

Mariusz WAŻ¹

**AUTOMATYCZNE WYKRYWANIE ECH POCHODZĄCYCH OD
OZNAKOWANIA RADAROWEGO I OBIEKTÓW STREFY PRZYBRZEŻNEJ
NA WSKAŹNIKU RADARU NAWIGACYJNEGO**

W artykule przedstawiono metody wykrywania ech pochodzących od obiektów charakterystycznych na obrazie radarowym. Pierwsza metoda opiera się o obrazy radarowe przetworzone do postaci inwariantnej. Kolejna to wykrywanie tych ech z reprezentacji rastrowej obrazu. Całość wykonuje się w celu zautomatyzowania procesu wyznaczania pozycji obserwowanej w nawigacji radarowej.

**AN AUTOMATIC ECHOES DETECTION ON RADAR DISPLAY DERIVING
FROM A COSTAL OBJECTS AND NAVIGATIONAL MARKS**

The article presents two methods of distinguishing radar response echoes detection presented on the radar picture. First method is based on an invariant radar picture representation, next one, on an raster image. Both are invented and very useful for an positioning process automatization during radar navigation.

WSTĘP

Na akwenach przybrzeżnych, gdzie prowadzona jest żegluga, wystawione jest oznakowanie radarowe umożliwiające bezpieczne prowadzenie nawigacji. Oznakowanie to informuje nawigatora o niebezpieczeństwach nawigacyjnych a także umożliwia wyznaczanie pozycji z wykorzystaniem metod nawigacji radarowej. Pozycja tak określana charakteryzuje się wzrostem jej dokładności w miarę zbliżania się do oznakowania. Tak więc rozmieszczenie oznakowania radarowego na akwenach przybrzeżnych nie jest przypadkowe. W skład jego mogą wchodzić: pławy, stawy i pozostałe znaki pływające i stałe opisujące wyznaczone strefy rozgraniczenia ruchu, tory wodne, odosobnione niebezpieczeństwa, akweny ograniczone głębokością, akweny zamknięte dla żeglugi itp. Inne znaki wystawione wzdłuż linii brzegowej to oznakowanie portowe i brzegowe niezbędne do wyznaczania pozycji metodami terestrycznymi: oznakowanie świetlne takie jak: latarnie, stawy, nabieżniki, główki portów i budowle hydrotechniczne. Większość tych elementów wyposażona jest w reflektory radarowe wyróżniające je spośród szeregu ech widocznych na ekranie radaru. Część z nich wyposażona jest w transpondery tzw. Racon'y.

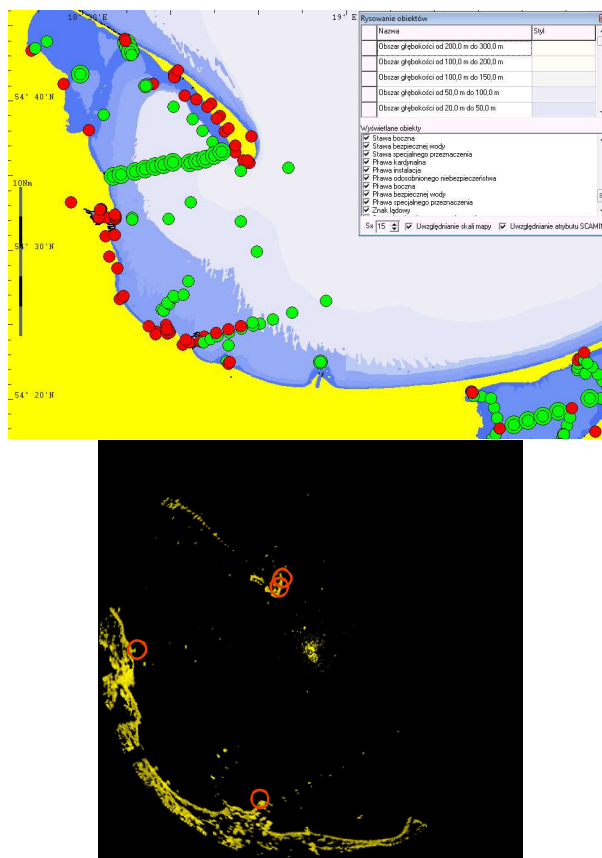
¹ Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

