



Klasyfikacja konturów znaczników z wykorzystaniem miary zmienności na obrazie z sonaru sektorowego

MARIUSZ BORAWSKI, ANNA ŁATUSZYŃSKA

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Informatyki,
70-210 Szczecin, ul. Żołnierska 49

Streszczenie. Podstawowym problemem przy wykonywaniu mozaiki z obrazów z sonaru sektorowego jest właściwe ułożenie obrazów względem siebie. Do tego celu trzeba wykorzystać systemy podwodnego pozycjonowania lub dopasować obrazy względem siebie na podstawie punktów charakterystycznych. Ze względu na to, że punkty charakterystyczne czasami nie występują, można tworzyć je sztucznie poprzez umieszczenie na dnie specjalnych znaczników. W artykule przedstawiono metodę klasyfikacji konturu znacznika w kształcie trójkąta. Przy czym, dzięki wykorzystaniu miary zmienności w klasyfikacji, brany jest pod uwagę stopień zniekształcenia obrazu znacznika.

Słowa kluczowe: informatyka, sonar sektorowy, klasyfikacja jednoklasowa, miara zmienności

Symbolne UKD: 681.3.01

1. Wstęp

Obraz z sonaru sektorowego ma ograniczony zasięg. Najczęściej nie jest możliwe uzyskanie za pomocą jednego sondowania obrazu całego badanego obszaru. Konieczne jest wykonywanie wielokrotnych sondowań. Aby uzyskać jednolity obraz całego terenu, wymagane jest złożenie obrazów sonarowych z wielu sondowań w jeden spójny obraz — mozaikę. Pojawia się jednak problem ich wzajemnego pozycjonowania. W standardowym wyposażeniu sonaru sektorowego brakuje systemu pozycjonowania względem punktu odniesienia. Z reguły możliwe jest tylko określenie kierunku północnego na podstawie wskazań wbudowanego kompasu. Systemy dokładnego określania pozycji sonaru względem punktu odniesienia są bardzo kosztowne i cenowo przekraczają koszt całego sonaru. Stąd, w tańszych rozwiązaniach, pozycję obrazu sonarowego określa się na podstawie wskazań sys-

temów pozycjonowania znajdujących się na statku. Ze względu na fakt, że sonar sektorowy nie ma stałej pozycji względem statku, a uzyskany obraz ma dość dużą dokładność, pozycjonowanie tego rodzaju jest zbyt mało precyzyjne, aby automatycznie wykonać mozaikę.

W tanich rozwiązaniach, automatyczne wykonanie mozaiki wymaga wyszukania na obrazach sonarowych punktów odniesienia, które służą do pozycjonowania względem siebie poszczególnych obrazów z sonaru. Często jednak, na jednolitych obszarach dna, nie ma punktów na tyle charakterystycznych, aby możliwe było wykorzystanie ich jako punktów odniesienia. A. Stateczny zaproponował, żeby w tym celu, w płytszych wodach, wykorzystać markery osadzone na tyczce wbijanej w dno, a na głębszych, opuszczane na linie [37]. Markery tego rodzaju mogą stanowić punkty odniesienia.

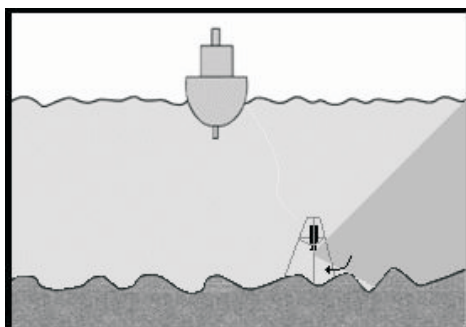
Ze względu na duże zniekształcenia obrazu sonarowego markery powinny być prostymi figurami geometrycznymi. Najprostszą tego rodzaju figurą jest trójkąt równoboczny umieszczony na markerze. Problem znalezienia znacznika to zatem problem znalezienia trójkąta równobocznego na obrazie. Figura ta będzie oczywiście zniekształcona ze względu na fakt, że obraz z sonaru jest rzutem z przestrzeni trójwymiarowej do dwuwymiarowej. Jednak tego rodzaju zniekształcenie można łatwo usunąć, opierając się na danych dołączanych do linii obrazu sonarowego oraz na pozycji markera. Znacznie większy problem stanowią zniekształcenia o charakterze szumowym. Niestety, zniekształcenia te nie mają formy stałej. Zależą od bardzo wielu czynników. W związku z tym, w pewnych sytuacjach, w zależności od siły zniekształceń o charakterze szumowym, obiekt przypominający trójkąt może być zakwalifikowany jako marker albo odrzucony. Problem ten można rozwiązać, wykorzystując podczas klasyfikacji miary zmienności. Będzie to głównym przedmiotem artykułu.

2. Charakterystyka obiektów na obrazie z sonaru sektorowego

2.1. Proces pozyskiwania obrazu z sonaru sektorowego i etapy przetwarzania obrazu sonarowego

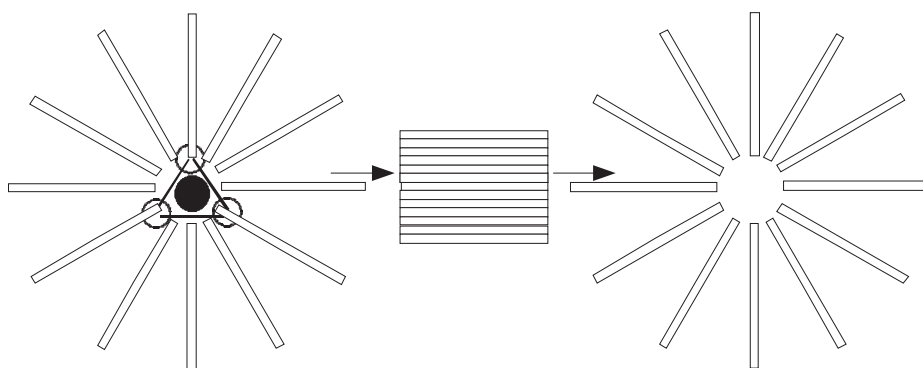
Punktem odniesienia dla badań przeprowadzonych w artykule są obrazy pozyskane za pomocą sonaru pracującego w trybie sektorowym. Jest to sonar firmy Kongsberg, model MS1000. Może on pracować zarówno w trybie skanowania bocznego, jak i sektorowego. W trybie sektorowym jest on opuszczany na trójnogu i stawiany na dnie zbiornika wodnego. Głowicę montuje się na specjalnym stelażu, który umieszcza się na trójnogu. Do głowicy podłącza się kabel zapewniający jej łączność z urządzeniem rejestrującym obraz. Obraz z sonaru sektorowego jest pozyskiwany z tablicy czujników, które elektronicznie skanują poziomo wąską wiązką,

sondując łuk w określonym kierunku. Kiedy w widoku szerokokątnym zostaje wykryty obiekt, ustawienia sonaru mogą być zmienione, żeby dokładniej przebadać węższe pole [23]. Sposób skanowania jest przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Procedura skanowania dla sonaru sektorowego

Głowica sonaru podczas pracy w trybie sektorowym wykonuje obrót. Podczas obrotu są rejestrowane kolejne linie obrazu. Ze względu na duże zaszumienie każda linia obrazu sonarowego jest poddawana procesowi filtracji. Obraz w tej formie nie nadaje się do bezpośredniego wyświetlenia. Kolejne linie obrazu sonarowego są zapisane w układzie biegunowym. W celu wizualizacji są one przeliczane do układu kartezjańskiego. Ilustruje to rysunek 2.



