) zarejestrowanej dnia 26 sierpnia 1997 roku o rozmiarze ok. 20x20 km. Wykorzystano do tego celu obraz typu PRI o wielkości piksela 12.5x12.5 w oryginalnej reprezentacji amplitudowej. Zdecydowano się nie przeprowadzać kalibracji obrazu, żeby uniknąć ingerencji w wartości pikseli przed procesem redukcji plamkowania. Głównym powodem wyboru tego fragmentu sceny była duża różnorodność zarejestrowanego na niej obszaru. Występują tutaj zarówno duże jednorodne obszary o różnej szorstkości (łąki, lasy), jak również mocno heterogeniczne obszary gruntów ornych oraz obszarów rolniczych z dużym udziałem roślinności naturalnej, charakte-

ryzujących się dużą zmiennością pokrycia terenu na małym obszarze. Wykorzystany do testów fragment sceny radarowej został najpierw poddany procesowi geometryzacji.

Filtracja została przeprowadzona za pomocą trzech filtrów: dwustopniowego filtra warunkowego o rozmiarze  $7 \times 7$  pikseli oraz w celach referencyjnych filtra Enhanced Lee o rozmiarze  $3 \times 3$  piksele oraz  $7 \times 7$  pikseli. Do porównania wyników został wybrany filtr Enhanced Lee, ponieważ według autorów, dla fragmentu obrazu radarowego wybranego do badań, dawał on najlepsze wyniki spośród wszystkich filtrów adaptacyjnych do redukcji plamkowania dostępnych autorom. Filtracji obrazu za pomocą filtra Enhanced Lee dokonano w oprogramowaniu ENVI 4.3. Wielkości okien filtra Enhanced Lee:  $3 \times 3$  oraz  $7 \times 7$  pikseli odpowiadają najmniejszej i największej wielkości okna filtrującego, jaka została użyta w dwustopniowym filtrze warunkowym. Wyniki filtracji przedstawiono na ilustracjach: na rysunku 2 – dla obszarów o dużym rozczłonkowaniu pokrycia terenu i na rysunku 3 – dla obszarów o małym rozczłonkowaniu. Przedstawiają one fragmenty oryginalnego obrazu radarowego przed filtracją (Rys. 2, 3a) oraz te same fragmenty sceny przefiltrowane za pomocą dwustopniowego filtra warunkowego (Rys. 2,3b) oraz filtra Enhanced Lee w oknie  $3 \times 3$  oraz  $7 \times 7$  pikseli (Rys. 2, 3cd). Widać wyraźnie, że filtr wa-



**Rys. 2.** Wyniki działania filtra warunkowego na fragmencie obrazu charakteryzującym się dużym rozczłonkowaniem form pokrycia terenu: a – obraz przed filtracją, b – filtr warunkowy, c – filtr Enhanced Lee  $3 \times 3$ , d - filtr Enhanced Lee  $7 \times 7$ .



**Rys. 3.** Wyniki działania filtra warunkowego na fragmencie obrazu charakteryzującym się małą rozczłonkowaniem form pokrycia terenu: a – obraz przed filtracją, b – filtr warunkowy, c – filtr Enhanced Lee 3x3, d - filtr Enhanced Lee 7x7.

runkowy zachowuje się zdecydowanie lepiej niż pozostałe dwa filtry. Przede wszystkim zdecydowanie lepiej zachowuje granice pomiędzy dwoma różnymi obszarami. Są one nawet bardziej wyraźne i zdecydowanie ostrzejsze niż w filtrze Enhanced Lee w oknie 3x3 piksele, które jest najmniejszym oknem filtrującym dla każdego standardowego filtra. Jest to spowodowane tym, że zastosowany algorytm na granicy obszaru filtruje piksel graniczny tylko i wyłącznie otaczającymi go pikselami z jednego obszaru, tego, do którego sam został zaklasyfikowany przez okna przeszukujące.

Jeżeli przyjrzymy się działaniu filtra wewnątrz obszarów, tu też zdecydowanie widać przewagę filtra warunkowego. Zachowuje on zdecydowanie lepiej teksturę obrazu, często z dokładnością do pojedynczych pikseli, przez co pozornie obraz ten wydaje się słabiej przefiltrowany niż obraz po zastosowaniu filtra Enhanced Lee w oknie 3x3 piksele. Nie jest to jednakże prawda. Przeczą temu statystyki obrazu, które zostały przedstawione w tabeli 1. Widać wyraźnie, że wartości odchylenia standardowego dla obu tych obrazów są porównywalne, natomiast wartość maksymalna jest zdecydowanie niższa w przypadku filtra warunkowego. Tak więc, to filtr warunkowy zadziałał mocniej przy jednocześnie lepszym zachowaniu granic obszarów i tekstury obrazu.