Istnieje jeszcze jedna grupa znaków obiektów mogących wchodzić w skład oznakowania radarowego akwenu przybrzeżnego. Są to obiekty charakteryzujące się dużą powierzchnią skutecznego odbicia. Ich echo wyróżnia się na tle zobrazowania radarowego a szczególnie na tle wszelkich szumów i zakłóceń. Nawigator może być pewny, że obiekty te będą zawsze widoczne na radarze. Stanowią one takie elementy jak: budowle, szczyty wzniesień i gór, strome klifowe wybrzeże i inne odosobnione obiekty na lądzie i morzu (np. elektrownie wiatrowe, wieże kościołów, kominy oraz jednostki stojące na kotwicy itp.). Radarowe oznakowanie nawigacyjne strefy przybrzeżnej zazwyczaj jest „wystarczające”. Oznacza to, że nawigator jest w stanie bezpiecznie prowadzić nawigację w każdych warunkach hydrometeorologicznych. Za wystawianie i monitorowanie stanu oznakowania odpowiada administracja morska danego państwa (w Polsce Urzędy Morskie w Gdyni, Słupsku i Szczecinie). Zawarte jest to w odpowiednich przepisach i konwencjach międzynarodowych.

W strefie przybrzeżnej nawigacja prowadzona jest na podstawie obserwacji wzrokowej lub technicznej elementów charakteryzujących tą strefę. Żaden nawigator nie będzie wyznaczał pozycji z radionawigacyjnych systemów satelitarnych idąc torem wodnym lub podczas podejścia do portów i manewrowania wewnątrz nich. Przechodząc obok stawy, stojąc w nabieżniku lub mijając pławę kardynalną, obowiązkiem nawigatora jest dokonanie pomiaru parametru nawigacyjnego i wyznaczenie pozycji obserwowanej.

Całość ww. oznakowania nawigacyjno-radarowego wchodzi w skład struktury nawigacyjnej wykorzystywanej do wyznaczania pozycji metodami terestrycznymi. Ze względu na różnorodność warunków hydrometeorologicznych pozycja obserwowana powinna być wyznaczona na podstawie obserwacji radarowej. Wykorzystanie do tego celu radaru daje kolejną zaletę jaką jest możliwość zautomatyzowania całego procesu wyznaczenia pozycji. Automatyzacja powinna być szeroko rozumiana. Począwszy od procesu obserwacji, rejestracji i pomiaru parametrów nawigacyjnych, poprzez identyfikację obserwowanego oznakowania i skończywszy na obliczeniu szerokości i długości geograficznej pozycji obserwowanej jednostki własnej.

Poprzez bieżące uzupełnianie struktury o znaki nie mające swoich odpowiedników na mapie nawigacyjnej ale charakteryzujące się silnym, jednostkowym i stałym echem radarowym uzyskujemy interaktywność struktury. Pozycja takiego obiektu może być stale lub czasowo oznaczona na mapie a obiekt może być przyjmowany do obserwacji w procesie prowadzenia nawigacji. Na poniższym rysunku przedstawiono fragment mapy strefy przybrzeżnej oraz jego odpowiednik widoczny na wskaźniku radarowym. Wyszczególnione zostały elementy charakterystyczne akwenu identyfikowane na obrazie radarowym. Oznaczono także obiekty na obrazie radarowym, które nie mają swoich odpowiedników na mapie. Są to obiekty stałe wyszczególnione jako echo o dużej amplitudzie sygnału.



Rys. 1. Oznakowanie radarowe akwenu przybrzeżnego (Zatoka Gdańska). Fragment mapy nawigacyjnej oraz obraz radarowy akwenu

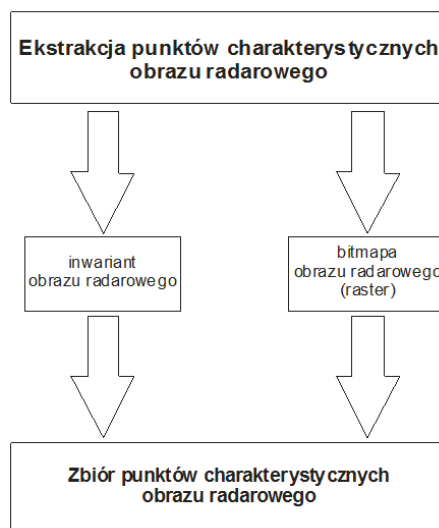
1. EKSTRAKCJA PUNKTÓW CHARAKTERYSTYCZNYCH Z OBRAZU RADAROWEGO

Ekstrakcja punktów charakterystycznych z obrazu radarowego będzie rozumiana jako wyróżnienie spośród wszystkich punktów obrazu tych, które mogą posłużyć do wyznaczania pozycji obserwowanej metodami terestrycznymi.

