



Wykorzystanie wysokorozdzielczych danych batymetrycznych w analizie obrazów sonaru skanującego

ANDRZEJ STATECZNY¹, NATALIA WAWRZYNIAK

¹Akademia Morska, Wydział Nawigacyjny, Wały Chrobrego 1/2, 70-500 Szczecin
a.stateczny@am.szczecin.pl

²Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, al. Piastów 17, 70-310 Szczecin
nwawrzyniak@wi.zut.edu.pl

Streszczenie. Stacjonarne wysokoczęstotliwościowe sonary skanujące są coraz częściej wykorzystywane do podwodnego obrazowania obszarów portowych, terenów z budowami hydrotechnicznymi czy miejsc charakterystycznych ze względów nawigacyjnych. Zazwyczaj dane sonarowe są uzupełnieniem danych batymetrycznych o informacje dotyczące charakteru dna oraz obiektów na nim występujących ze względu na swój potencjał interpretacyjny. Wysokorozdzielcze dane o głębokości pozwalają polepszyć analizę obrazu sonarowego poprzez uwzględnienie ich w procesie określania pozycji i przetwarzania obrazu.

Słowa kluczowe: sonar skanujący, batymetria interferometryczna, pozycjonowanie

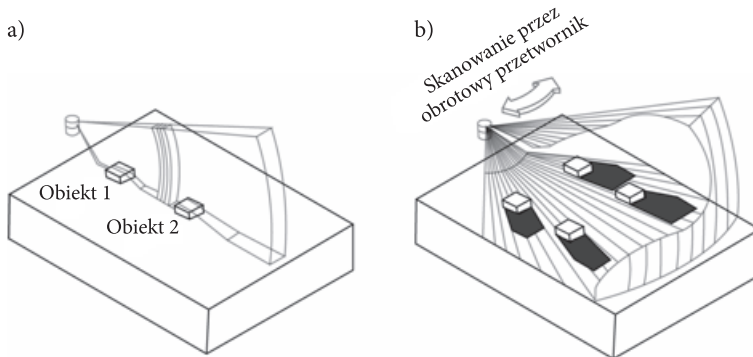
1. Wstęp

Sonar skanujący biegunowo rejestrujący obrazy w trybie stacjonarnym pozwala na znacznie dokładniejszą penetrację dna niż przy zastosowaniu standardowego dla prac hydrograficznych sonaru bocznego. Zgodnie z zalecaną przez Międzynarodową Organizację Hydrograficzną (ang. IHO) klasyfikacją pomiarów akweny portowe objęte kategorią specjalną pomiarów hydrograficznych wymagają detekcji obiektów poniżej jednego metra. Wysoka częstotliwość pracy przetwornika wraz z brakiem zakłóceń wynikających z ruchu jednostki oraz niskie umiejscowienie sonaru tuż nad dnem pozwala na bardzo dokładne odwzorowanie obrazowanej powierzchni. Jednak ze względu na specyfikę pracy sonaru skanującego proces

przetwarzania obrazu jest nieco inny i ma on wpływ na odwzorowanie oraz późniejszą identyfikację obiektów podwodnych. Mając dokładne dane batymetryczne skanowanego obszaru, można uzależnić proces przetwarzania obrazów sonarowych od ukształtowania terenu.

1.1. Sonar skanujący

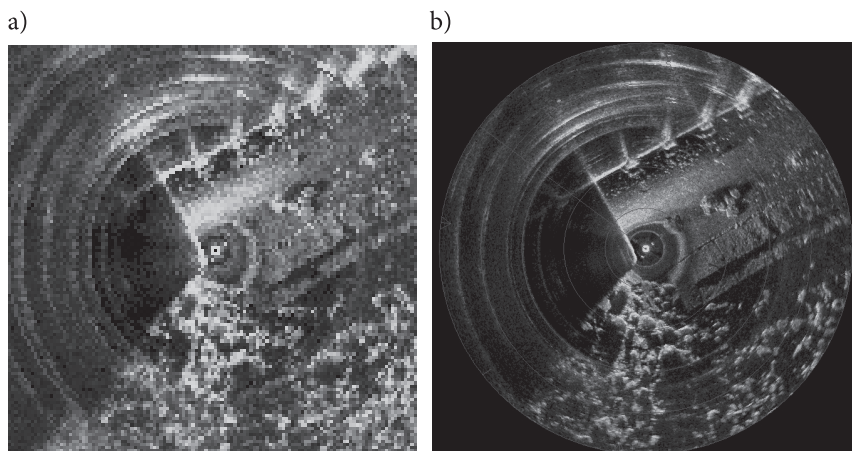
Sonar skanujący jest technologicznie zaawansowanym urządzeniem do bezpośredniego obrazowania dna, które pozwala na reprezentowanie szczegółowego ukształtowania terenu bez zniekształceń sygnału wywołanych ruchem jednostki, jak jest to w przypadku wykorzystywania sonaru bocznego [1, 2]. Wysokoczęstotliwościowy przetwornik pracuje w sposób biegunowy w zawieszeniu na specjalnie przystosowanym trójnogu trzydziści centymetrów nad powierzchnią dna (rys. 1). Sonar obracając się o pewien na stałe określony kąt ϵ , wysyła wiązki fal akustycznych i odbiera odbite echo. Charakterystyka kierunkowa określa granicę kąta przestrzennego emitowanej fali akustycznej i jest węższa od standardowej w płaszczyźnie pionowej (30° rozwartości) oraz węższa w płaszczyźnie poziomej ($0,9^\circ$). Oś głównego maksimum charakterystyki kierunkowości jest skierowana o kilkanaście stopni w dół od linii horyzontu, dzięki czemu większość energii akustycznej jest skierowana do dna akwenu. Oprogramowanie sonaru pozwala na regulację zakresu, wzmocnienia sygnału i szybkości obrotu (rozumianej jako skok wiązki o określony kąt ϵ) w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu wskazówek zegara lub przeciwnym [3].



