

WAŻ Mariusz<sup>1</sup>  
NAUS Krzysztof<sup>2</sup>

## Wykrywanie ech radarowych o małej amplitudzie sygnału

bezpieczeństwo  
nawigacja radarowa  
detekcja

### Streszczenie

*Problem detekcji ech o niskim poziomie sygnału jest bardzo istotny ze względów bezpieczeństwa prowadzenia żeglugi. W artykule przedstawiono metody wykrywania takich ech. Metody te polegają na przetwarzaniu i analizie pierwotnego sygnału wizyjnego w radarze nawigacyjnym.*

### DETECTION OF LOW LEVEL SIGNAL RADAR ECHOES

### Abstract

*Detection of low level signal radar echoes is a very important problem from the point of view of navigation safety. In the paper, methods used for that purpose are presented. The methods are based on processing and analysis of originally registered vision signal from navigational radar.*

### 1. WSTĘP

Proces prowadzenia nawigacji w oparciu o pokładowe systemy radarowe (nawigacja radarowa) charakteryzuje się jak dotąd stosunkowo niską dokładnością. Powodem tego są nie tylko trudne do wyeliminowania zakłócenia fal radiowych (na częstotliwości pracy radaru) oraz ograniczenia techniczne w prezentacji echa radarowego na ekranie, lecz także błędna identyfikacja echa radarowego oraz losowe i deterministyczne zakłócenia obserwacji radarowej. Radary nawigacyjne mimo, że w sposób ciągły ulepszone, nie są doskonałe. Ich wadą jest niewielka odporność na zakłócenia, w tym zakłócenia bierne oraz zbyt mała czułość, utrudniająca a czasami wręcz uniemożliwiająca wykrycie małych obiektów. Wprowadzanie nowoczesnych technologii jak również nowego oprogramowania analizującego sygnał wizyjny radaru może znacznie udoskonalić proces detekcji ech, a tym samym zwiększyć prawdopodobieństwo wykrycia ech użytecznych, w tym ech znajdujących się w obszarze występowania zakłóceń.

W nawigacji morskiej radar jest podstawowym urządzeniem wykorzystywanym przez nawigatora w celu uniknięcia kolizji z innymi obiektami obecnymi na akwenu. Współczesna technika radarowe osiągnęła obecnie poziom umożliwiający konstrukcję nowoczesnych radarów o dużej czułości, posiadających umiejętność detekcji zarówno obiektów o dużych rozmiarach i dużej powierzchni odbicia ale co równie ważne także obiektów o niewielkich gabarytach generujących słabe echo radarowe. Dużym problemem w przypadku takich urządzeń jest jednak odróżnienie tego co stanowi rzeczywiste echo radarowe od szumu występującego w sygnale obieranym z anteny. Poziom sygnału dla niewielkich obiektów generujących słabe echo jest po prostu bardzo często na takim samym poziomie jako wspomniany szum. We współcześnie używanych radarach nawigacyjnych słabe echa ze względu na ich trudną rozróżnialność od szumu są eliminowane z obrazu radarowego. Wszystko to co jest poniżej założonego progu jest usuwane. Jedynym kryterium, które jest stosowane podczas formowania obrazu radarowego z sygnału z anteny jest poziom tego sygnału. Inne jego parametry takie jak np. kształt nie są brane pod uwagę. Konsekwencją takiej metody tworzenia obrazu radarowego jest to, że niewielkie obiekty takie jak np. jachty są często niewidoczne dla nawigatora (nie ma ich na obrazie radarowym) co było przyczyną wielu wypadków na morzu [1].

### 2. WYKRYWANIE SŁABYCH ECH RADAROWYCH

Niezmiernie ważne jest także prowadzenie badań nad możliwością wykrywania ech radarowych pochodzących od małych obiektów lub obiektów o małej powierzchni odbicia, które „giną” na tle szumów i zakłóceń. Wydaje się, że aby zwiększyć wykrywalność obiektów charakteryzujących niskim poziomem sygnału radarowego i aby udostępnić informację o takich obiektach nawigatorowi zwiększając w ten sposób bezpieczeństwo żeglugi, formowanie obrazu radarowego z sygnału z anteny powinno oprócz poziomu sygnału uwzględniać również jego kształt. System analizujący sygnał radarowy powinien poszukiwać w sygnale miejsc charakterystycznych dla rzeczywistych ech, odróżniając je w ten sposób od pozostałej zawartości.