Źródłem punktów charakterystycznych na ekranie radaru może być linia brzegowa, echa radarowe fragmentów lądu oraz pojedyncze, odosobnione echa radarowe występujące na morzu. W literaturze [1] opisana jest metoda pozyskiwania punktów charakterystycznych z obrazu radarowego przedstawionego w postaci inwariantu konturowego. Przedstawiając obraz radarowy w reprezentacji inwariantnej można wydobyć z obrazu punkty wyróżniające się i należące do linii brzegowej. Są to zazwyczaj główki portów, cyple, mola i inne przedstawiające zmienność linii brzegowej. Metoda inwariantna pomija całkowicie pozostałe punkty obrazu radarowego, które mogą stanowić oznakowanie

nawigacyjno-radarowe akwenu. Dlatego też niezbędna jest dodatkowa analiza obrazu radarowego.

Proces ekstrakcji punktów charakterystycznych z obrazu powinien być wieloetapowy. Punkty charakterystyczne linii brzegowej wyznaczone mogą być z reprezentacji inwariantnej. Badając reprezentacje rastrową obrazu radarowego możemy wyznaczyć szereg punktów charakterystycznych występujących na lądzie i morzu. Dodatkowo spośród wszystkich odosobnionych ech radarowych można wyznaczyć echa nieruchome wykorzystując do tego celu możliwość automatycznego śledzenia ech oraz cyfrową transmisję danych nawigacyjnych NMEA stosowanych w radarze. Wszystkie etapy mogą przebiegać równolegle gdyż każdy z nich korzysta z innej reprezentacji cyfrowej obrazu radarowego.



Rys. 2. Schemat procesu ekstrakcji punktów charakterystycznych z obrazu radarowego

Wyżej wymienione metody bazują na obrazach cyfrowych pozyskanych w procesie rejestracji obrazów. W dalszym etapie obrazy radarowe przechodzą transformacje do bardziej użytecznych reprezentacji

2. WYZNACZANIE PUNKTÓW CHARAKTERYSTYCZNYCH Z INWARIANTU OBRAZU RADAROWEGO

Dokładne przedstawienie algorytmu ekstrakcji punktów charakterystycznych z obrazu radarowego wymaga starannego zdefiniowania inwariantu. Obraz w tej reprezentacji został opisany w wielu opracowaniach np. [2], [3], [4]. W literaturze opisane jest wykorzystanie tzw. inwariantu „konturowego”, który przedstawia obraz linii brzegowej zapisany w układzie biegunowym. Każdy piksel linii brzegowej reprezentowany jest przez współrzędne biegunowe tj. namiar i odległość względna mierzona od pozycji anteny radarowej.

Dla cyfrowego obrazu radarowego zapisanego w postaci:

$$O^c = \{(n, m) \in N^2 : n \in \langle 0, N \rangle, m \in \langle 0, M \rangle\} \quad (1)$$

gdzie: O^c jest zbiorem punktów $P_i^c(n, m)$ takim że $i = 0, 1, \dots, N \cdot M - 1$, oraz dla założeń, że liczby określające wielkość obrazu N i M przyjmują wartości nieparzyste a więc dla każdego obrazu możemy określić punkt centralny $P^o(n_o, m_o)$ taki, że:

$$n_o = \frac{N-1}{2}, m_o = \frac{M-1}{2} \quad (2)$$

inwariant „konturowy” możemy zdefiniować jako funkcję g_{inw} przyjmującą wartości [6]:

$$g_{inw}(k) = \begin{cases} A & \text{dla } D^c(NR_k) = \emptyset \\ \min_{P^c \in D^c(NR_k)} |P^o P^c| & \end{cases} \quad (3)$$

$$k = 0, 1, \dots, n(360) ;$$

gdzie: $D^c(NR_k)$ – zbiór widocznych punktów (pikseli) obrazu leżących na określonym namiarze (NR), czyli echa radarowe w określonym namiarze;

$|P^o P^c|$ – odległość wskazanego piksela od środka obrazu (punktu centralnego),
odległość echa radarowego od anteny;

n – stopień zastosowanej rozdzielczości inwariantu obrazu radarowego;

A – pewna założona odległość większa od zakresu obserwacji.