Rys. 1. Schemat przebiegu pojedynczej wiązki (a) i biegunowego trybu pracy (b) [4]

Ze względu na całkowicie podwodny, samodzielny tryb pracy dokładna pozycja przetwornika jest nieznaną. Jednakże ta informacja, inaczej niż w tradycyjnym skanie sonarem bocznym, nie ma wpływu na późniejszą reprezentację obrazu. Ponadto stacjonarny tryb pracy gwarantuje, że każda linia sonarowa ma początek

w tym samym miejscu i wraz z tą samą ich długością w rezultacie tworzy obraz kołowy (rys. 2). Orientacja obrazu w stosunku do północy jest określana za pomocą wbudowanego kompasu.



Rys. 2. Przykładowy fragment obrazu przy 50 m zasięgu wiązki, rozdzielczość 10 cm (a) i pełen obraz rejestracji przy zasięgu wiązki 7,5 m, rozdzielczość 1,5 cm (b)

Wraz z wysokiej częstotliwości przetwornikiem i możliwością skrócenia zakresu wiązki nawet do 5 m sonar skanujący pozwala na mapowanie obiektów wielkości kilku centymetrów. Z drugiej jednak strony wysoka częstotliwość przetwornika nie pozwala na sondowanie przy dużym zasięgu wiązki. Wynika to z charakteru rozchodzenia się fali akustycznej w środowisku wodnym. Wraz ze wzrostem częstotliwości pracy maleje maksymalny zasięg wysyłanej wiązki [1, 5, 6]. Dlatego wysokoczęstotliwościowe stacjonarne sonary skanujące pracują na ograniczonym zasięgu, zazwyczaj nieprzekraczającym 50 m (rys. 2).

Biegunowy proces rejestracji powoduje także zależność ilości danych zbieranych w czasie rejestracji od odległości od przetwornika. Problem ich nadmiarowości pojawia się blisko głowicy sonaru, natomiast na granicy zasięgu wiązki następują braki w pokryciu związane z kołowym rozkładem danych. Przy małej prędkości obrotowej głowicy sonaru występują mniejsze braki w rzeczywistych danych pomiarowych, natomiast sam proces rejestracji znacznie się przy tym wydłuża. Gęstość rejestrowanych linii ma znaczenie dla późniejszego wyboru metody interpolacji jasności pikseli, szczególnie dla części obrazu z brakującym pokryciem.

1.2 Dane batymetryczne

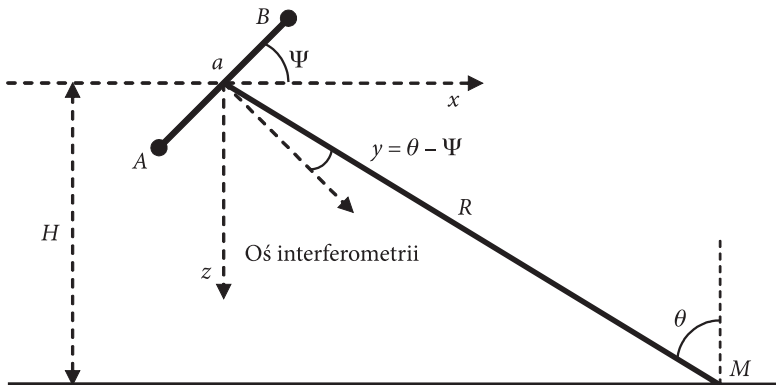
Metoda pozyskiwania danych batymetrycznych zależy od wielkości obszaru sondażowego i lokalnego charakteru środowiska. Wymagana dokładność pozyskiwanych

danych jest ściśle określona wymogami IHO i zależna od kategorii badanego akwenu. Akustyczne metody badania dna nadal stanowią najczęściej wykorzystywany sposób pomiarów hydrograficznych. Wynika to z faktu, iż metody bazujące na promieniowaniu świetlnym nie nadają się do wykorzystania w przypadku niskiej przezroczystości wody, ze względu na dużo gorsze rozchodzenie się w fali świetlnej od fali akustycznej w takim środowisku [5, 6]. Aby dane batymetryczne można było wykorzystać dla potrzeb analizy wysokorozdzielczych obrazów sonarowych, konieczne jest uzyskanie maksymalnie gęstości tych danych. Oznacza to, że jedynie wysoka rozdzielczość danych batymetrycznych będących podstawą analizy obrazu sonarowego pozwoli na dopasowanie obu zbiorów danych oraz przeprowadzenie poprawnej interpretacji.