Rys. 2. Mozaikowanie obrazu z sonaru sektorowego

Zasięg sonaru sektorowego jest ograniczony, dlatego, w przypadku kiedy sondowany jest większy obszar, konieczne jest złożenie wielu mniejszych obrazów w jeden duży. W ten sposób powstaje mozaika. Głównym problemem przy tworzeniu mozaiki jest właściwe pozycjonowanie poszczególnych obrazów z sonaru sektorowego. Najprostszym rozwiązaniem jest wykorzystanie systemu podwod-

nego pozycjonowania obiektów. Systemy takie są jednak bardzo drogie. Systemy naziemne mają ograniczone zastosowanie ze względu na trudności z dokładnym pozycjonowaniem sonaru względem jednostki macierzystej. Ta trudność wynika z faktu, że sonar jest opuszczany na lince, która może być odchylona od pionu na skutek działania prądu rzeki.

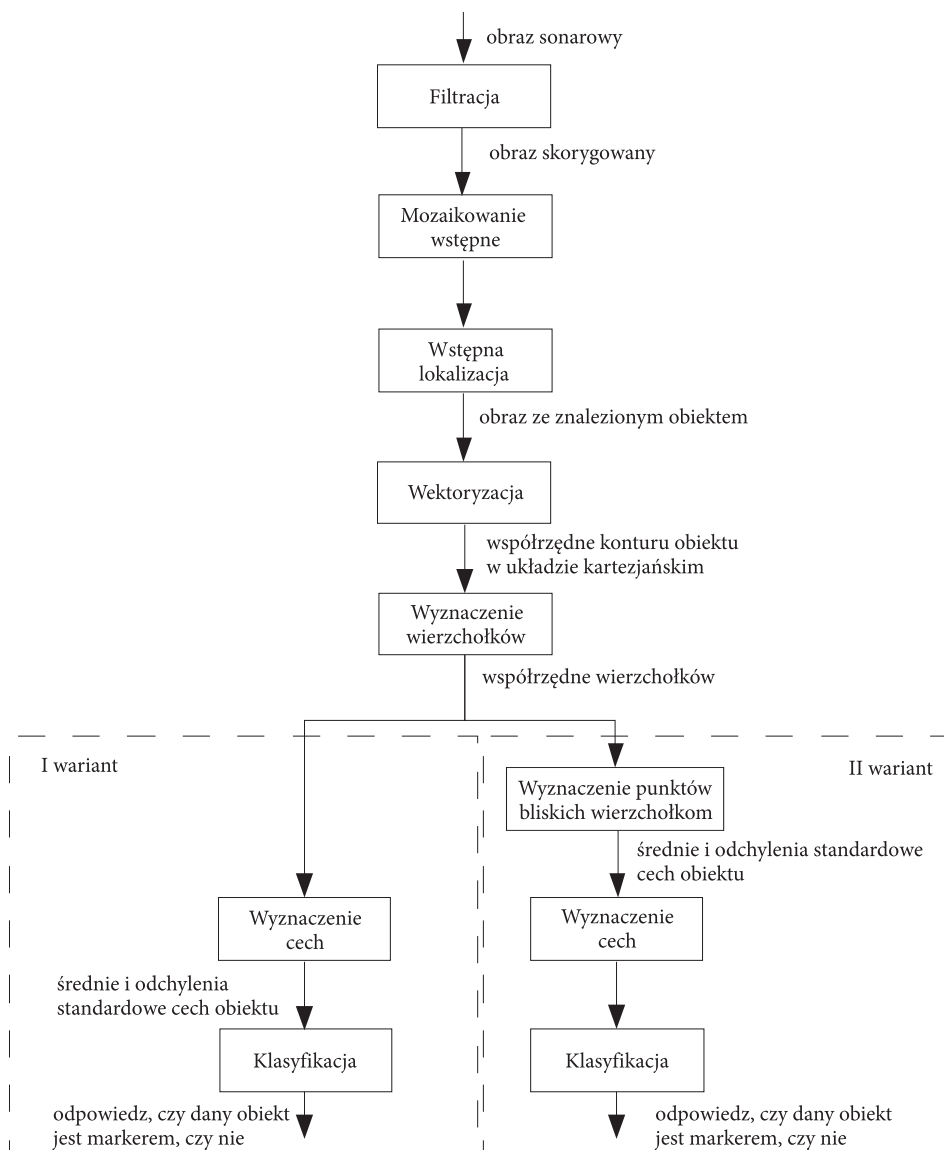
Alternatywnym rozwiązaniem wobec podwodnego systemu pozycjonowania jest wykorzystanie obiektów charakterystycznych znajdujących się na obrazie. Na podstawie położenia tych obiektów można określić wzajemne położenie obrazów sonarowych. Z reguły wykonuje się to ręcznie. Nie zawsze jednak istnieją na dnie obiekty na tyle charakterystyczne, aby możliwe było wykorzystanie ich do pozycjonowania. W celu ułatwienia wzajemnego pozycjonowania obrazów można wykorzystać znaczniki — markery specjalnie w tym celu opuszczane na dno. Znaczniki można tak zaprojektować, aby możliwe było ich automatyczne wykrycie. Mogłoby to pozwolić na wykorzystywanie automatycznych procedur składania obrazów z sonaru sektorowego w mozaikę. Rysunek 3 przedstawia ogólny schemat przetwarzania obrazu sonarowego mającego na celu lokalizację i zidentyfikowanie znacznika.

Po filtracji linii wykonuje się mozaikowanie wstępne, które w przypadku sonaru sektorowego odbywa się dla każdego obrazu z osobna. Na tak przygotowanym obrazie wyszukuje się interesujący obiekt. Jest to tzw. procedura wstępnej lokalizacji. Kolejnym etapem jest przygotowanie obrazu do wektoryzacji, aby, w następstwie, możliwe było wydzielenie konturu. Efektem przygotowania powinien być binarny obraz obiektu, na którym bardzo łatwo można przeprowadzić wektoryzację. Mając dane współrzędne kolejnych punktów konturu obiektu, uzyskane w wyniku działania poprzedniego punktu algorytmu, przelicza się wartości współrzędnych z układu kartezjańskiego do biegunowego. Dzięki temu łatwiejsze staje się wyznaczenie liczby wierzchołków obiektu.

Korzystając z konturu i znalezionych wierzchołków, wyznacza się następnie cechy, które posłużą w procesie klasyfikacji do wyodrębnienia znaczników wśród innych obiektów, mogących się znaleźć na obrazie sonarowym. Mając cechy, dokonuje się klasyfikacji wybraną metodą. Podstawą do klasyfikacji jest stworzenie bazy wzorców znaczników, czyli obiektów na obrazach sonarowych, które na pewno są markerami.

Baza wzorców jest podstawą do porównań wartości i możliwych rozbieżności cech dla każdego obiektu testowego. Dla każdego obiektu wzorcowego wylicza się cechy, które są zapamiętywane w bazie, obliczana z nich jest średnia i odchylenie standardowe. Przy testowaniu sprawdza się, czy wartości cech obiektu testowego mieszczą się w granicach dopuszczonych w bazie wzorców.

Dla podanego algorytmu rozważa się dwa możliwe podejścia. W pierwszym za wierzchołek przyjmuje się jeden punkt uzyskany jako lokalne maksimum figury w biegunowym układzie współrzędnych, przy drugim podejściu bierze się pod uwagę kilka prawdopodobnych wierzchołków znajdujących się w pobliżu wyznaczonego maksimum.