Proponowana metoda ekstrakcji punktów charakterystycznych z obrazu radarowego polega na analizie drugiej pochodnej funkcji $g_{inw}(k)$. Aby jednak analiza ta była możliwa potrzebna jest postać analityczna tej funkcji. Inwariant „konturowy” musi jednak spełniać warunek ciągłości i różniczkowalności w przedziale $\langle 0, n \cdot 360 \rangle$. Wyznaczenie analitycznej postaci funkcji jest bardzo trudne. Możemy jedynie wyznaczyć pewien estymator tej funkcji $\hat{g}_{inw}(k)$. Jako jej estymator w proponowanej metodzie w [1] przyjęta została poniższa funkcja:

$$\hat{g}_{inw}(x, \sigma) = \frac{\sum_{k=0}^{2(N+M)-1} g_{inw}(k) \varphi_k(x, \sigma)}{\sum_{k=0}^{2(N+M)-1} \varphi_k(x, \sigma)} \quad (4)$$

$$\varphi_k(x, \sigma) = e^{-\frac{(x-k)^2}{2\sigma^2}}$$

Działanie algorytmu polega na wyznaczeniu funkcji

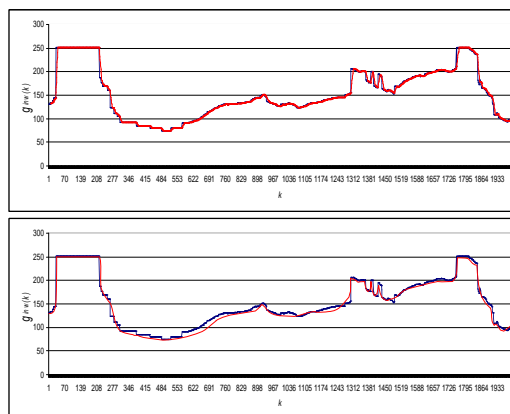
$$z(x, \sigma) = \frac{d^2 \hat{g}_{inv}}{dx^2} \quad (5)$$

dla ustalonego σ w punktach $k = 0, 1, \dots, 2(N + M) - 4$ a następnie odszukanie takich k , dla których:

$$\begin{aligned} z(k) > \omega \wedge z(k) > z(k-1) \\ \wedge z(k) \geq z(k+1) \wedge g_{inv}(k) \neq A \end{aligned} \quad (6)$$

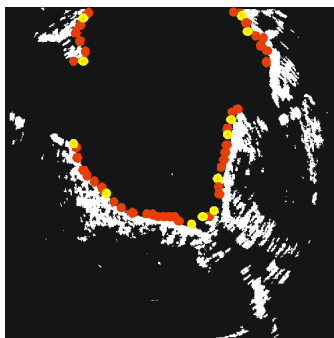
gdzie ω jest parametrem algorytmu pozwalającym na segregowanie całego zbioru potencjalnych punktów charakterystycznych na grupę punktów „wyrazistych” (dobrze widocznych) czyli takich dla których $z(k) > \omega$ oraz słabo wyróżnialnych dla których $z(k) \leq \omega$. Innym parametrem algorytmu jest współczynnik σ umożliwiający eliminację z $\hat{g}_{inv}(x, \sigma)$ niewielkich pofałdowań funkcji mogących generować niepotrzebnie dużą ilość punktów charakterystycznych. Zatem parametr ω usuwa z listy punktów charakterystycznych punkty mało „wyraziste” natomiast współczynnik σ zapobiega ich generowaniu. Ostatecznie jeśli zbiór punktów brzegowych spełniających warunek (6) to punkty charakterystyczne obrazu radarowego.

Poniższy rysunek przedstawia dobór optymalnego estymatora funkcji inwariantu konturowego. Pierwszy wykres przedstawia sytuację gdzie estymator został dobrany w taki sposób, że algorytm generuje nadmierną liczbę punktów charakterystycznych. Kolejny wykres przedstawia inwariant i optymalnie dobrany jego estymator.



