POLSKIE TOWARZYSTWO INFORMACJI PRZESTRZENNEJ
ROCZNIKI GEOMATYKI 2010 ❍ TOM VIII ❍ ZESZYT 5(41)

POPRAWA POTENCJAŁU INTERPRETACYJNEGO OBRAZÓW SONARU SKANUJĄCEGO W OPARCIU O DANE Z SONDY WIELOWIĄZKOWEJ

IMPROVEMENT IN THE INTERPRETATIVE POTENTIAL OF SCANNING SONAR IMAGES BASED ON MULTIBEAM ECHOSOUNDER DATA

Andrzej Stateczny[1], Natalia Ratuszniak[2]

[1] Akademia Morska w Szczecinie, [2]Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny

Słowa kluczowe: sonar skanujący, pozycjonowanie obrazu, potencjał interpretacyjny
Keywords: scanning sonar, image positioning, interpretative potencial

Wstęp

Wysokoczęstotliwościowy sonar skanujący pozwala na dokładniejsze obrazowanie dna niż ma to miejsce w przypadku zastosowania sonaru bocznego. Ze względu na stacjonarny, niezależny od jednostki pływającej tryb pracy charakteryzuje go brak zakłóceń związanych z ruchem oraz mniejsza podatność na zaburzenia przez inne urządzenia. Jednak bliskodenny charakter pracy oraz specyfika biegunowego odwzorowania ma wpływ na późniejsze określenie charakterystyki dna i identyfikację ewentualnych obiektów podwodnych.

Wizualizacja sygnału echa oraz podobieństwo jej efektu do zdjęć fotograficznych pozwala na stosowanie metod interpretacyjnych zbliżonych do metod dedykowanych takim obrazowaniom. Fotointerpretacja skupia się głównie na określaniu bezpośrednich cech obrazowanego obiektu, takich jak kształt, wielkość, barwa itp. oraz cech pośrednich, jak cień i rozmieszczenie topograficzne (Cambell, 2002). Jednak potencjał interpretacyjny obrazu cyfrowego związany jest z jego rozdzielczością, głębokością bitową, rozróżnialnością obiektów (Kurczyński, 2005) oraz tzw. kontekstem, który jest zbudowany w oparciu o istniejący stan wiedzy osoby interpretującej obrazowaną rzeczywistość. Dążenie do automatyzacji procesu analizy obrazu sonarowego musi być związane z badaniem wpływu wiedzy osoby interpretującej na odbiór treści obrazowej.

Potencjał interpretacyjny

Większość czynników mających wpływ na interpretację obrazu sonarowego jest z góry określona. Rozdzielczość obrazu sonarowego jest narzucona przez charakterystykę głowicy przetwornika. Zależy ona bezpośrednio od częstotliwości sygnału akustycznego emitowanego przez przetwornik oraz regulowanego zasięgu wiązki (Szatan, 2008). W przypadku obrazów sonaru skanującego na rozdzielczość ma także wpływ prędkość obrotu głowicy, czyli wielkość kąta, o który zmienia się kierunek wysyłania sygnału akustycznego. Głębokość bitowa obrazu jest stała i definiowana wraz z formatem pliku przez producenta sonaru. Rozróżnialność obiektów, poza rozdzielczością, zależy głównie od regulacji wzmocnienia sygnału oraz tła obiektu, czyli struktury podłoża, na którym obiekt się znajduje. Regulacja wzmocnienia pozwala na lepsze uwydatnienie obiektów lub lepsze odwzorowanie charakteru dna – nigdy obu tych czynników jednocześnie. Większa głębokość bitowa obrazu ma także wpływ na lepszą rozróżnialność obiektów.

Najbardziej rozległy, trudno definiowalny, a jednak mający podstawowe znaczenie dla interpretacji jest kontekst obrazu, zwany zawartością semantyczną (Tadeusiewicz, 2008) lub informacją towarzyszącą (Cambell, 2002), która zależy od wiedzy na temat skanowanego akwenu osoby interpretującej. Oprócz doświadczenia w odczytywaniu informacji sonarowej, osoba dysponująca wiedzą na temat badanego obszaru i ewentualnych obiektach podwodnych znajdujących się na dnie ma większe szanse na poprawną identyfikację. Oczekiwania wobec obrazu związane z posiadaną wiedzą pozwalają na powiązanie oczywistych cech obiektów obrazowanych w trafną konkluzję. Dlatego, aby zwiększyć potencjał interpretacyjny obrazu należy uzyskać jak najwięcej dodatkowych informacji na temat obrazowanej rzeczywistości.