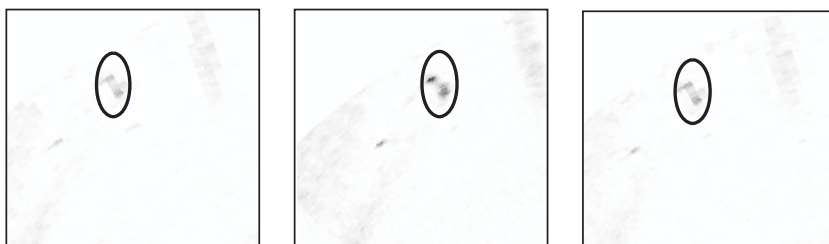
Rys. 3. Schemat blokowy algorytmu rozpoznawania znacznika

2.2. Problemy z pozycjonowaniem obrazu sonarowego

Przy sondowaniu sektorowym sonar z reguły jest opuszczany na linie. Przy głębszej wodzie nurt może powodować, że sonar będzie schodził pod pewnym, trudnym do określenia, kątem, ze względu na różną prędkość prądu na różnych

głębokościach. Jeżeli statek nie jest unieruchomiony na kotwicach, co jest częstym przypadkiem, to prąd może go znacznie znosić względem sonaru. Sytuację tę obrazuje rysunek 1. Powoduje to problemy w dokładnym określeniu położenia sonaru, przy znanej pozycji jednostki. Na małych jednostkach, nieposiadających dźwigu, określenie pozycji sonaru może być jeszcze bardziej utrudnione, gdyż może on być opuszczony z burty w różnych miejscach [38, 39].

Kształt markera do pozycjonowania musi być na tyle charakterystyczny, aby niemożliwe było przypadkowe zidentyfikowanie jako markera obiektu niebędącego znacznikiem. Wykorzystanie markerów o skomplikowanym, unikatowym kształcie nie jest możliwe. Wynika to z faktu, że na skutek regulacji wzmocnienia sygnału akustycznego, wygląd obiektów na obrazie sonarowym będzie się zmieniał pod względem kształtu i wielkości. Przykładem tego jest obiekt pokazany na rysunku 4.



Rys. 4. Obrazy sonarowe tego samego fragmentu dna przy różnych parametrach wzmocnienia sonaru (źródło danych: Akademia Morska Szczecin)

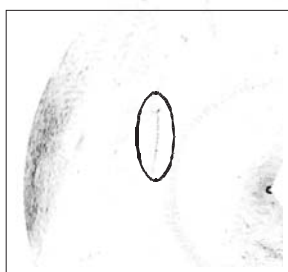
Wstępnie wykonano eksperyment, w którym jako marker wykorzystano sześcian z naklejonym trójkątem równoramiennym (rys. 5). Docelowo planuje się wykorzystanie trójkąta równobocznego. W odróżnieniu od kwadratu rzadziej występuje w konstrukcjach tworzonych przez człowieka, stąd wydaje się bardziej właściwy do wykorzystania. Alternatywą dla trójkąta może być pięciokąt foremny.

Pewnym problemem przy identyfikacji trójkąta jest jego zniekształcenie wynikające z kąta, pod jakim jest widoczny. W przypadku znacznika na tyczce zniekształcenie to można jednak usunąć, znając kąt tyczki względem północy. Kąt ten może być z łatwością zmierzony za pomocą kompasu. W przypadku markera opuszczanego, sześcian należy zastąpić płaskim znacznikiem leżącym na dnie. Położenie takiego znacznika (odległość) względem sonaru można wyliczyć z obrazu sonarowego, co daje podstawę do wykonania korekcji.

Podczas przeprowadzania eksperymentu sondowania na wodach stojących pojawił się problem widoczności znacznika. Zamiast obrazu znacznika otrzymano jedynie obraz liny, do której marker był przymocowany (rys. 6). Przyczyną takiego zjawiska jest muł na dnie zbiornika, w którym niknie znacznik. Lina jest widoczna we fragmencie, który unosi się ponad warstwą mułu.



Rys. 5. Marker wykorzystany podczas eksperymentu



Rys. 6. Fragment obrazu sonarowego z zaznaczonym odwzorowaniem linii, do której przyczepiono znacznik (źródło danych: Akademia Morska Szczecin)

Muł może w pewnym stopniu ograniczyć możliwość stosowania znaczników. Należy jednak pamiętać o tym, że sonar, podobnie jak znacznik, znajduje się na dnie. Zatem przy większej warstwie mułu będzie on uniemożliwiał sondaż sektorowy.

3. Wykrywanie i rozpoznawanie znaczników

3.1. Poszukiwanie i rozpoznawanie obiektów na obrazach sonarowych

Zagadnienie wyszukiwania i rozpoznawania obiektów znajdujących się na obrazach sonarowych jest bardzo istotnym problemem. Do najważniejszych kierunków prac badawczych związanych z wykrywaniem i rozpoznawaniem obiektów na obrazie sonarowym należą: poszukiwanie obiektów znajdujących się pod wodą, zwłaszcza

min podmorskich (por. [14, 26, 10]); badanie siedlisk zwierząt żyjących w morzach i oceanach (por. [22, 30, 7 i 8]) oraz wykrywanie obiektów o charakterze technicznym: rurociągów, wraków statków, pozostałości konstrukcji technicznych [1, 24, 35, 36]. Bardzo istotna jest również klasyfikacja dna morskiego (por. [33, 32, 35, 2]).

Metody wykrywania i rozpoznawania obiektów na obrazach sonarowych można podzielić na metody wykorzystujące charakterystykę odbitego echa oraz metody konturowe. Zagadnienie rozpoznawania znacznika ze względu na konieczność rozpoznania trójkąta równobocznego można zaliczyć do grupy metod konturowych. W metodach tych pierwszym etapem procesu rozpoznawania jest pozyskanie obrazu konturowego z obrazu rastrowego. W następnym etapie, w celu wstępnego zidentyfikowania znacznika, określaną jest liczba wierzchołków. Jeżeli liczba wierzchołków jest różna od trzech, obiekt nie jest klasyfikowany jako wskaźnik. W sytuacji, gdy są trzy wierzchołki, dla obiektu wyznaczane są cechy oraz przeprowadzana jest klasyfikacja jednoklasowa. Klasę wzorców stanowią wcześniej wybrane kontury, które jednoznacznie określono jako kontury znaczników.

3.2. Pozyskanie obrazu konturowego

W celu uzyskania obrazu konturowego z obrazu sonarowego wykonuje się segmentację, czyli podział obrazu na obszary zawierające odpowiednio: echo, cień sonarowy i pozostały obszar dna morskiego [20, 16]. Segmentację można przeprowadzić z wykorzystaniem prostych metod analizy skupień (m.in. k -średnich [13, 9]) lub dwuwymiarowych pól Markova [11]. Jedną z klasycznych metod segmentacji jest również progowanie [30]. W wyniku segmentacji otrzymuje się binarny obraz, który następnie, po poddaniu konturyzacji, posłuży do rozpoznawania. Wśród metod konturyzacji, które można wykorzystać, są algorytmy genetyczne [31], transformata Hougha [17], filtr Canny'ego [12], a także filtry Sobela i Prewitta [15] oraz wiele innych.

3.3. Wyznaczanie cech

Procedurę wyznaczenia cech przeprowadza się dla każdej figury z bazy wzorców. Mając wyodrębnione wierzchołki figury stanowiącej znacznik (w rozpatrywanym przypadku trójkąta równobocznego), można na tej podstawie wyliczyć kierunkowe boków, co pozwoli na określenie wartości kątów przy wierzchołkach oraz wyznaczenie długości boków figury. Na podstawie tych wartości można ustalić wartości cech, które, w późniejszym procesie rozpoznawania, pozwolą jednoznacznie określić, czy dany obiekt jest znacznikiem, czy nie. Jako cechy wybrane zostały następujące wielkości: stosunek długości boków, kąty przy wierzchołkach i stosunek pól.

Każda z cech była dla pojedynczej figury wyznaczana trzykrotnie, z różnych konfiguracji boków. Przyczyną takiego postępowania jest fakt, że obrazy sonarowe są obciążone dużymi zakłóceniami i zniekształcają obraz obiektu.

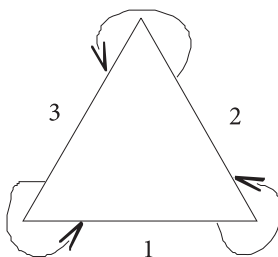
Przy wyznaczaniu długości każdego boku posłużono się wzorem na długość wektora [6]:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (1)$$

gdzie: a — długość wektora;
 a_x, a_y, a_z — kolejne współrzędne wektora.