<sup>1</sup>Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej; 81-103 Gdynia; ul. Śmidowicza 61. Tel: +48 58 626 26 58, E-mail: m.waz@amw.gdynia.pl;

<sup>2</sup>Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej; 81-103 Gdynia; ul. Śmidowicza 61. Tel: +48 58 626 29 50, E-mail: k.naus@amw.gdynia.pl;

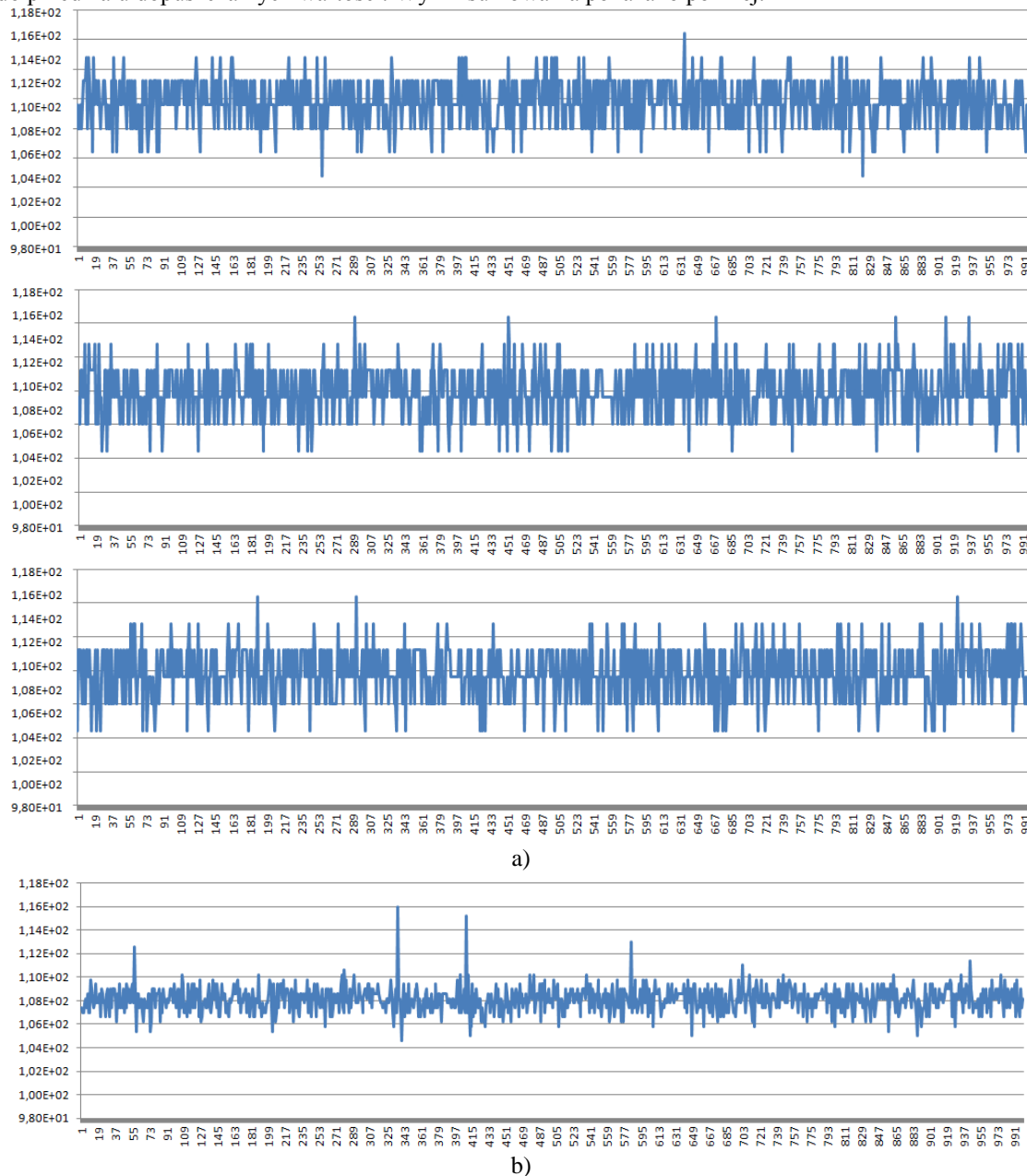
Zadanie polegać powinno na poszukiwaniu takich cech sygnału wizyjnego echa radarowego, które odróżni go od szumów i zakłóceń. Może to być wartość napięcia sygnału echa radarowego, kształt sygnału (echa radarowego) czy też częstotliwość jego występowania lub określone w wyniku badań parametry wektora stanu echa radarowego. Zarówno jedno i drugie badania powinny uwzględniać wpływ środowiska morskiego i zakłóceń od powierzchni morza [2] [3].