Numeryczny model dna buduje się interpolując wartości głębokości w pomierzonych punktach jednym z wybranych algorytmów interpolacji. Zbudowana w ten sposób mapa nie odzwierciedla dokładnej charakterystyki dna, nie pozwala na identyfikację obiektów na nim, a jedynie reprezentuje jego przybliżony kształt. Dokładność przybliżenia zależy od zastosowanej technologii i fizycznych charakterystyk przetwornika lub przetworników, w tym ich częstotliwości.

Sygnał akustyczny generowany przez sonarowy system interferometryczny jest podobny do impulsu sonaru bocznego — azymutalnie wąskiego, za to dalekościennego prostopadle do kierunku ruchu jednostki. Za pomocą takiego sygnału pozyskuje się wysokogęstościowe dane batymetryczne. Wraz z przesuwaniem się przetwornika powstaje profil pojedynczych linii tworzących podłużne wstęgi (ang. *swath*) odpowiadające obrazowanej powierzchni dna. Różnicą pomiędzy takim systemem a sonarem bocznym jest sposób zapisu energii akustycznej [8]. W tym wypadku do określenia głębokości wykorzystuje się różnicę w fazie odbitego sygnału, a mnogość sensorów zapewnia wysoką precyzję pomiaru.

Mierzenie różnicy fazy pomiędzy dwoma położonymi blisko odbiornikami jest powszechnie stosowaną metodą sonarową dla lokalizacji obiektów. Precyzyjnie



Rys. 3. Geometria pomiaru batymetrycznego wykorzystująca różnicę fazową [9]

uzyskana różnica odległości pozwala oszacować kątową odległość od celu. Biorąc pod uwagę schemat ustawienia sonaru (rys. 3), gdzie A i B są punktowymi odbiornikami sygnału emitowanego od punkowego obiektu M , różnicę fazową określa zależność [9]:

$$\Delta\varphi_{AB} = k\delta R = k\alpha \sin \gamma = 2\pi \frac{\alpha}{\lambda} \sin \gamma, \quad (1)$$

gdzie: $k = 2\pi / \lambda$ — liczba falowa;

λ — długość fali;

$\delta R = \overline{MA} - \overline{MB}$ — różnica odległości drogi sygnału;

ψ — kąt odchylenia interferometru;

$\gamma = \theta - \psi$ — kąt pomiędzy kierunkiem do obiektu a środkową prostopadłą do AB .

Kąt γ jest uzyskiwany z mierzonego $\Delta\varphi_{AB}$, który pozwala na określenie pozycji punktowej M , jeżeli zakres R jest znany z pomiaru czasu przesyłu. Przy małej odległości pomiędzy odbiornikami daje to doskonałą precyzję pomiaru.

Rozdzielczość poprzeczna zarejestrowanej wiązki, podobnie jak dla sonaru, zmniejsza się wraz z odległością do przetwornika. Dla przetwornika o częstotliwości pracy bliskiej 250 kHz jest to 5 cm dla rozdzielczości poprzecznej i ok. 80 cm dla wzdłużnej przy zasięgu 50 m i już ponad 5 m przy zasięgu ok. 300 m.

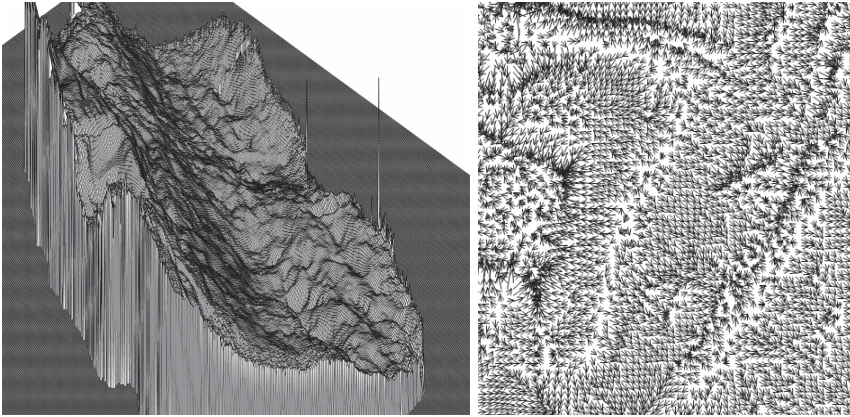
TABELA 1

Rozdzielczość wzdłużna i poprzeczna [7]