Współrzędne wektora zostały wyznaczone poprzez odjęcie współrzędnych punktu początkowego wektora od współrzędnych jego końca.

Mając dane długości poszczególnych boków figury, wyznaczono ich wzajemne stosunki poprzez dzielenie ich długości według schematu przedstawionego na rysunku 7.



Rys. 7. Schemat pozyskania wartości stosunku długości boków figury

Na podstawie znanych współrzędnych wierzchołków figury wyznaczono również kierunkowe boków według wzoru [6]:

$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad (2)$$

gdzie: k — współczynnik kierunkowy prostej, w której zawiera się bok;
 x_1, y_1 — współrzędne pierwszego wierzchołka;
 x_2, y_2 — współrzędne drugiego wierzchołka.

W związku z tym, że współczynnik k jest równy tangensowi kąta pomiędzy bokiem figury a osią x [6], korzystając z funkcji arcus tangens, wyznaczono rzeczony kąt. Po rozpatrzeniu położenia figury względem poziomu uzyskano wartości kątów przy wierzchołkach, które stanowią kolejną cechę do rozpoznawania obiektów.

Jako trzecią cechę wybrano stosunek pól figury, obliczony na podstawie wyznaczenia pola za pomocą dwóch różnych wzorów. W związku z tym, że założenia znacznik miał być trójkątem równobocznym, posłużono się wzorem na pole trójkąta równobocznego [6]:

$$p = \frac{a^2 \cdot \sqrt{3}}{4}, \quad (3)$$

gdzie: a — długość boku trójkąta.

Biorąc pod uwagę fakt, że na skutek zniekształceń obrazu sonarowego długości boków figury mogą się różnić, drugie pole obliczono ze wzoru [6]:

$$p = \frac{1}{2} \cdot a \cdot h, \quad (4)$$

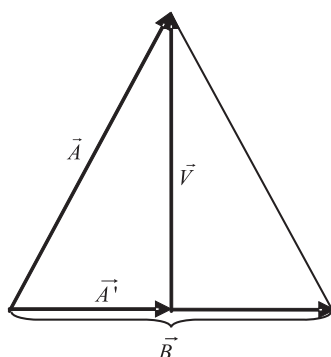
gdzie: h — wysokość trójkąta opuszczona na bok a .

Pod wartość a podstawiano kolejno długości boków figury. Wysokości h wyznaczono na podstawie działań na wektorach.

Mając dane współrzędnych wektorów A i B , pokazanych na rysunku 8, które zostały obliczone ze współrzędnych wierzchołków, za pomocą wzoru na rzut wektora na inny wektor, oblicza się współczynnik c :

$$c = \frac{(A, B)}{(B, B)}, \quad (5)$$

gdzie: (A, B) — iloczyn skalarny wektorów A i B ;
 (B, B) — iloczyn skalarny wektorów B .



Rys. 8. Wektory w trójkącie równobocznym

Wartość współczynnika c określa, jaką część wektora B stanowi wektor A' . Współrzędne wektora A' oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$A' = c \times B. \quad (6)$$

Mając dane zarówno współrzędne wektora A , jak i A' , można bez trudu określić, na bazie zwykłych operacji arytmetycznych na wektorach, współrzędne wektora V , który w przykładzie reprezentuje wysokość trójkąta. Jak można zaobserwować na rysunku 8, zachodzi zależność:

$$A = A' + V. \quad (7)$$

Dokonując przekształcenia wzoru (7) w celu wyznaczenia wektora V , otrzymuje się:

$$V = A - A'. \quad (8)$$

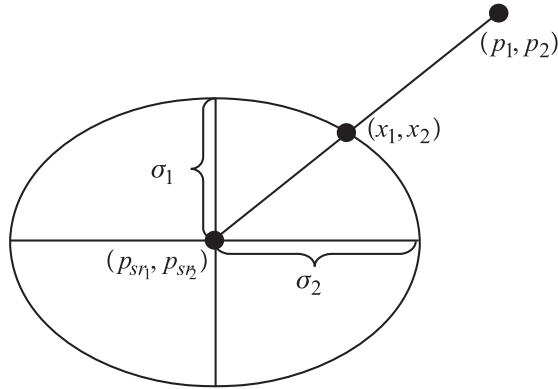
Korzystając ze wzoru na długość wektora (1), zredukowanego w tym przypadku do dwóch wymiarów, uzyskuje się wartość wysokości trójkąta, którą można bezpośrednio podstawić do wzoru (4). Powtarzając tę procedurę dla każdego z boków trójkąta przyjętego po kolei za wektor A , uzyskuje się trzy wartości pola figury — zbliżone do siebie, ale nigdy nieidentyczne. Dzieląc wartość pola otrzymaną za pomocą wzoru (3) przez wartości uzyskane ze wzoru (4), otrzymuje się wartości stosunków pól, które stanowią cechę wyróżniającą dla znaczników.

Ze wszystkich otrzymanych cech wyznacza się wartość średnią i odchylenie standardowe dla każdej figury, zaliczonej do bazy wzorców. Wyznacza się również średnią i odchylenie standardowe dla całej klasy znaczników.

3.4. Proponowana metoda klasyfikacji

Jak wspomniano wcześniej, ze względu na zniekształcenia, klasyfikacja obiektów o skomplikowanym kształcie może być bardzo trudna. Zastosowanie znacznika o prostym kształcie znacznie ułatwia ten proces. Pozwala na założenie, że zbiór cech w wielowymiarowej przestrzeni cech znajduje się wewnątrz hiperelipsoidy. To uproszczenie z jednej strony ogranicza możliwości stosowania proponowanej metody, z drugiej strony jednak daje możliwość wykorzystania w klasyfikacji wyznaczonego poziomu zniekształcenia obiektu. Przed użyciem jakiegokolwiek metody klasyfikacji, obiekty rozpoznawane należy przygotować w ten sam sposób, jak uprzednio obiekty wzorcowe. Granicę klasy wzorcowej można w przestrzeni wyznaczyć jako hiperelipsoidę o środku w punkcie będącym środkiem klasy i półosiach równych wielokrotności odchyłeń standardowych cech. Do rozpoznawania znaczników wybrano wartość trzech odchyłeń standardowych. Oznacza to, że w zależności od rozkładu zniekształceń co najmniej 99,7% wartości cech znajdzie się wewnątrz przedziału wyznaczonego przez promień elipsoidy. Pozostałe wartości cech uznane są za nietypowe, powstałe na skutek błędów i pojawienia się zbyt dużych zniekształceń.

W celu zweryfikowania, czy dany obiekt może być uznany jako marker, należy obliczyć punkt przecięcia hiperelipsoidy i prostej. Gdy wyliczony punkt przecięcia znajduje się dalej od środka klasy niż punkt wyznaczony przez obiekt rozpoznawany, to można uznać, że obiekt rozpoznawany może być zaklasyfikowany jako znacznik. W przeciwnym wypadku musi zostać odrzucony. Ideę obrazuje rysunek 9. Jest to wersja pogłądowa dla dwóch wymiarów, możliwa jednak do rozszerzenia na dowolną ich liczbę.



Rys. 9. Ilustracja idei określenia przynależności obiektu do klasy

Aby uprościć wyprowadzenie, środek klasy umiejscowiony w punkcie środkowym elipsy $p_{sr_1}, p_{sr_2}, \dots, p_{sr_n}$ został sprowadzony do początku układu współrzędnych.