### 3. WYKRYWANIE SŁABYCH ECH RADAROWYCH METODĄ SUMOWANIA SYGNAŁÓW

Sygnał wizyjny pochodzący od obiektu powierzchniowego powinien charakteryzować się stałą pozycją w stosunku do położenia anteny radarowej (przy założeniu, że obiekt nie przemieszcza się lub porusza się wolno a kolejne rejestracje sygnałów były co jeden obrót anteny). Szумы i zakłócenia mają charakter losowy. Stosując metodę sumowania obrazów pochodzących z tej samej pozycji i przy założeniu, że obserwowane obiekty były nieruchome lub poruszały się nieznacznie można poprawić jakość detekcji ww. obiektów na tle losowych zakłóceń.

Jedną z podstawowych technik stosowaną w celu usunięcia losowych zakłóceń jest sumowanie wielu obrazów tego samego obiektu. Zakładając, że każdy z obrazów zawiera jakąś przypadkową wadę, sumując je otrzymamy obraz wynikowy zawierający zakłócenia wszystkich obrazów składowych. Jednakże poziom tych niepożądanych sygnałów w stosunku do sygnału użytecznego będzie dużo niższy niż oryginalnie. Zwiększenie liczby dodawanych obrazów spowoduje dalsze zwiększenie różnicy między sygnałem pożądanym i zakłóceniem.

Przedstawiany proces sumowania obrazów polega na dodawaniu wartości odpowiadających sobie przebiegów wszystkich sygnałów wizyjnych z jednej pozycji. Po czym przeprowadzana zostaje normalizacja mająca na celu skalowanie poziomu sygnału do przedziału dopuszczalnych wartości. Wynik sumowania pokazano poniżej.

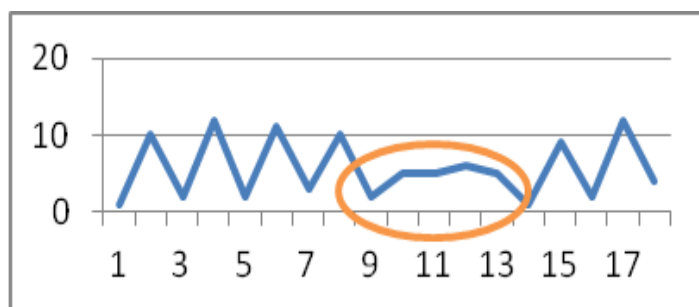


Rys. 1. Sumowanie sygnałów wizyjnych (obserwacja obiektów stałych o niskim poziomie sygnału)

Metoda przynosi zadawalające wyniki w sytuacji sumowania kolejnych sygnałów wizyjnych rejestrowanych na stałym azymucie. Na rysunku powyżej w części a) przedstawiono przykładowe 3 przebiegi zarejestrowanego sygnału wizyjnego. Część b) natomiast obrazuje wynik sumowania i znormalizowania wartości sygnałów wizyjnych dla 150 przebiegów. Odpowiada to ok. 7,5 minuty czasu rejestracji. Wyraźnie widać na wykresie wyekstrahowane wartości napięć sygnału wizyjnego odpowiadające przypuszczalnym echem odbitym od obiektów, które nie zostały wcześniej wykryte. Na rysunku 5.2 w części b) zauważyć można wzrost średnich wartości napięcia sygnału już przy zsumowaniu kolejnych trzech ich przebiegów. Pozostała część sygnału skutecznie została osłabiona. W przykładzie przedstawionym powyżej wykryto 4 charakterystyczne echa radarowe. Metoda cechuje się prostotą realizacji i szybkością działania. Wymaga jednak utrzymania stałej pozycji anteny radarowej podczas pozyskiwania danych pomiarowych.