	Rozdzielczość wzdłużna dla zasięgu		Rozdzielczość poprzeczna dla zasięgu	
	50 m	300 m	50 m	300 m
Częstotliwość/szerokość wiązki	50 m	300 m	50 m	300 m
117 kHz/1,7 stopnia	1,5 m	8,9 m	0,07 m	0,075 m
234 kHz/1,1 stopnia	0,9 m	5,8 m	0,05 m	0,05 m

Dla rozdzielczości całego obrazu istotna jest również częstość generowania poszczególnych impulsów sygnału, co bezpośrednio związane jest z zakresem wiązki oraz prędkością poruszania się jednostki. Sondazę przeprowadzane z dużą prędkością będą charakteryzować się dużo gorszą jakością uzyskanego obrazu ze względu na jego wynikową, niską rozdzielczość podłużną [5].

Zasięg wiązki nie jest jednak przy tym tak daleki jak dla obrazu sonarowego przy tej samej częstotliwości fali. Powodowane jest to utratą energii związanej z charakterem dna. Muliste lub torfowe dno zmniejsza zasięg nawet o 30%, gdy powierzchnie piaszczyste lub kamieniste dają dobre odbicie nawet na granicy zasięgu.



Rys. 4. Dane batymetryczne z interferometrycznego systemu GeoswathPlus w postaci trójwymiarowego modelu dna oraz mapy gradientów

Typowy zasięg systemu dwuprzetwornikowego to nawet piętnastokrotna odległość głowicy od dna. W przypadku płytkowodnych akwenów interferometryczny pomiar batymetrii jest najefektywniejszą technologią. Niekorzystny jest natomiast fakt, że nagle duże gradienty powierzchni dna powodują występowanie obszaru zacienionego, co w konsekwencji rzadko daje sondaż o stu procentowym pokryciu [7].

2. Problem pozycjonowania

Aby dane batymetryczne mogły być wykorzystane w procesie przetwarzania danych sonaru skanującego, potrzebna jest znajomość ich wzajemnego położenia. Pozycja każdego punktu mapy głębokości jest rejestrowana na bieżąco w trakcie pomiarów batymetrycznych i ewentualnie korygowana podczas późniejszej obróbki informacji nawigacyjnej. Jak wspomniano wcześniej, określenie dokładnej pozycji sonaru całkowicie zanurzonego w wodzie nie jest oczywiste.

W przypadku stosowania sonarów przymocowanych sztywno do jednostki, do określenia współrzędnych kolejnych linii wiązki korzysta się z danych odbiornika GPS poprawionych o różnicę wzajemnego położenia obu urządzeń [10]. Nie można założyć, że pomimo sztywnego przymocowania wiązka sonaru pada dokładnie prostopadle do kierunku ruchu statku, ze względu na same położenie jednostki względem kierunku swojego ruchu. Do określenia dokładnego kierunku padania wiązki związanego z kursem jednostki wykorzystuje się dodatkowo kompas żyroskopowy lub satelitarny. Aby otrzymać pozycję przetwornika o kilkucentymetrowej dokładności, korzysta się z technologii poprawek RTK (ang. *Real Time Kinematics*).

W przypadku sonaru skanującego nie ma możliwości zastosowania takiego rozwiązania ze względu na samodzielny tryb pracy na dnie akwenu, bez sztywnego

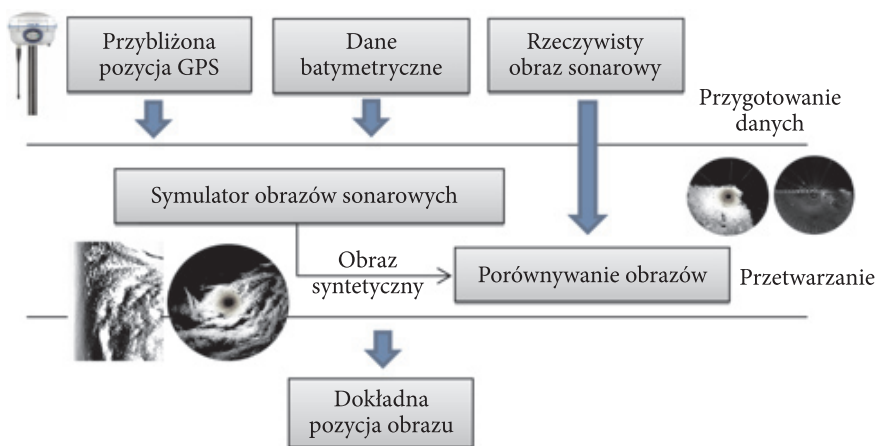
połączenia z jednostką lub w ogóle jakiegokolwiek z nią powiązania. Istnieją szeroko wykorzystywane systemy podwodnego pozycjonowania, jednak ze względu na cenę oraz dużą czasochłonność rozstawienia takiego systemu tylko dla potrzeb lokalizacji przetwornika sonarowego nie jest to rozwiązanie racjonalne.