Przekształcając równanie prostej przechodzącej przez punkty P i początek układu współrzędnych można wyznaczyć wartość x_1 , a następnie podstawić ją do równania hiperelipsoidy w n -wymiarach w miejsce kolejnych zmiennych, począwszy od x_2 :

$$\frac{x_1^2}{\sigma_1^2} + \frac{\left(p_2 \cdot \frac{x_1 - p_1}{p_1} + p_2 \right)^2}{\sigma_2^2} + \dots + \frac{\left(p_k \cdot \frac{x_1 - p_1}{p_1} + p_k \right)^2}{\sigma_k^2} + \dots + \frac{\left(p_n \cdot \frac{x_1 - p_1}{p_1} + p_n \right)^2}{\sigma_n^2} = 1. \quad (9)$$

Dokonując przekształceń równania, uproszczenia ułamka w liczniku równania oraz pogrupowania współczynników przy zmiennych kolejnych stopni, można sprowadzić równanie do postaci równania kwadratowego i wyznaczyć jego pierwiastki. Mając na tej podstawie wyliczoną wartość zmiennej x_1 , po podstawieniu jej do równań na pozostałe zmienne uzyskuje się współrzędne punktu przecięcia elipsy

z prostą. Ostatnim krokiem jest powrót do poprzedniego układu współrzędnych, w którym środek elipsy znajduje się w punkcie $p_{sr_1}, p_{sr_2}, \dots, p_{sr_n}$.

4. Miary zmienności w klasyfikacji

Miary zmienności określają poziom zmienności parametrów lub przebiegów. W przypadku znaczników wykorzystywane zostało odchylenie standardowe będące miarą zmienności możliwych położenia współrzędnych punktów wierzchołków. Im większe jest zniekształcenie obrazu sonarowego, tym szerszy jest obraz wierzchołka, a więc więcej punktów może być potencjalnym wierzchołkiem. Rozproszenie tych punktów może być zatem miarą zniekształcenia obrazu. Możliwe jest oczywiście przyjęcie dowolnej miary zniekształcenia i przeliczenie jej na możliwe przesunięcie wierzchołków.

4.1. Uwzględnienie miary zmienności w wyznaczeniu cech

Ze względu na to, że współrzędne wierzchołka można określić jedynie z pewną dokładnością, bazując wyłącznie na konturze figury, dąży się do zminimalizowania możliwych błędów. W tym celu znajduje się większą liczbę punktów wokół wierzchołka wyznaczonego na podstawie konturu, wylicza się ich średnią i odchylenie standardowe, i tymi wartościami zastępuje się współrzędne danego wierzchołka. Procedura takiego wyznaczania wierzchołków rozpoczyna się od wyliczenia środka ciężkości każdej figury, czyli wyciągnięcia średniej ze współrzędnych jej konturu. Następnie liczona jest odległość wyznaczonego z konturu wierzchołka od środka figury na podstawie wzoru na odległość euklidesową [25]:

$$d_{ik} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (z_{ij} - z_{ik})^2}, \quad (10)$$

gdzie: i, k — obiekty, między którymi liczona jest odległość;
 m — liczba wymiarów obiektów;
 z_{ij} — kolejna współrzędna pierwszego obiektu;
 z_{ik} — kolejna współrzędna drugiego obiektu.

Następny krok to określenie granicy odległości środka figury od punktu konturu, która jest procentem odległości obliczonej ze wzoru (10) i wyznaczenie zakresu poszukiwań w obrębie konturu, tzn. określenie, ile punktów po obu stronach pierwotnie wyznaczonego wierzchołka będzie branych pod uwagę. Dla każdego punktu z zakresu oblicza się odległość euklidesową do środka figury i porównuje ją z ustaloną granicą. Jeśli punkt znajduje się poza granicą, wówczas jest zaliczany do grona potencjalnych wierzchołków, jeśli znajduje się przed granicą — jest pomijany.

4.2. Opis klasyfikacji

W przypadku klasyfikacji biorącej pod uwagę niedokładne wyznaczenie wierzchołka i uwzględniającej wyznaczone punkty znajdujące się blisko hipotetycznego wierzchołka, procedura postępowania podczas klasyfikacji została zmodyfikowana tak jak pokazano wcześniej na rysunku 3, przy drugim wariantcie postępowania. W bazie wzorców, dla każdej figury, zamiast współrzędnych wierzchołka wyznaczonych z biegunowego układu współrzędnych, wyznacza się średnią z punktów bliskich wierzchołkowi. Dla średnich liczy się wszystkie cechy, a ich odchylenia standardowe, wyliczone na podstawie tych punktów, stanowią półosie elipsoidy. Dla obiektów rozpoznawanych sposób postępowania jest nieco bardziej skomplikowany. Biorąc pod uwagę wszystkie wyznaczone punkty bliskie wszystkim wierzchołkom, wyznacza się wszelkie możliwe kombinacje tych punktów. Dla tych kombinacji (każdej z osobna) wylicza się wszystkie cechy tak jak przy poprzednim podejściu. Dla każdej figury wyznacza się średnią tych kombinacji dla każdej cechy. Na tym etapie do każdej figury przypisany jest trójelementowy wektor zawierający średnie kolejnych cech dla wszystkich możliwych kombinacji. Z wartości cech dla tych kombinacji wyznacza się również odchylenia standardowe — dla każdej figury i cechy. Następnie oblicza się średnie tych odchyleń. Będą one wyznaczać po standaryzacji półosie elipsoidy wokół punktu przecięcia poprzednio wyznaczonej elipsy z prostą przeprowadzoną z punktu reprezentującego obiekt rozpoznawany.

Mając w ten sposób wyznaczone dwie elipsoidy, można wyróżnić więcej możliwości przy klasyfikacji obiektu rozpoznawanego. Nie jest to wówczas binarny wybór pomiędzy przyporządkowaniem obiektu do klasy a jego zdecydowanym odrzuceniem. Możliwe jest również prawdopodobne rozpoznanie obiektu jako znacznika lub prawdopodobne jego odrzucenie.

Jeśli punkt w przestrzeni cech, jakie posiada obiekt rozpoznawany, znajduje się wewnątrz elipsoidy wyznaczonej wokół średniej klasy, ale poza elipsoidą wokół punktu przecięcia, to wówczas z całą pewnością jest zaklasyfikowany jako marker. Jeśli znajduje się wewnątrz obu elipsoid, to z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że należy on do klasy znaczników. Gdy natomiast punkt jest położony wewnątrz elipsoidy wokół punktu przecięcia, ale poza elipsoidą klasy, to najprawdopodobniej nie jest znacznikiem. Punkt znajdujący się poza przestrzenią obejmowaną przez obie elipsoidy na pewno nie reprezentuje obiektu będącego markerem.

4.3. Przykłady klasyfikacji

Podczas przeprowadzonych eksperymentów korzystano z symulowanych obrazów sonarowych. Było to spowodowane brakiem wystarczającej liczby odpowiednich obrazów dostępnych z sonaru. Symulacja powstała na bazie modelu trójwymiarowego znacznika w programie Blender. Wygenerowane z tego programu obrazy zostały prze-

tworzone po to, aby wprowadzić do nich szумы właściwe dla autentycznych obrazów sonarowych (przesunięć głowicy, szumów przetwornika, itp.), a następnie poddane korekcji, która miała zmniejszyć wpływ szumów na dalszą obróbkę obrazu. Tak otrzymane obrazy zostały poddane konturyzacji i wykorzystane w klasyfikacji. Przedstawiony eksperyment dotyczy II wariantu systemu rozpoznawania z rysunku 3.

Przed dokonaniem klasyfikacji dokonano standaryzacji wartości cech każdego obiektu. Wyznaczono również bazę 20 obiektów wzorcowych i 40 testowych. Rozpatrywany był przypadek klasyfikacji jednoklasowej, zatem wszystkie wzorcowe i testowe obiekty były trójkątami, przy czym w bazie wzorców znajdowały się jedynie trójkąty równoboczne. W bazie figur testowych połowa obiektów była generowana losowo, aby możliwe było uzyskanie wszystkich dostępnych wyników klasyfikacji.