Rys.3. Optymalny dobór estymatora funkcji inwariantu „konturowego”

Wyniki poszukiwania optymalnego estymatora inwariantu i wyznaczenia na jego podstawie punktów charakterystycznych przedstawiono na poniższym rysunku. Kolorem żółtym oznaczono punkty charakterystyczne wyznaczone przez optymalnie dobraną funkcję inwariantu konturowego.



Rys. 4. Wyznaczone punkty charakterystyczne estymowanych funkcji inwariantu konturowego

3. WYZNACZANIE PUNKTÓW CHARAKTERYSTYCZNYCH Z RASTROWEGO OBRAZU RADAROWEGO

Większość współczesnych radarów prezentuje wizualizację cyfrową w kartezjańskim układzie współrzędnych. Obraz radarowy wyświetlany jest na wskaźnikach w postaci macierzy kwadratowej o równej ilości pikseli w wierszach i w kolumnach. Posiada on strukturę rastrową. Obraz taki może być zapisany w pamięci komputera jako bitmapa czyli siatka prezentująca jedną lub trzy warstwy kolorów (jedna – 256 odcieni szarości; trzy – 256 odcieni kolorów: czerwony – R, zielony – G, niebieski – B). W większości radarów nawigacyjnych stosowane są zazwyczaj dwa lub trzy kolory główne do odróżnienia

poszczególnych elementów zobrazowania radarowego: „echo” i „woda”, i ewentualnie do wyświetlanej grafiki pomocniczej (wektory ruchu, strefy akwizycji, itp.).

Pierwotny obraz radarowy przedstawiony jest w odcieniach szarości i jest logicznym rozwinięciem obrazu binarnego, gdzie wystąpienie echa radarowego było sygnalizowane kolorem białym. W tej reprezentacji poziom wzmocnienia tego echa wyróżnione jest odpowiednio dobranym poziomem szarości. Obrazy zapisane są z precyzją 8 bitową. Taki obraz przechowywany jest w macierzy dwuwymiarowej. Dane mieszczą się w "jednym kanale". Piksele są pojedynczymi elementami o wartości od 0 do 255 (8 bitów pamięci). Rejestrując obraz należy pamiętać o optymalnym ustawieniu zobrazowania radarowego. Wartości wzmocnień i zasięgowej regulacji wzmocnienia muszą być dobrane tak aby nie zakłócić informacji widocznej na zobrazowaniu radarowym.

Obraz radarowy przechowywany w pamięci komputera jako raster stanowi zbiór danych ciągłych, które zmieniają się w zależności od miejsca w obserwowanej przestrzeni: warunków hydrometeorologicznych, ukształtowania linii brzegowej i występowania różnorodnych obiektów itd. Zbiorem danych ciągłych może być regularna siatka punktów prezentująca obraz radarowy, ale zapisana jako wektor. Punkty węzłowe rozłożone równomiernie na obrazie radarowym przypisane mają poszczególne (równomiernie rozłożone) współrzędne geograficzne. Każdy punkt obrazu radarowego przedstawiony jako wartość dyskretna prezentuje kolejną współrzędną, która informuje o wystąpieniu lub braku echa radarowego. Obraz radarowy zapiszemy jako wektor opisany na zbiorze liczb rzeczywistych:

$$\mathbf{O}^k = \left\{ \begin{array}{l} (\varphi, \lambda, W) : \varphi \in \langle 0, 90^0 \rangle, \lambda \in \langle 0, 180^0 \rangle, \\ W \in \langle 0, K \rangle \wedge \varphi, \lambda, W \in R \wedge K \in N \end{array} \right\} \quad (7)$$

gdzie: φ, λ – współrzędne geograficzne poszczególnych pikseli obrazu w nawigacyjnym układzie współrzędnych;

W – poziom wzmocnienia piksela obrazu identyfikowanego jako echo radarowe;

lub

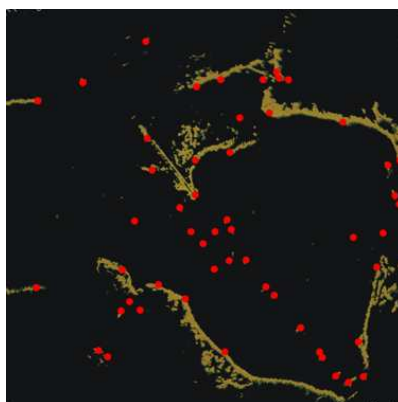
$$\mathbf{O}^k = \left\{ \begin{array}{l} (x, y, W) : x \in \langle 0, N \rangle, y \in \langle 0, M \rangle, \\ W \in \langle 0, K \rangle \wedge x, y, W \in R \wedge K \in N \end{array} \right\} \quad (8)$$

w kartezjańskim układzie współrzędnych dla N i M określających wymiary obrazu radarowego.