Pozycjonowanie obrazu sonarowego

Podstawową informacją o obrazie jest jego umiejscowienie, czyli pozycja głowicy w czasie rejestracji sygnału wiązki. Ze względu na całkowicie podwodny charakter pracy stacjonarnego sonaru skanującego istnieje problem dokładnego pozycjonowania.

W przypadku stosowania sonarów przymocowanych sztywno do jednostki, pomiar współrzędnych wykonuje się z wykorzystaniem odbiornika GPS umieszczonego na pokładzie. 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 (Ince, 2000).

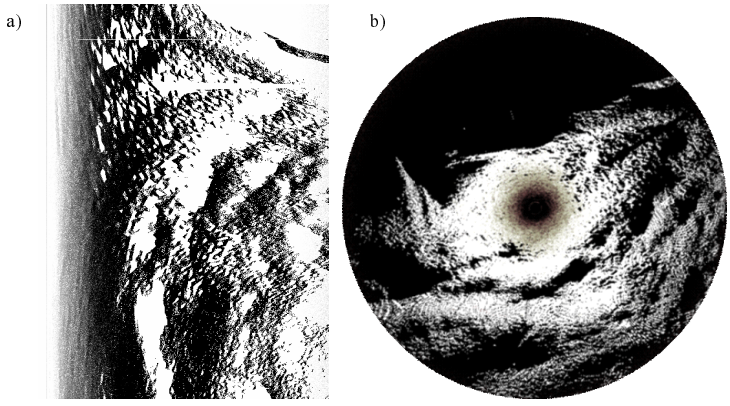
Przy zastosowaniu sonaru skanującego nie ma możliwości wykorzystania takiego rozwiązania, ze względu na samodzielny tryb pracy na dnie akwenu, bez sztywnego połączenia z jednostką lub w ogóle jakiegokolwiek z nią powiązania. Istnieją szeroko wykorzystywane systemy podwodnego pozycjonowania, jednak ze względu na cenę oraz dużą czasochłonność rozstawienia takiego systemu, stosowanie go tylko dla potrzeb lokalizacji przetwornika sonarowego nie jest rozwiązaniem racjonalnym.

Głównym zastosowaniem sonaru skanującego jest obrazowanie dna w jakimś newralgicznym miejscu pod względem nawigacyjnym, dla potrzeb budowli hydrotechnicznych lub inwentaryzacji obszarów portowych i nabrzeży. Jeżeli na obrazowanym fragmencie zarejestrowano obiekty o znanym położeniu (część nabrzeża, podpora mostu) lub co najmniej takie, które dają szansę na określenie ich dokładnej pozycji (dalba cumownicza), można potraktować taki

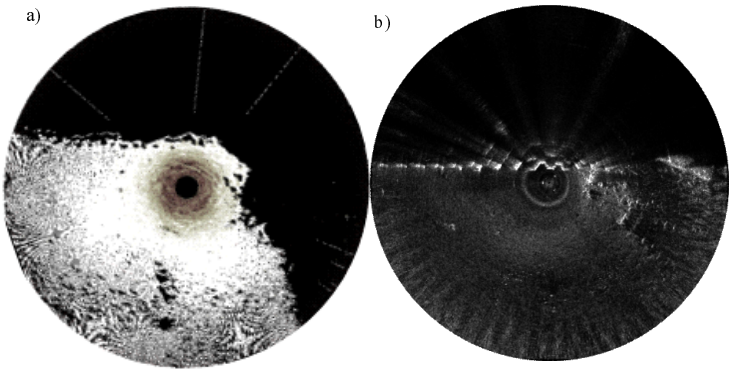
obiekt jako marker na obrazie i znając zasięg sonaru obliczyć położenie odbiornika. Orientację względem północy obrazu z sonaru skanującego uzyskuje się z wbudowanego weń kompasu.