Baza wzorców powstała z części figur uzyskanych z modelu dna morskiego w programie Blender i poddanych kolejnym etapom procedury prowadzącej do wyznaczenia konturów. Przy obiektach testowych wykorzystano algorytm wyznaczania cech uwzględniający możliwość niedokładnego wyznaczenia wierzchołków. Jako cechy wybrane zostały następujące wielkości: stosunek sąsiednich długości boków figury (wyliczanych ze wzoru (1)), stosunek pól figury (uzyskiwanych ze wzorów (3) i (4)) oraz stosunek kątów przy wierzchołkach (otrzymany po zastosowaniu funkcji arcus cotangens na wartościach obliczonych ze wzoru (2)). Z trzech otrzymanych w ten sposób wartości dla każdej z cech każdego obiektu wyliczono średnią i odchylenie standardowe. Przykładowe wartości dla obiektów wzorcowych i testowych są zestawione w tabeli 1.

TABELA 1

Zestawienie wartości średnich i odchyłeń standardowych cech dla przykładowych obiektów wzorcowych i testowych

Obiekty wzorcowe						
	Średnia			Odchylenie standardowe		
1	0,9997	0,9859	0,9683	0,0530	0,0239	0,0416
2	1,0006	1,0453	0,9587	0,0732	0,0378	0,0557
3	1,0025	1,0202	1,0621	0,1065	0,1012	0,1018
4	1,0006	0,9696	1,0186	0,0721	0,0112	0,1138
Obiekty testowe						
	Średnia			Odchylenie standardowe		
1	0,9998	1,0007	0,9962	0,0502	0,0288	0,0578
2	1,0053	0,9543	1,0112	0,1356	0,0787	0,1637
3	1,0086	0,9247	0,9959	0,1634	0,0695	0,1963
4	1,3538	0,5799	0,4348	1,3134	0,3322	0,4363

Odchylenie standardowe jest miarą zmienności pozwalającą na określenie przynależności do klasy. W przypadku klasyfikacji jednoklasowej potrzebne jest kryterium określające obszar, do którego musi należeć punkt, aby mógł być uznany za przynależący do klasy. W rozpatrywanym przypadku zostało wykorzystane średnie odchylenie standardowe niedokładności wyliczenia cech obiektów wzorcowych. Wyniosło ono: dla stosunku sąsiednich długości boków figury 0,0509, dla stosunku pól figury 0,0244 oraz dla stosunku kątów przy wierzchołkach 0,0548. Wartości te definiują pólisie elipsoidy o ośrodku w punkcie określonym przez średnie średnich wartości cech obiektów testowych.

Na podstawie wzoru na odległość euklidesową (10) obliczono dystans pomiędzy położeniem obiektu testowego a środkiem klasy wyznaczonym na podstawie średniej wartości cech obiektów wzorcowych (która wyniosła dla znacznika 2 z tabeli 2 0,046). Korzystając ze wzoru (9), wyliczono punkty przecięcia prostej łączącej w przestrzeni cech obiekt testowy z elipsoidą wokół środka klasy wzorcowej (I punkt przecięcia) oraz przecięcia tej samej prostej z elipsoidą utworzoną wokół punktu wyznaczonego z poprzedniego przecięcia (II punkt przecięcia). Pólisie drugiej elipsoidy wyznaczają odchylenia standardowe wartości cech znacznika testowego (0,0502, 0,0288 oraz 0,0578). Określają one, jak może zmieniać się położenie znacznika testowego w przestrzeni, dzięki czemu można wprowadzić jako wynik klasyfikacji dodatkową informację o „pewności” klasyfikacji. W tabeli 2 przedstawione są wartości parametrów elipsoid dla wybranych obiektów testowych.

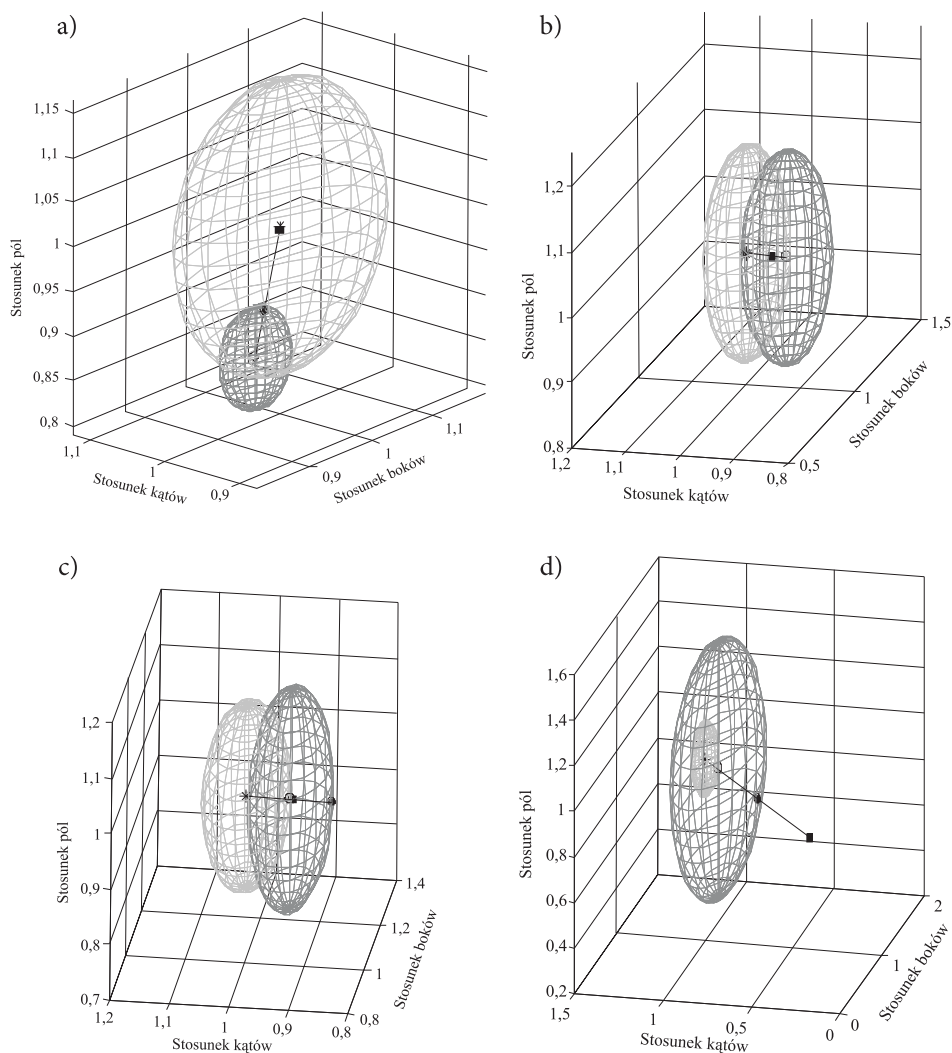
TABELA 2

Wartości definiujące elipsoidy dla wybranych obiektów testowych

Obiekt testowy	Wynik klasyfikacji	Wartości pólisi (odchylenia standardowe)			Środek elipsoidy
		0,0509	0,0244	0,0548	
1	Znacznik	0,0509	0,0244	0,0548	(1, 1, 1)
		0,0386	0,0204	0,0443	(0,9934; 1,0271; 0,8475)
2	Prawdopodobnie znacznik	0,0509	0,0244	0,0548	(1, 1, 1)
		0,0502	0,0288	0,0578	(1,0085; 0,9271; 0,9951)
3	Prawdopodobnie nie znacznik	0,0509	0,0244	0,0548	(1, 1, 1)
		0,1634	0,0695	0,1963	(1,0083; 0,9271; 0,9960)
4	Nie znacznik	0,0509	0,0244	0,0548	(1, 1, 1)
		1,3134	0,3322	0,4363	(1,0499; 0,9407; 0,9203)

Na bazie usytuowania punktu testowego względem tych dwóch elipsoid (położenie wyznaczano również za pomocą odległości euklidesowej (10)) dokonano klasyfikacji wszystkich obiektów testowych.