Sonar skanujący najczęściej stosuje się do przeszukiwania dna w jakimś newralgicznym miejscu pod względem nawigacyjnym, dla potrzeb budowy hydrotechnicznej lub inwentaryzacji obszarów portowych i nabrzeży [5, 6]. Jeżeli na obrazowanym fragmencie zarejestrowano obiekty o znanym położeniu (część nabrzeża, podpora mostu) lub co najmniej takim, które daje szansę na określenie ich dokładnej pozycji (dalba cumownicza), można potraktować taki obiekt jako marker na obrazie i znając zasięg wiązki, obliczyć położenie odbiornika. Orientację do północy obrazu z sonaru skanującego uzyskuje się z wbudowanego weń kompasu. Pracuje się także nad opracowaniem metody wykrywania i ustalania pozycji sztucznych markerów [11].

3. Metoda determinacji położenia obrazu sonarowego

Proponowaną metodą określenia położenia jest wykorzystanie przybliżonej informacji o pozycji, danych batymetrycznych oraz symulatora obrazów sonarowych. Dane te muszą być odpowiednio przygotowane dla potrzeb poszczególnych elementów procesu przetwarzania. Dokładne zasady symulacji obrazów sonarowych zostały przedstawione w literaturze [12, 13, 14].

Zgrubne dane o pozycji głowicy można uzyskać z odbiornika znajdującego się na pokładzie jednostki, z której na dno opuszczany jest sonar skanujący. Przesunięcia pomiędzy odbiornikiem GPS a przetwornikiem sonaru nie da się określić,

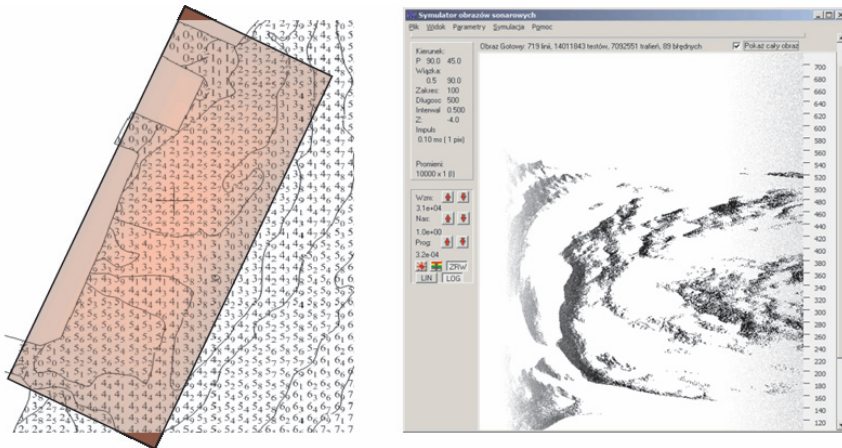


Rys. 5. Schemat przebiegu procesu wyznaczania położenia obrazu sonarowego

ale informacja o położeniu jednostki wraz z maksymalnym zasięgiem, w którym mógł znaleźć się sonar, pozwoli zmniejszyć obszar przeszukiwania danych.

Symulator obrazów sonarowych pozwala na stworzenie syntetycznych obrazów na podstawie rzeczywistych danych batymetrycznych sprowadzonych do mapy głębokości. Czym większa gęstość takich danych, tym lepsza symulacja odwzorowania [13]. Znając zakres wiązki sonaru oraz wysokość położenia głowicy nad dnem definiowalnej przez konstrukcję trójkątu, można wygenerować syntetyczny obraz z dowolnej pozycji na obszarze określonym przez zakres danych o głębokości. Generowane linie mozaikuje się, uwzględniając kąt obrotu ε .

Poszukując pozycji rzeczywistego obrazu sonarowego, należy kolejno przesuwać się po obszarze, generując obraz syntetyczny i porównując go z obrazem rzeczywistym aż do znalezienia dokładnego usytuowania głowicy.



Rys. 6. Ograniczony obszar przeszukiwania (a) i symulacja obrazu w przykładowo wybranym punkcie (b)

Proces porównywania obrazów można wykonać w oparciu o metodę iloczynu logicznego jako funkcji podobieństwa. Poniższa zależność w sposób ogólny opisuje algorytm wyznaczania współczynnika dopasowania [15]:

$$P^w = \sum_{z=1}^{\eta} (\tau_{\eta} \cdot W_z), \quad (2)$$

gdzie: τ_{η} — liczba dopasowanych pikseli w odpowiednim poziomie wagowym;
 W_z — waga przypisana odpowiednim dopasowanym wartościom obrazów porównywanych;
 η — liczba poziomów wagowych.