#### 4. WYKRYWANIE SŁABYCH ECH RADAROWYCH METODĄ GRADIENTOWĄ

Kolejna metoda zakłada, że trudno wykrywalne echo radarowe cechuje się nie tylko niskim poziomem sygnału ale także jego kształtem. Sygnał jest oczywiście na poziomie szumów ale w odróżnieniu od nich jest nieznacznie „szerszy”. Oczekuje się, że kilka występujących po sobie próbkowanych wartości napięcia sygnału będą na podobnym poziomie.



Rys. 2. Słabe echo radarowe o charakterystycznym kształcie

Działanie metody polega na podzieleniu wartości napięcia sygnału przez sumę gradientów spadku lub wzrostu sąsiednich wartości napięcia sygnału. Metoda działa zgodnie z zależnością:

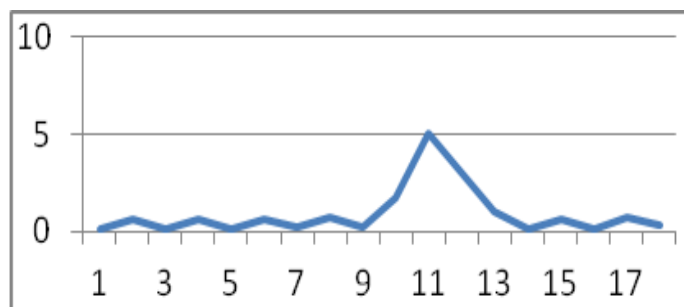
$$U_j = \frac{U_i}{|\text{grad}U_{i-1}| + |\text{grad}U_{i+1}|} \quad (1)$$

gdzie:

$\text{grad}U_{i-1}$  - gradient zmiany wartości napięcia między  $U_i$  a  $U_{i-1}$

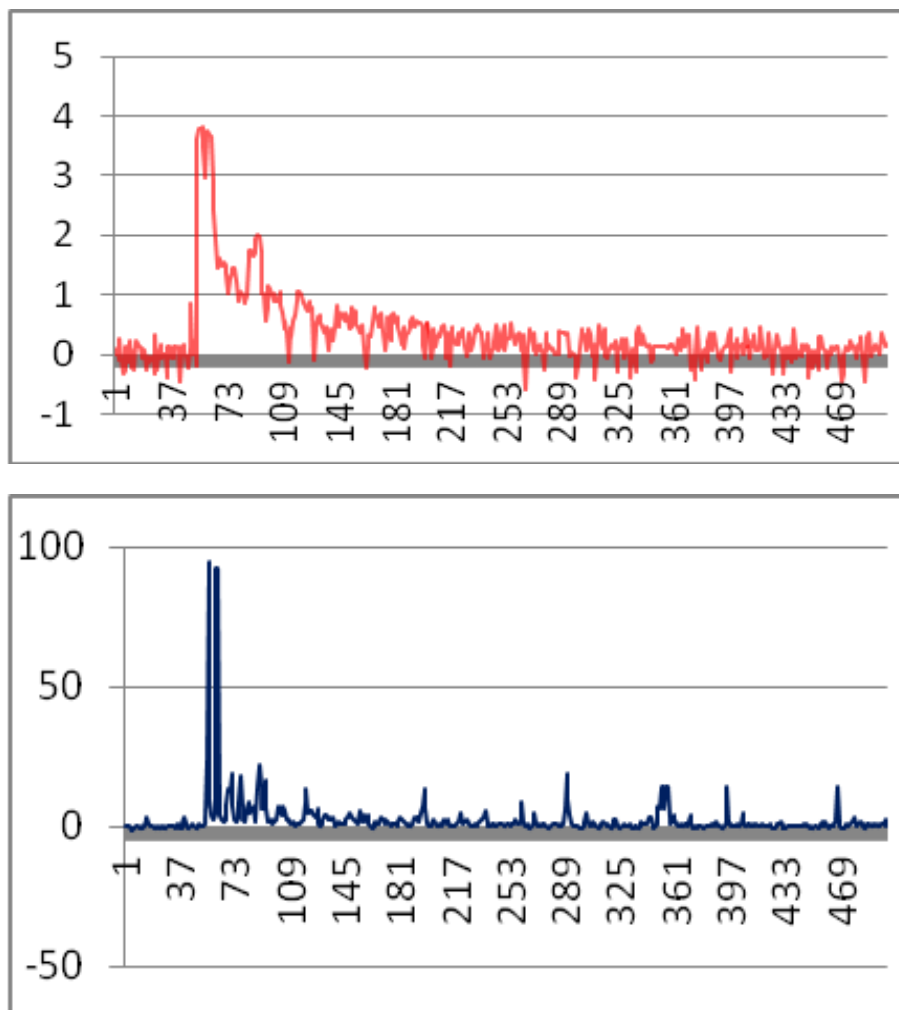
$\text{grad}U_{i+1}$  - gradient zmiany wartości napięcia między  $U_i$  a  $U_{i+1}$