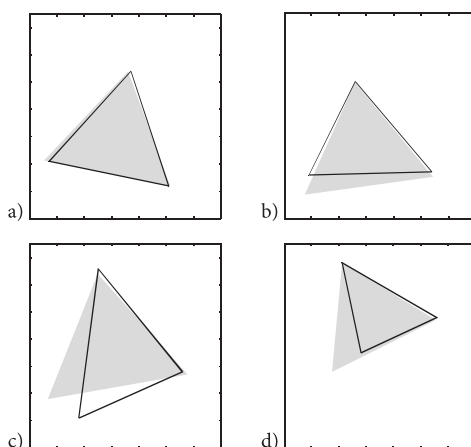
Na rysunku 10 przedstawiono wszystkie możliwe efekty przeprowadzonej klasyfikacji. Na wykresach można zaobserwować sytuację, gdy obiekt rozpoznawany jest na pewno znacznikiem (znajduje się wewnątrz dużej elipsoidy, a poza małą; odległość euklidesowa punktu reprezentującego obiekt do środka klasy jest mniejsza niż odległość do środka II punktu przecięcia), gdy z dużym prawdopodobieństwem jest znacznikiem (znajduje się wewnątrz obu elipsoid; punkt reprezentujący obiekt znajduje się bliżej środka niż I punkt przecięcia, a dalej niż II punkt przecięcia),



Rys. 10. Wszystkie możliwe przypadki zaklasyfikowania obiektu: a) znacznik; b) prawdopodobnie znacznik; c) prawdopodobnie nie znacznik; d) nie znacznik

gdy z dużym prawdopodobieństwem nie jest znacznikiem (umieścił się poza dużą elipsoidą i wewnątrz małej; punkt reprezentujący obiekt testowy jest dalej od środka klasy niż I punkt przecięcia, a bliżej II punktu przecięcia) i wreszcie gdy na pewno nie jest znacznikiem (umieścił się poza oboma elipsoidami; punkt reprezentujący obiekt testowy znajduje się dalej względem środka niż oba punkty przecięcia). Testowany obiekt jest przedstawiony na rysunku 10 jako kwadrat, środek klasy obiektów wzorcowych to gwiazdka. Punkty przecięcia elipsoid z prostą oznaczono odpowiednio jako niewypełniony i wypełniony okrąg.

Na rysunku 11 przedstawiono natomiast wybrane przebadane obiekty testowe, które odpowiadały kolejno możliwym wariantom klasyfikacji. Szarym kolorem zaznaczony jest wzorcowy znacznik.



Rys. 11. Przykładowe kontury trójkątów zaklasyfikowanych odpowiednio jako: a) znacznik; b) prawdopodobnie znacznik; c) prawdopodobnie nie znacznik; d) nie znacznik

TABELA 3

Wartości odległości dla obiektu testowego będącego prawdopodobnie znacznikiem, przedstawionego na rysunku 11b

	Odległość obiektu testowego od środka klasy	Odległość I punktu przecięcia od środka klasy	Odległość II punktu przecięcia od środka klasy
Prawdopodobnie znacznik	0,0461	0,0736	0,0056

Z wartości zestawionych w tabeli 3 można bez wątpliwości rozpoznać przypadek, gdy obiekt jest prawdopodobnie znacznikiem. Spełnia on warunki dotyczące relacji pomiędzy poszczególnymi odległościami, opisane w podrozdziale. Punkt reprezentujący obiekt testowy w przestrzeni cech znajduje się bliżej środka klasy

wyznaczonego z obiektów wzorcowych niż punkt przecięcia elipsoidy utworzonej wokół tego środka z prostą łączącą obiekt testowy ze środkiem klasy, a dalej niż punkt przecięcia elipsoidy wokół wcześniej wyznaczonego przecięcia z tą samą prostą.

5. Wnioski

Zaprezentowana w artykule metoda klasyfikacji jednoklasowej została specjalnie przystosowana do rozpoznawania obiektów silnie zniekształconych, w przypadku kiedy możliwe jest określenie poziomu zniekształcenia. Zastosowanie odchylenia standardowego jako miary zmienności cech pozwala na wprowadzenie dodatkowej informacji o „pewności” klasyfikacji. Pewność ta jest zależna od zmienności cech obiektów badanych.

W przypadku obrazów sonarowych możliwe jest generowanie zbioru testowego na bazie obrazów symulowanych z uwzględnieniem zaszumienia szacowanego z na bieżąco rejestrowanego obrazu. Pewność klasyfikacji może być zatem na bieżąco dostosowywana do panujących warunków. Badania przeprowadzone na obrazie symulowanym wykazały, że metoda może nadawać się do klasyfikacji znaczników. Po połączeniu jej z odpowiednim algorytmem wyznaczania konturu, może być podstawą do wykrywania i określania położenia znaczników.

6. Zakres dalszych prac

W dalszej części badań metoda klasyfikacji zostanie zweryfikowana na rzeczywistym obrazie sonarowym znaczników. Aktualnie badane są najlepsze możliwe formy znaczników przedstawiających proste figury geometryczne. Po znalezieniu optymalnego kształtu i dokonaniu sondowań przy użyciu stworzonych znaczników prowadzone będą próby automatyzacji tworzenia mozaiki.

Artykuł wpłynął do redakcji 1.07.2009 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano we wrześniu 2009 r.

LITERATURA

- [1] K. AGEHED, M. L. PADGETT, V. BECANOVIC, C. BORNICH, A. EIDE, P. ENGMAN, O. GLOBODEN, T. LINDBLAD, K. LODGBERG, K. WALDEMARK, *Wreck finding and classifying with a sonar-filter*, t. 3728, Workshop on virtual intelligence/ dynamic neural networks, Stockholm, 1999, 362-374.
- [2] D. ALEXANDROU, D. PANTZARTZIS, *Seafloor classification with neural networks*, Proc. IEEE Int. OCEANS Conf., Washington, DC, 1990, 18-23.
- [3] V. BARNETT, T. LEWIS, *Outliers in statistical data*, Wiley series in probability and mathematical statistics, John Wiley & Sons Ltd., 1978.