Metoda pozycjonowania w oparciu o dane batymetryczne

Do dokładnego pozycjonowania można wykorzystać syntetyczne obrazy sonarowe, wygenerowane w procesie symulacji wykorzystującym wysokogęstościowe dane batymetryczne i przybliżoną pozycję sonaru (rys. 1). Zgrubne dane o pozycji głowicy można uzyskać z odbiornika GPS znajdującego się na pokładzie jednostki, z której na dno opuszczany jest sonar skanujący. Przesunięcia pomiędzy odbiornikiem GPS a przetwornikiem sonaru nie da się określić, ale informacja o położeniu jednostki wraz z maksymalnym zasięgiem, w którym mógł znaleźć się sonar pozwoli zmniejszyć obszar przeszukiwania danych. Znając rzeczywisty zasięg sonaru oraz wysokość położenia głowicy nad dnem, definiowalnej przez konstrukcję trójnogu, można wygenerować syntetyczny obraz z dowolnej pozycji na obszarze ograniczonym przez zakres uzyskanych danych o głębokości (Pałczyński, 2000). Rozdzielczość danych batymetrycznych użytych w procesie symulacji ma bezpośredni wpływ na uzyskiwaną jakość syntetycznych danych sonarowych (rys. 2). Rzeczywiste dane pozyskane sonarem skanującym charakteryzują się kilkucentymetrową rozdzielczością i należy uzyskać maksymalnie przybliżony wynik dla obrazu symulowanego. W kolejnych iteracjach symulowane są obrazy wygenerowane z kolejnych pozycji, aż do znalezienia dokładnego usytuowania głowicy.



Rys. 1. Syntetyczny obraz symulowany na podstawie wysokogęstościowych danych batymetrycznych: a – w formie kolejno zapisywanych linii obrazu, b – po procesie prawidłowej wizualizacji



Rys. 2. Porównanie obrazów przedstawiających ten sam obszar: a – średniorozdzielczego obrazu symulowanego, b – wysokorozdzielczego obrazu rzeczywistego

Proces porównywania obrazów można wykonać w oparciu o metodę iloczynu logicznego jako funkcji podobieństwa (Stateczny, 2004). Jednak aby tego dokonać, sonarowy obraz symulowany i rzeczywisty muszą zostać zapisane w postaci wagowej z *n* poziomami wagowymi. Dobór liczby poziomów zależeć będzie od charakterystyki obrazowanego fragmentu podłoża oraz wzmocnienia, przy jakim obraz sonarowy był rejestrowany.

Zgodnie z tymi założeniami, zależność na określanie współczynnika dopasowania obrazów przedstawia się następująco:

$$P = W_1 \times n_1 + W_2 \times n_2 + ... + W_k \times n_k \tag{1}$$

gdzie:

n_k – suma punktów jednego poziomu zgodnych na obrazie rzeczywistym i symulowanym,

W_k – współczynniki wagowe punktów jednego poziomu,

k – 1...m, m Î N

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

$$W_k = \frac{\sum_{k=1}^{m} l_k \cdot m_k}{l_k} \tag{2}$$

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. Ze względu na wspomniane już zastosowanie stacjonarnego sonaru skanującego, obrazowane obszary cechują się występowaniem obiektów charakterystycznych, czym ułatwiają określanie największego podobieństwa pomiędzy odpowiednią parą obrazów. Jeżeli charakter obrazu rzeczywistego jest jednorodny, poprawne dopasowanie może być utrudnione ze względu na myląco wysoki współczynnik podobieństwa dla dużej liczby porównywanych par.

Analiza obrazu w oparciu o dane batymetryczne

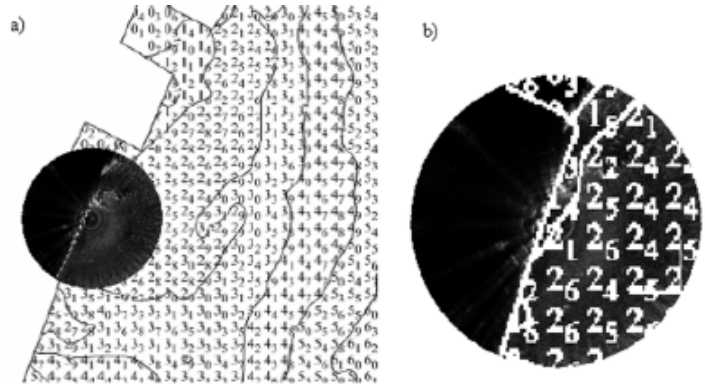
Głównym celem pomiarów hydrograficznych są zazwyczaj dane batymetryczne. Echogramy sonarowe jedynie uzupełniają dane o głębokości pozwalając na dodatkowe odwzorowanie charakterystyki dna. Dlatego posiadając rejestracje sonarowe, informacja o ukształtowaniu dna akwenu jest już często dostępna i możliwa do wykorzystania dla potrzeb analizy obrazu sonarowego. Problem może stanowić dokładność takich danych. Akustyczne pomiary głębokości akwenów są prowadzone w oparciu o systemy: sond jednowiązkowych jedno- i wieloprzetwornikowych; sond wielowiązkowych; a także w oparciu o batymetryczne systemy sonarowe wykorzystujące interferometrię fazową (Moustier, 1993). W przypadku użycia sondy jednowiązkowej gęstość zebranych danych jest niewystarczająca do wytworzenia modelu dna, w oparciu o który zostanie przeprowadzona analiza obrazu sonaru skanu-

jącego. Sondy wielowiązkowe oraz sonarowe systemy interferometryczne pozwalają na uzyskanie rozdzielczości rzędu kilku (rozdzielczość poprzeczna) na kilkadziesiąt (rozdzielczość wzdłużna) centymetrów, w zależności od częstotliwości przetworników i prędkości przeprowadzania pomiarów (Blacquiere, 1998; Moustier, 1993).