W przypadku ogólnym wartości W_z określa się tak, aby były zgodne z wartościami elementów obrazów, mając na uwadze, że wagę najwyższą należy przypisać punktom charakterystycznym obrazu, bo pozwoli to na lepsze dopasowanie.

Jednak aby tego dokonać, sonarowy obraz symulowany i rzeczywisty muszą zostać zapisane w postaci wagowej z η poziomami wagowymi. Dobór liczby poziomów zależeć będzie od charakterystyki obrazowanego fragmentu podłoża oraz wzmocnienia, przy jakim obraz sonarowy był rejestrowany. Wyznaczenie poziomów nie musi być równomierne, a wręcz nie powinno być, gdyż nawet przy dużej głębokości bitowej obrazów histogram wskazuje na występowanie głównie wartości ciemnych (pominąć należy obszary w rogach obrazów ze względu na kołowy charakter odwzorowania). Zgodnie z tymi założeniami, zależność na określenie współczynnika dopasowania obrazów przedstawia się następująco [12]:

$$P = W_1 \cdot n_1 + W_2 \cdot n_2 + \dots + W_k \cdot n_k, \quad (3)$$

gdzie: n_k — suma punktów jednego poziomu zgodnych na obrazie rzeczywistym i symulowanym;
 W_k — współczynniki wagowe punktów jednego poziomu;
 $k = 1 \dots m, m \in N$.

Współczynniki wagowe powinny być każdorazowo wyznaczone dla konkretnego obrazu sonarowego przy próbie odnalezienia jego pozycji, zgodnie z równaniami:

$$W_k = \frac{\sum_{k=1}^m l_k \cdot m_k}{l_k}, \quad (4)$$

gdzie: l_k — sumy wszystkich punktów odpowiedniego poziomu na rzeczywistym obrazie sonarowym;
 m_k — współczynniki określające proporcjonalny udział poszczególnych punktów obrazu.

Porównanie obu obrazów według powyższej metody jest możliwe ze względu na znaną orientację obrazu względem północy uzyskiwaną z wbudowanego kompasu sonaru. W przypadku braku danych o orientacji obrazu sonarowego do porównania należy wykorzystywać metody oparte o inwarianty obrazów [12]. Sam przebieg procesu porównywania jest długi, gdyż każdorazowo zachodzi potrzeba wygenerowania nowego obrazu syntetycznego.

Ze względu na zastosowanie stacjonarnego sonaru skanującego obrazowane obszary cechują się występowaniem obiektów charakterystycznych, czym powodują jednoznaczne wskazanie największego podobieństwa pomiędzy odpowiednią parą

obrazów, przy dobrze określonych wagach. Dla obrazów o charakterze jednorodnym zadanie to może być utrudnione, gdyż współczynnik podobieństwa będzie mylnie wysoki dla dużej ilości porównań.

4. Przetwarzanie i analiza obrazów sonaru skanującego

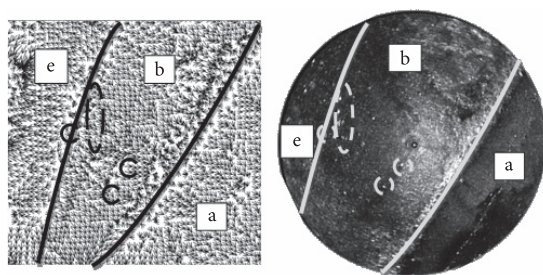
Wizualizacja sygnału echa oraz podobieństwo jej efektu do zdjęć fotograficznych pozwala na stosowanie metod interpretacyjnych zbliżonych do metod dedykowanych takim obrazowaniom. Potencjał interpretacyjny obrazu sonarowego [16] związany jest z jego rozdzielczością, głębokością bitową, rozróżnialnością obiektów i tzw. kontekstem, czyli zawartością semantyczną [17] lub informacją towarzyszącą [19], który jest zbudowany w oparciu o istniejący stan wiedzy osoby interpretującej obrazowaną rzeczywistość. Rozdzielczość obrazu sonarowego jest narzucona przez fizyczną charakterystykę głowicy przetwornika. Głębokość bitowa związana jest z digitalizacją sygnału z postaci analogowej. Rozróżnialność obiektów, poza rozdzielczością, zależy głównie od regulacji wzmocnienia sygnału oraz tła obiektu, czyli struktury podłoża, na którym obiekt się znajduje. Największy problem stanowi kontekst obrazu, który różni się dla każdej osoby interpretującej echogram w zależności od posiadanej wiedzy na temat skanowanego akwenu, ewentualnych możliwych obiektach na jego dnie i innych czynnikach. Dlatego, aby zwiększyć potencjał interpretacyjny obrazu, należy pozyskać więcej informacji na temat obrazowanej rzeczywistości.