- [4] C. BISHOP, *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press, 1995.
- [5] C. BISHOP, *Novelty detection and neural network validation*, IEEE Proceedings on Vision, Image and Signal Processing, 1994.
- [6] I. N. BRONSZTEJN, K. A. SIEMIENDAJEW, G. MUSIOL, H. MÜHLIG, *Nowoczesne Kompendium Matematyki*, PWN, Warszawa, 2004.
- [7] G. R. COCHRANE, K. D. LAFFERTY, *Use of acoustic classification of sidescan sonar data for mapping benthic habitat in the Northern Channel Islands, California*, Continental Shelf Research, 22, 2002, 683-690.
- [8] W. T. COLLINS, R. A. MCCONNAUGHEY, *Acoustic Classification of the Sea Floor to Address Essential Fish Habitat and Marine Protected Area Requirements*, Canadian Hydrographic Conference CHS, Canada, 1998.
- [9] S. DANIEL, S. GUILLAUMEUX, *Adaptation of a partial shape recognition approach*, Proc. IEEE Conf. On Systems, Man, and Cybernetics, 1997, 2157-2162.
- [10] G. J. DOBECK, J. C. HYLAND, L. SMEDLEY, *Automated detection/classification of sea mines in sonar imagery*, Proc. SPIE-Int. Soc. Optics, t. 3079, 1997, 90-110.
- [11] S. DUGELAY, C. GRAFFIGNE, J. M. AUGUSTIN, *Deep seafloor characterization with multibeam echosounders by image segmentation using angular acoustic variations*, Proc. SPIE, t. 2847, 1996.
- [12] B. GRAFULLA GONZALEZ, Y. PETILLOT, C. SMITH, *Detection and Classification of Trawling Marks in Sidescan Sonar*, Images Advances in Technology for Underwater Vehicles (ATUV), 2004, 137-146.
- [13] S. GUILLAUMEUX, S. DANIEL, *Optimization of a sonar image processing chain: A fuzzy rules based expert system approach*, Proc. OCEAN, Fort Lauderdale, 1996, 1319-1323.
- [14] J. HARBAUGH, D. D. STERNLICHT, A. PUTNEY, M. D. TINKLE, E. M. LAVELY, *Acoustic Modeling for Sea-Mine CAD/CAC Development*, Oceans Conference, 2005.
- [15] M. P. HAYES, T. Y. HO, *Height Estimation of a Sonar Towfish from Side-Scan Imagery*, Image and Vision Computing New Zealand, 2000, 102-107.
- [16] U. HOELSCHER-HOEBING, D. KRAUS, *Unsupervised Image Segmentation and Image Fusion for Multi-Beam/Multi-Aspect Sidescan Sonar Images*, OCEANS '98 Conference Proceedings, t. 1, 1998, 571-576.
- [17] P. V. C. HOUGH, *Machine Analysis of Bubble Chamber Pictures*, Proc. Int. Conf. High Energy Accelerators and Instrumentation, 1959.
- [18] N. JAPKOWICZ, *Concept-Learning in the absence of counterexamples: an autoassociation-based approach to classification*, praca doktorska, New Brunswick Rutgers, The State University of New Jersey, 1999.
- [19] D. MACKEY, *Bayesian methods for adaptive models*, California Institute of Technology, 1992.
- [20] M. MIGNOTTE, C. COLLET, P. PÉREZ, P. BOUTHÉMY, *Three-class Markovian segmentation of high-resolution sonar images*, Computer Vision and Image Understanding, t. 76, 3, 1999, 191-204.
- [21] M. MOYA, M. KOCH, L. HOSTETLER, *One-class classifier networks for target recognition applications*, International Neural Network Society, 1993.
- [22] J. PARAMO, S. BERTRAND, H. VILLALOBOS, F. GERLOTTO, *A three-dimensional approach to school typology using vertical scanning multibeam sonar*, Fisheries Research, 84, 2007, 171-179.
- [23] S. W. PERRY, *Applications of Image Processing to Mine Warfare Sonar*, Aeronautical and Maritime Research Laboratory, 2000.
- [24] Y. R. PETILLOT, S. R. REED, J. M. BELL, *Real time AUV pipeline detection and tracking using side scan sonar and multi-beam echo-sounder*, Oceans apos, MTS/IEEE, t. 1, 217-222.

- [25] J. POCIECHA, B. PODOLEC, A. SOKOŁOWSKI, K. ZAJĄC, *Metody taksonomiczne w badaniach społeczno-ekonomicznych*, PWN, Warszawa, 1988.
- [26] S. REED, Y. PETILLOT, J. BELL, *An Automatic Approach to the Detection and Extraction of Mine Features in Sidescan Sonar*, IEEE Journal of Oceanic Engineering, t. 28, 1, 2003.
- [27] G. RITTER, M. GALLEGOS, *Outliers in statistical pattern recognition and an application to automatic chromosome classification*, Pattern Recognition Letters, 1997.
- [28] S. ROBERTS, W. PENNY, *Novelty, confidence and errors in connectionist systems*, Technical report, Imperial College, London, TR-96-1, 1996.
- [29] S. ROBERTS, L. TARASSENKO, J. PARDEY, D. SIEGWART, *A validation index for artificial neural networks*, Proceedings of Int. Conference on Neural Networks and Expert Systems in Medicine and Healthcare, 1994.
- [30] J. SIWABESSY, J. PENROSE, R. KLOSER, D. FOX, *Seabed habitat classification*, Shallow Survey '99, International Conference on High Resolution Surveys in Shallow Water, Sydney, 1999.
- [31] D. D. STERNLICHT, R. D. DIKEMAN, D. LEMONDS, M. T. KORPORAAL, A. M. TERANISHI, *Target Confirmation Architecture for a Buried Object Scanning Sonar*, IEEE OCEANS 2003 Conference Proceedings, 2003.
- [32] W. K. STEWART, M. JIANG, M. MARRA, *A neural network approach to classification of sidescan sonar imagery from a midocean ridge area*, IEEE J. Ocean. Eng., t. 19, 2, 1994, 214-224.
- [33] W. K. STEWART, M. JIANG, M. MARRA, *A hierarchical approach to seafloor classification using neural networks*, Proc. IEEE Int. OCEANS Conf., Oct. 1992, 109-113.
- [34] D. M. J. TAX, *One-class classification: Concept-learning in the absence of counter-examples*, praca doktorska, Technical University of Delft, 2001.
- [35] B. ZERR, E. MAILLARD, D. GUERLOT, *Seafloor classification by neural hybrid system*, Proc. IEEE Int. OCEANS Conf., 1994, 239-243.
- [36] A. STĄCZNY, T. PRACZYK, *Sztuczne sieci neuronowe w rozpoznawaniu obiektów morskich*, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk, 2002.
- [37] A. STĄCZNY, *Pozyskiwanie geodanych metodami hydroakustycznymi*, V Ogólnopolskie Sympozjum Geoinformacyjne „Geoinformatyka dla środowiska i społeczeństwa — badania i zastosowania”, Kraków, 17-19 września 2009.
- [38] A. STĄCZNY, *Problemy komputerowego wyznaczenia pozycji okrętu metodami porównawczymi*, Zeszyty Naukowe AMW, 107A, 1990.
- [39] A. STĄCZNY, *Problems of comparative plotting of the ship's position*, Reports on Geodesy, 1, 61, 2002.

M. BORAWSKI, A. MATUSZYŃSKA

Classification of marker's contours using a measure of variability on a sector-scan sonar image

Abstract. Image from the sector-scan sonar has a limited range. The most often it is not possible to obtain an image of the whole interesting area in one single sounding. It is necessary to make multiple soundings. To obtain a uniform image of the whole area, the composition of multiple soundings' images called mosaic, is needed. In creating the mosaic, one problem occurs. It is its positioning in relation to each other. In standard equipment of the sector-scan sonar, the system of positioning in relation to the reference point cannot be found. In general, it is only possible to state the direction to north,

on the basis of the embedded compass. The systems of more accurate positioning of sonar in relation to the reference point are very expensive, more costly than the sonar itself. In cheaper solutions, the position is stated on the basis of positioning systems mounted on the ship. Considering the fact that the sector-scan sonar does not have a fixed position in relation to the ship, the positioning of that kind is far from accuracy, too far to perform the automated mosaic creation.

In cheap solutions, the automated creation of the mosaic needs the searching of reference points which can be used to “positioning”, on images. Prof. Stateczny proposed to use the markers as landmarks. The marker is mounted on the stick which is set into the bottom in shallower waters and lowered on the line in the deeper water.

Considering the big distortions of sonar images, the markers should be simple geometric figures, e.g. the equilateral triangle. The problem of finding such a marker is brought to the problem of finding the equilateral triangle on the image. Such a triangle will be, of course, distorted, because the sonar image is the projection from the 3D-space to the 2D-space. However, the distortion of that kind could be easily removed basing on the data attached to the line of sonar image. Much bigger problem is the noise distortion which does not have the fixed form. It depends on many factors. So, in some situations, the same object which resembles the triangle could be classified as the marker, if the noise distortions will be considerable, and not classified when the distortions are small. Such problem can be solved by using the measure of variability in the classification. It will be the main topic of the article.

Keywords: computer science, sector-scan sonar, one-class classification, measure of variability

Universal Decimal Classification: 681.3.01