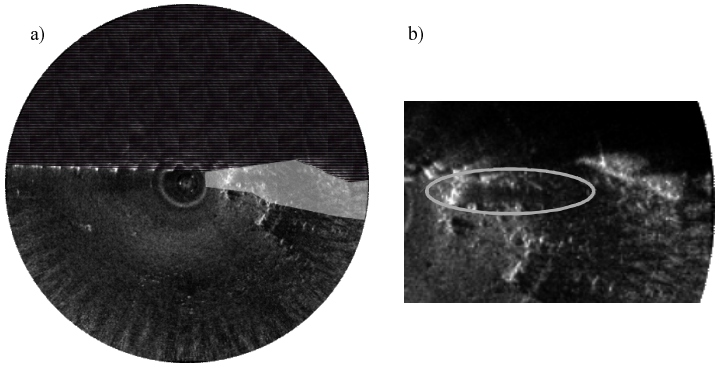
Znając pozycję głowicy sonaru podczas rejestrowania sygnału można precyzyjnie dopasować obraz sonarowy do szczegółowej mapy głębokości (rys. 3). Porównanie głębokości, na której umieszczono głowicę z głębokościami terenu obrazowanego, pozwala na szybkie wyeliminowanie części obszaru w rzeczywistości niewidzialnego dla przetwornika (rys. 4a). Na obrazie, w takich miejscach mogą być zarejestrowane elementy przypominające obiekty, a będące w rzeczywistości echami odbitymi lub innymi zakłóceniami związanymi z pracą przetwornika. Automatyczna eliminacja takich obszarów skraca proces analizy oraz chroni przed ewentualnymi błędami interpretacyjnymi spowodowanymi fałszywymi odbiciami.

Resztę obszaru można poddać procesowi segmentacji w oparciu o mapę gradientów, co wyróżni obszary i obiekty znajdujące się na szybko wznoszących lub opadających terenach względem pozycji przetwornika. Ma to szczególne znaczenie w analizie cieni rzucanych przez obiekty, na podstawie których określa się ich wysokość. W przypadku gdy obiekt znajduje się na stoku o dużym gradiencie spadku głębokości w stosunku do umiejscowienia sonaru, to jego cień znacznie się wydłuży, powodując mylne wrażenie wysokiego obiektu mogącego stanowić zagrożenie nawigacyjne (rys 4b).

Zróżnicowanie technik obróbki obrazów cyfrowych w zależności od mapy gradientów obszaru i wyznaczonych na jej podstawie segmentów umożliwia niezależną, lokalną poprawę widoczności poszczególnych obiektów lub fragmentów dna.



Rys. 3. Rzeczywisty obraz sonaru skanującego na tle mapy głębokości



Rys. 4. Obraz sonarowy z zaznaczonym obszarem niewidocznym oraz: a – obszarem wyżej położonym od głowicy sonaru, b – wyróżnionym obiektem położonym w tej strefie

Jeżeli do dobrze naświetlonego przez wiązkę sonarową segmentu należy grupa obiektów o podobnych parametrach, to można wnioskować o ich wspólnym pochodzeniu lub przynależności do typu ukształtowania terenu. Rozróżnialność pojedynczego obiektu na tle urozmaiconego dna może być niewielka, ale jednoczesna przynależność do segmentu o stałych cechach topologicznych może pozwolić na określenie np. ewentualnego zagrożenia nawigacyjnego stwarzanego przez ten segment.

Podsumowanie

Wysoka rozdzielczość, małe zniekształcenia związane ze sposobem pracy sonaru oraz możliwość uwzględnienia dodatkowych informacji w procesie przetwarzaniu, mogą w przyszłości przyczynić się do automatyzacji procesu identyfikacji obiektów obrazowanych sonarowo. Kontekst obrazu musi być ujęty podczas jego przetwarzania, aby w pełni możliwa była interpretacja obrazowanego obszaru. Uniezależnienie kontekstu od wiedzy osoby interpretującej ułatwi proces identyfikacji osobom mniej doświadczonym.