Zazwyczaj to obrazy sonarowe są jedynie uzupełnieniem danych batymetrycznych o akwenu. Jednak wykorzystanie tak dokładnych danych o głębokości pozwala na oparcie całego procesu przetwarzania obrazów sonaru skanującego właśnie o tę informację i uzależnienie od niej ich obróbki.

Wysokorozdzielcze dane batymetryczne pozyskane sonarowym systemem interferometrycznym pozwalają na uzyskanie mapy gradientów dna akwenu, gdzie węzły siatki są rozmieszczonych kilkunastocentymetrowych odległościach. Znając ukształtowanie dna wiadomo, czy obiekty znajdujące się na zarejestrowanym obrazie położone są w obniżeniach, czy na wzniesieniach występujących na powierzchni dna. Ma to znaczny wpływ na to, w jaki sposób obiekt jest reprezentowany na obrazie sonarowym, szczególnie takim, którego rejestracja odbywa się w położeniu około 30 cm nad dnem. Znając różnicę głębokości pomiędzy położeniem głowicy a obiektem, można wyznaczyć kąt, pod jakim wiązka trafiła w obiekt. Długość cienia akustycznego jest cechą, na podstawie której określa się wysokość rzeczywistego obiektu, a tym samym ewentualne zagrożenie nawigacyjne. Przy znanym położeniu obrazu możliwe jest także automatyczne wydzielenie obszarów:

- a) niewidzialnych (przesłoniętych),
- b) o małym średnim gradiencie dna w kierunku od pozycji przetwornika,

- c) o małym średnim gradiencie dna w kierunku do pozycji przetwornika,
 - d) o wysokim średnim gradiencie dna w kierunku przetwornika,
 - e) o wysokim średnim gradiencie dna w kierunku od pozycji przetwornika.
- Obszary niewidzialne (a) określa się na podstawie:
- braków danych batymetrycznych wynikających z istnienia konstrukcji (np. nabrzeża, podpory mostów),
 - istnienia innych obszarów o nagłym wzroście gradientu powierzchni dna na drodze emitowanego sygnału o znanej charakterystyce kierunkowej, przysłaniających dany obszar.



Rys. 7. Podział obrazu na obszary na podstawie (b) mapy gradientów (a) z zaznaczoną lokalizacją obiektów

Cienie akustyczne obiektów znajdujące się na obszarach o małym nachyleniu powierzchni dna (b i c) pozwalają w procesie interpretacji na miarodajną ocenę wysokości obiektu nad dnem. Wpływ zwrotu wektora gradientu w stosunku do pozycji głowicy sonaru podczas rejestracji jest w tym wypadku pomijalny. Przy dużym spadku lub wzroście nachylenia powierzchni (d i e) obiekty i ich cienie zostają znacznie zniekształcone i konieczna jest ich korekcja w procesie dalszego przetwarzania. Zróżnicowanie technik obróbki obrazów cyfrowych w zależności od mapy gradientów i wydzielonych na tej podstawie obszarów umożliwia niezależną, lokalną poprawę widoczności poszczególnych obiektów lub fragmentów dna.

5. Podsumowanie

Sonar skanujący pozwala na bardzo dokładne obrazowanie obszarów podwodnych. Dzięki charakterowi pracy przetwornika i otrzymywanych wyników w postaci obrazów o wysokiej szczegółowości stale rozwijane są jego zastosowania oraz ulepszany sposób przetwarzania danych na potrzeby identyfikacji obiektów. Oparcie procesu przetwarzania o szczegółową mapę głębokości oraz jego automatyzacja miałyby znaczny wpływ na potencjał interpretacyjny obrazów sonarowych. Obecnie systemy interferometryczne do badań batymetrycznych pozwalają mapować

dno z dokładnością przekraczającą standardy narzucone przez IHO, co pozwala na wykorzystanie ich w procesie analizy i przetwarzania obrazów sektorowego sonaru skanującego.

Samo zastosowanie metody pozyskiwania dokładnej pozycji obrazowanego obszaru jest kluczowe dla wzbogacenia kontekstu obrazu. Wykorzystanie danych batymetrycznych znajdujących się w zakresie obrazu do analizy treści, określenia obszarów niewidocznych oraz wyznaczenia obszarów dla lokalnej korekcji otwiera możliwość automatyzacji i autonomizacji lokalnego przetwarzania fragmentów obrazu niezależnie od wiedzy osoby interpretującej sonogram.

Artykuł wpłynął do redakcji 5.07.2010 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w grudniu 2010 r.