**Tab. 1.** Podstawowe parametry statystyczne obrazu przed i po filtracji.

	Średnia	Moda	Mediana	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe
<b>Oryginal</b>	324.722	279	309	14	4583	120.973
<b>Filtr warunkowy</b>	300.108	252	285	79	928	93.597
<b>Enhanced Lee 3x3</b>	334.319	313	325	39	3485	90.72
<b>Enhanced Lee 7x7</b>	339.012	333	336	76	4055	71.356

Dla porównania przedstawiono również wyniki filtracji za pomocą filtra Enhanced Lee w oknie 7x7 pikseli, czyli maksymalnym, jakie zostało zastosowane w filtrze warunkowym. W tym przypadku widać zdecydowanie mocniejsze działanie filtra Enhanced Lee (zdecydowanie mniejsze odchylenie standardowe dla całego obrazu jak i poszczególnych obszarów). Jest to w pełni zrozumiałe i wynika z przefiltrowania całego obrazu w oknie 7x7 pikseli, podczas gdy w przypadku filtra warunkowego wartość ta jest zmienna i w wielu przypadkach mniejsza. Jeśli porównamy jednak oba obrazy ze sobą wizualnie, widać wyraźnie, że w przypadku filtra Enhanced Lee mocniejsza filtracja wiąże się ze zdecydowanie większą utratą wartościowych informacji, niewspółmierną do osiągniętych wyników filtracji.

#### 4. WNIOSKI

Przedstawione powyżej wyniki działania dwustopniowego filtra warunkowego wyraźnie pokazują, że sprawdza się on zdecydowanie lepiej niż standardowo stosowane w programach teledetekcyjnych inne filtry adaptacyjne służące do redukcji efektu plamkowania. Stwierdzono, że zdecydowanie lepiej zachowuje on granice między różnymi obszarami oraz teksturę obrazu przy jednocześnie zdecydowanie silniejszej redukcji wartości skrajnych. Dzięki temu stosunek ilości usuniętego z obrazu szumu do ilości informacji utraconej w tym procesie wydaje się być zdecydowanie korzystniejszy w przypadku zaprezentowanego filtra warunkowego niż w przypadku innych filtrów. W niniejszym artykule zaprezentowano wstępne wyniki prowadzonych w tym zakresie prac badawczych dla danych radarowych pochodzących z tylko jednego sensora (ERS w formacie PRI). W najbliższym czasie planuje się prowadzenie dalszych badań mających na celu udoskonalenie działania filtra, przetestowanie go na większej ilości obrazów radarowych pochodzących z różnych sensorów, a także zastosowanie zaproponowanego algorytmu do segmentacji obrazów radarowych oraz do klasyfikacji wykorzystującej oprócz wartości współczynnika wstecznego rozproszenia także teksturę obrazu radarowego.

## 5. LITERATURA

- Gnanadurai D., Sadasivam V., 2005. Undecimated wavelet based speckle reduction for SAR images. *Pattern Recognition Letters*, 26(6), s. 793-800.
- Gupta K.K., Gupta R., 2007. Despeckle and geographical feature extraction in SAR images by wavelet transform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(6), s. 473-484.
- Huang S., Liu D., Gao G., Guo X., 2009. A novel method for speckle noise reduction and ship target detection in SAR images. *Pattern Recognition*, 42(7), s. 1533-1542.
- Lee J.S., 1986. Speckle Suppression and Analysis for Synthetic Aperture Radar Images. *Optical Engineering*, 25(5), s. 636-643.
- Lee J.S., Jurkevich I., Dewaele P., Wambacq P., Oosterlinck A., 1994. Speckle Filtering of Synthetic Aperture Radar Images: A Review. *Remote Sensing Review*, 8, s. 313-340.
- North H. C., Wu Q. X., 2001. An Edge Preserving Filter for Imagery Corrupted with Multiplicative Noise. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(1), s. 57-64.
- Qiu F., Berglund J., Jensen J.R., Thakkar P., Ren D., 2004. Speckle Noise Reduction in SAR Imagery Using a Local Adaptive Median Filter. *GIScience and Remote Sensing*, 41(3), s. 244-266.
- Xiao J., Li J., Moody A., 2003. A Detail-Preserving and Flexible Adaptive Filter for Speckle Suppression in SAR Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(12), s. 2451-2465.

### A METHOD FOR SPECKLE REDUCTION ON RADAR DATA USING A TWO-LEVEL CONDITIONAL FILTER

KEY WORDS: SAR images, speckle reduction, filtering.

SUMMARY: This paper presents the preliminary results of research on developing a two-level conditional speckle filter which effectively removes noise while simultaneously preserving the edges and texture of objects. In the first step, the filter analyses the SAR image in respect of its spatial variability; determines the homogeneity and extent of the object and interprets its edges. Then the shape and dimension of the filter window is chosen on the basis of the previous analysis. The filter window changes along the scene depending on the parameters counted for each pixel. The comparison of the proposed filter with other adaptive filters shows that the filter developed maintains better edges and texture of objects and more effectively reduces extreme values. The relationship between speckle reduction and information loss in the case of this filter design is also better than in the case of other adaptive filters.

dr Dariusz Ziółkowski  
dziolkow@uw.edu.pl  
telefon: +48 22 552065  
fax: +48 22 5521521

mgr Edyta Woźniak  
edytawozniak@student.uw.edu.pl  
telefon: +48 22 5520654  
fax: +48 22 5521521