Wysokogęstościowe dane batymetryczne, pozyskiwane obecnie z zaawansowanych technologicznie podwodnych systemów akustycznych, pozwalają na dokładne odwzorowanie kształtu dna akwenu. Samo precyzyjne określenie pozycji nie jest sprawą oczywistą, a w znacznej mierze zwiększa wiedzę interpretatora o obrazowanym fragmencie akwenu. Informacja o pozycji w połączeniu z mapą gradientów ukształtowania dna ułatwia proces eliminacji fałszywych ech i obszarów w rzeczywistości niewidocznych. Przetwarzając odrębnie segmenty obrazów można pewne ich cechy uwypuklić, co sprawi, że obraz będzie bardziej czytelny.

W przeprowadzeniu w pełni automatycznej interpretacji obrazów sonarowych, problem leży głównie w niemożności zbudowania bazy obiektów, na których podstawie mogłaby odbyć się identyfikacja. Obiekty za każdym razem wyglądają inaczej, w zależności od kierunku padania wiązki sonarowej i cech środowiska, co sprawia, że tradycyjne metody rozpoznawania obrazów są co najmniej niewystarczające. Zaproponowana metoda przetwarzania obrazów, oparta na segmentacji zależnej od ukształtowania obszaru i położenia głowicy względem obiektów, znacznie ułatwia proces interpretacyjny podwodnych zobrazowań sonarowych.

Literatura

Blacquiere G., Van Woerden, K. 1998: Multibeamechosounding, beamforming vs. interferometry. Proceedings, Oceanology International.

Cambell J.B., 2002: Introduction to Remote Sensing, New York, p.122-155.

Ince S., Edwards J., Parker D., 2000: Department of Geomatics, Procedural Guideline No. 6-1 Positioning using a differential Global Positioning System (GPS) in near-shore tidal waters, University of Newcastle.

Kurczyński Z., Wolniewicz W., 2005: Ocena przydatności obrazów satelitarnych o bardzo dużej rozdzielczości (VHRS) do tworzenia bazy danych topograficznych. *Przegląd Geodezyjny*, nr 5, s. 3-10.

de Moustier C., Matusmoto H., 1993: Seafloor acoustic remote sensing with multibeam echosounders and bathymetric sidescan sonar systems. *Marine Geophysical Researches*, v. 15, pp. 27-42.

Pałczyński M., Stateczny A., 2006: Synthesis of Simulated Sonar Images by Means of Acoustic Rectilinear Rays, *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 15, No. 4C.

Stateczny A., 2004: Metody nawigacji porównawczej, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdynia.

Szatan M., Kaberow R., 2008: Mozaikowanie obrazów sonarowych*, Przegląd Hydrograficzny, nr 4,* Gdynia.

Tadeusiewicz R., Ogiela M., 2009: Semantic Content of the Images, Problemy współczesnej nauki – teoria i zastosowania, Informatyka, Warszawa.

Abstract

The use of rotary scanning sonar allows more precise bottom examination than standard side scan sonar imaging. However, operational characteristics of this device bring about a number of issues not occurring in side scan which have a significant impact on the image and further identification of underwater objects.

The interpretative potential of an image is based on its resolution, bit depth, objects discrimination and the context built on the knowledge of the person, who analyses the mapped reality. As the first three factors are independent of the interpreter, the image context is closely related to his knowledge about scanned region and possible objects on the see bottom. Therefore, to improve the interpretative potential of the sonar image more information about the represented area should be added.

The basic information about the image is its location, which in this case depends directly on the position of sonar transducer during the signal recording. Due to its entirely underwater stand-alone work, the exact position of the transducer is unknown. There is no rational possibility to obtain direct information from GPS-RTK receiver.

The proposed method uses approximate position, bathymetric data and a synthetic sonar image simulator. Rough data about the transducers position may be obtained from the survey unit from which the scanning sonar is lowered to the bottom. On this basis of the obtained bathymetric data the synthetic polar sonar image is generated. The real image is compared to the synthetic one by means of the conjunction method as similarity function. In subsequent steps, new simulated images are generated and compared with the original until precise location of the transducer is found.

The differentiation of sonar image processing depending on the gradient map makes it possible to improve independent, local visibility of objects and bottom fragments. In consequence, it allows to improve image interpretational potential. High resolution, little distortions and the possibility to take into account additional information may contribute to automation of the identification process in sonar imaging. Often the merit sense of the image is more important than singular objects recognition. Sonar image understanding and its automation would contribute to propagation of sonar underwater imaging and thus to the improvement of navigation safety and conducting hydrotechnical works in ports and other water basins.

prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny
a.stateczny@am.szczecin.pl

mgr inż.Natalia Ratuszniak
nratuszniak@wi.zut.edu.pl