LITERATURA

- [1] J. D. BENNELL, *Marine monitoring handbook*, Procedural Guideline, 1-5, Mosaicing of sidescan sonar images to map seabed features, School of Ocean Sciences, University of Wales, Bangor, 2005.
- [2] A. GRZĄDZIEL, *Wykorzystanie sonaru bocznego w pracach hydrograficznych*, Przegląd Morski, 2, 2004.
- [3] Kongsberg Mesotech Ltd., *MS 1000 operational manual*, 2008.
- [4] Imagenex technology corp., *Sonar theory and applications*, www.imagenex.com/sonar_theory.pdf.
- [5] M. GREEK, D. CUNNINGHAM, *Seabed Imaging Techniques*, Hydro International, 2, 1, 1998, 30-33.
- [6] R. KABEROW, M. SZATAN, *Mozaikowanie obrazów sonarowych*, Przegląd Hydrograficzny, 4, Gdynia, 2008.
- [7] C. BATES, R. BYHAM, *Swath-sounding techniques for near shore surveying*, Hydrographic Journal, 100, 2001.
- [8] C. DE MOUSTIER, H. MATUSMOTO, *Seafloor acoustic remote sensing with multibeam echosounders and bathymetric sidescan sonar systems*, Marine Geophysical Researches, 15, 1993, 27-42.
- [9] X. LURTON, *Swath Bathymetry Using Phase Difference: Theoretical Analysis of Acoustical Measurement Precision*, IEEE Journal of Oceanic Engineering, 25, 3, 2000.
- [10] S. INCE, J. EDWARDS, D. PARKER, *Positioning using a differential Global Positioning System (GPS) in near-shore tidal waters*, Department of Geomatics, Procedural Guideline, 6-1, University of Newcastle, 2000.
- [11] M. BORAWSKI, A. ŁATUSZYŃSKA, *Klasyfikacja konturów znaczników z wykorzystaniem miary zmienności na obrazie z sonaru sektorowego*, Biul. WAT, 59, 2, 2010.
- [12] A. STATECZNY, *Metody nawigacji porównawczej*, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, 287-291, Gdynia, 2004, 2431-256.
- [13] A. STATECZNY, M. PAŁCZYŃSKI, *Synthesis of Simulated Sonar Images by Means of Acoustic Rectilinear Rays*, Polish Journal of Environmental Studies, 15, 4C, 2006.
- [14] J. M. BELL, L. M. LINNETT, *Simulation and Analysis of Synthetic Sidescan Sonar Images*, IEEE Proceedings — Radar, Sonar and Navigation, 144, 4, Aug. 1997.
- [15] M. WĄŻ, A. CICHOCKI, *Zastosowanie algorytmów porównawczych do określania pozycji statku*, Zeszyty Naukowe AMW, 1, 1999.

- [16] Z. KURCZYŃSKI, W. WOLNIEWICZ, *Assessment of the VHRS Images for Elaboration of the Topographic Data Base*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36, 1/W41, 2006.
- [17] R. TADEUSIEWICZ, M. OGIELA, *Medical Image Understanding Technology, Artificial Intelligence and Soft-Computing for Image Understanding*, Studies in Fuzziness and Soft Computing, 156, 2008.
- [18] B. CAMPBELL JAMES, *Introduction to Remote Sensing*, Columbia University Press, New York, 2002, 122-155.

A. STATECZNY, N. WAWRZYŃIAK

Application of high resolution bathymetric data in the analysis of scanning sonar images

Abstract. The use of rotary scanning sonar allows for more precise bottom examination than standard side scan sonar imaging. High frequency transducer, together with lack of disruption resulting from unit movement and its placement only little above the seabed, ensures very detailed representation of sea bed surface. However, the work characteristic of this device causes a number of issues not occurring in side scan and having a significant impact on the projection and further identification of underwater objects.

The other typical data obtained from a surveyed area is its bathymetry. Nowadays, the information acquired by interferometric bathymetry system very precisely represents the sea floor. Usually, the sonar data is only an addition to bathymetric survey. Here, the application of the precise depth data allows to base the whole sonar image processing and to depend its analysis on this data.

The basic information of the image is its location, which in this case depends directly on the position of sonar transducer during the signal registration. Due to its completely underwater stand-alone way of work, the exact position of the transducer is unknown. There is no rational possibility of receiving direct information from GPS-RTK receiver. The proposed method bases on approximate position, the bathymetric data, and synthetic sonar image simulator. Rough data of the transducers position may be obtained from the survey unit from which the scanning sonar is lowered to the bottom. On this basis and on the obtained bathymetric data, the synthetic polar sonar image is generated. By the conjunction method, as similarity function, real image is compared to synthetic one. In subsequent steps, new simulated images are generated and compared with the original ones until the best comparison is found.

Knowing the seabed configuration, it is easy to tell if the objects found on the registered image lie in a local hollow area or on the hill. It has huge meaning for the way of object representation and identification, especially, when the registration process is taken 30 cm above the sea floor. The differentiation of sonar image processing, depending on a gradient map, allows for independent, local visibility improvement in objects and bottom fragments. In consequence, it allows for improvement in the image interpretational potential.

High resolution, very few distortions and the possibility of taking into account additional information can contribute to automation of identification process in sonar imaging.

Keywords: scanning sonar, interferometric bathymetry, positioning