Jeżeli każdy punkt obrazu radarowego będzie reprezentowany przez wartość jego wzmocnienia $W_{i,j}$ to ekstrakcja punktów charakterystycznych polegać będzie na wyszukaniu takich punktów, których wzmocnienie jest większe od pewnej zadanej wartości progowej oraz gdzie ich sąsiedztwo charakteryzuje się mniejszą lub równą wartością W . Zatem poszukujemy takich $W_{i,j}$ które spełniają zależność:

$$\begin{aligned}
& W_{i,j} \geq W_{i+1,j} \wedge W_{i,j} \geq W_{i-1,j} \\
& \wedge W_{i,j} \geq W_{i,j+1} \wedge W_{i,j} \geq W_{i,j-1} \\
& \wedge W_{i,j} \geq W_{i+1,j+1} \wedge W_{i,j} \geq W_{i+1,j-1} \\
& \wedge W_{i,j} \geq W_{i-1,j+1} \wedge W_{i,j} \geq W_{i-1,j-1} \\
& \text{dla } i = 1, \dots, N \wedge j = 1, \dots, M \wedge W > W_{prog}
\end{aligned} \tag{9}$$

W przypadku wystąpienia większej liczby punktów sąsiednich o takiej samej wartości W , punkt charakterystyczny reprezentowany jest przez piksel leżący najbliżej punktu centralnego P^o . W innej sytuacji, jeżeli szereg punktów sąsiednich (należących do sąsiednich namiarów) leżących w równej odległości od środka ekranu na tą samą wartość wzmocnienia W to punkt charakterystyczny reprezentowany jest przez piksel leżący na środkowym namiarze z całego zakresu namiarów pikseli sąsiednich.



Rys. 5. Ekstrakcja punktów charakterystycznych z bitmapy

Wartością W_{prog} regulować można nadmiar lub niedomiar punktów charakterystycznych wyznaczonych na ekranie radarowych. Pamiętać należy o optymalnym doborze tej wartości.

4. ZAKOŃCZENIE

Obecnie prowadzi się badania mające na celu zautomatyzowanie całego procesu prowadzenia nawigacji. Automatyzacja nawigacji radarowej to jeden z elementów podlegających rozpracowaniu. Należą do nich: automatyzację rejestracji obrazów radarowych, cyfrowe przetwarzanie tych obrazów, automatyzację ekstrakcji punktów charakterystycznych oraz wykorzystanie ich do wyznaczenia pozycji. We wszystkich etapach ekstrakcji punktów charakterystycznych należy pamiętać o odpowiednim doborze zakresu obserwacji. Zakres powinien zapewnić dostępność niezbędnej liczby punktów charakterystycznych występujących w akwenu przybrzeżnym. Nie można doprowadzić do sytuacji gdzie radar nie obejmował będzie swoim zakresem linii brzegowej i oznakowania

występującego w akwenie. Należy pamiętać także, że zbyt mała liczba dostępnej informacji może spowodować pogorszenie dokładności wyznaczonej pozycji lub jej utratę. Przedstawione powyżej metody wykrywania ech pochodzących od obiektów charakterystycznych ułatwiają automatyzację procesu wyznaczenia pozycji obserwowanej.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Praczyk T., Application of bearing and distance trees to the identification of landmarks of the coast, *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, Volume 17, number 1, str. 87-98. 2007.
- [2] Wąż M. , Metoda wyznaczania pozycji okrętu za pomocą porównania obrazu radarowego z mapą morską. Rozprawa doktorska, Gdynia 2000.
- [3] Wąż M., Nowak D. Wektorowy obraz radarowy, VI Międzynarodowe Sympozjum Nawigacyjne, AM, Gdynia 2005, str. 271-276.
- [4] Wąż M., Praczyk T., Automatic radar navigation system, VIII International Conference Russian shipbuilding and shipping, port activities, ocean and offshore developments. NEVA 2005, St. Petersburg str. 45-46.