W wyniku działania zależności (1) otrzymujemy nowy sygnał wizyjny zaprezentowany poniżej.



Rys. 3. Wykrycie słabego echa radarowego na tle szumów metodą gradientową

Działanie metody przetestowano na rzeczywistych radarowych sygnałach wizyjnych i otrzymano zadawalające rezultaty. Metoda działa bardzo szybko, i umożliwia wykrywanie słabych ech radarowych w czasie rzeczywistym.



Rys. 4. Rzeczywisty sygnał wizyjny i jego odpowiednik przetworzony metodą gradientową

## 5. WNIOSKI

Przedstawiono tylko dwie przykładowe metody detekcji ech o niskim poziomie sygnału. Założono wstępnie, że sygnał ten będzie na poziomie szumów zarejestrowanych w radarowym sygnale wizyjnym. W systemach radarowych sygnał ten jest „wycinany” przez zastosowanie tzw. napięcia progowego w bloku obróbki wtórnej. Dlatego też niezwykle ważne jest rejestrowanie pierwotnego sygnału wizyjnego docierającego do odbiornika radaru nawigacyjnego. W artykule założono, że „słabe” echo radarowe będzie się charakteryzowało nie tylko wartością napięcia sygnału wizyjnego, ale także jego kształtem.

Badania przeprowadzono na rzeczywistych sygnałach wizyjnych zarejestrowanych podczas prób morskich. Do rejestracji sygnałów wizyjnych wykorzystano zestaw rejestrujący składający się z oscyloskopu Tektronix DPO 3012 oraz komputera z oprogramowaniem.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Praczyk T., Zastosowanie sztucznych systemów immunologicznych do wykrywania ech radarowych o niskim poziomie sygnału Logistyka nr 6/2011, str. 3461-3467;
- [2] Wąż M., Rejestracja i przetwarzanie zobrażenia radarowego w celu zwiększenia możliwości detekcji ech o niskim poziomie sygnału. Logistyka nr 6/2011, str. 3887-3894;
- [3] Wąż M., Naus K., Trójwymiarowa wizualizacja informacji radiolokacyjnej. Logistyka nr 6/2011, str. 3878-3886;
- [4] Wąż M., Nowak D. Wektorowy obraz radarowy, VI Międzynarodowe Sympozjum Nawigacyjne, AM, Gdynia 2005, str. 271-276;
- [5] Wąż M., Stupak T., Amplitude detection of weak radar signal. Barcelona 5th The International Congress on Maritime Technological Innovations and Research, Barcelona, November 23, 2007;
- [6] Wąż M., Stupak T., Szklarski A., Multidimensional presentation of radar image. Advances in marine navigation and safety of sea transportation; Monograph Edited by Adam Weintrit; Gdynia Maritime University 2007.