

WIZUALIZACJA ŚCIAN NABRZEŻY ZA POMOCĄ OBRAZÓW SONARU SKANUJĄCEGO NA POTRZEBY GEOINFORMACYJNEGO SYSTEMU OCHRONY PORTU

VISUALIZATION OF QUAY WALLS BY MEANS OF SCANNING SONAR IMAGES FOR THE NEEDS OF A GEOINFORMATION PORT SECURITY SYSTEM

Natalia Wawrzyniak¹, Grzegorz Zaniewicz²

¹ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

² Akademia Morska w Szczecinie

Słowa kluczowe: sonar skanujący, geoinformacja, inspekcja nabrzeży, hydrografia
Keywords: scanning sonar, geoinformation, quays inspection, hydrography

Wstęp

Szybki rozwój technologii obrazowania, opartych na wszelkiego rodzaju promieniowaniu, pozwala na wizualizację dowolnych obiektów znajdujących się w przestrzeni, pod warunkiem prawidłowego doboru technologii obserwacji. Intuicyjnie częściej wykorzystuje się promieniowanie świetlne, wszędzie tam gdzie jest to możliwe, gdyż obrazowanie tego typu jest dla człowieka procesem naturalnym. Powoduje to dużą rozbieżność pomiędzy postępowaniem w rozwoju technologii teledetekcyjnych a rozwojem metod i technik służących do wizualizacji w ośrodkach niesprzyjających rozchodzeniu się fali świetlnej, jak na przykład w wodzie. Przy małej przezroczystości akustyczne metody wizualizacji dają znacząco lepsze rezultaty. Techniki akustyczne są szeroko stosowane w badaniach batymetrii i czystości dna akwenów, od wykorzystania echosond jedno- i wielowiązkowych, systemów interferometrycznych jak i sonarów bocznych czy stacjonarnych. Jednak podwodne inspekcje budowli hydrotechnicznych nadal są wykonywane głównie przez specjalistyczne grupy nurków dokonujących bezpośrednich oględzin obiektów (Stromberg, 2011; Bayliss, Short, Bax, 2003). Wykonywanie prac nurkowych jest często bardzo niebezpieczne, szczególnie w niesprzyjających warunkach, jakimi są: duże głębokości, szybkie prądy wodne, ograniczona widoczność związana z dużym zanieczyszczeniem oraz nieprzewidywalne elementy pływające i osuwiska (Abbott, Atherton, 2006). Pracę nurków częściowo można zastąpić zastosowaniem robotów podwodnych (ROV) (Society for Underwater Technology, 2007), jednak koszty prowadzenia takich operacji są znacznie wyższe. Całkowite wykonanie inspekcji za pomocą ROV stosuje się praktycznie wyłącznie w pracach na dużych głębokościach.

Z punktu widzenia legislacyjnego w Polsce (Rozporządzenie, 2006) okresowe inspekcje budowli morskich, w których należy przeprowadzić kontrolę zarówno jej części nadwodnej jak i podwodnej, muszą odbywać się co najmniej co 5 lat. Biorąc pod uwagę okres trwania budowli dla nabrzeża portowego (określony ustawą na 60, maksymalnie 100 lat) oraz liczbę takich budowli na terenie kraju, należy stwierdzić, że zakres prac jest olbrzymi, a liczba wykwalifikowanych specjalistów ograniczona. Według obowiązującej ustawy każdą kontrolę okresową należy poprzedzić: pomiarami geodezyjnymi przemieszczeń pionowych i poziomych elementów konstrukcyjnych, sporządzeniem planów batymetrycznych, atestów badania podwodnego i badaniem czystości dna. Oznacza to wykonanie pomiarów hydrograficznych z wykorzystaniem sprzętu sonarowego przed każdą tego typu inspekcją. Wykorzystanie go przy wykonaniu już właściwych oględzin i pomiarów ścian badanej konstrukcji oraz kontroli wykonywanych ewentualnie napraw wydaje się jak najbardziej wskazane. Dlatego, w ostatnich latach, firmy produkujące urządzenia hydroakustyczne podjęły się dostosowania swoich produktów dla potrzeb obrazowania i pomiarów podwodnych struktur pionowych (Stromberg, 2011; Abbott, Atherton, 2006). Zauważono, iż połączenie technik sonarowych z pomiarami tradycyjnymi pozwala na otrzymanie całościowej analizy obrazowanego obiektu. Pozwala to na określenie zmian, uszkodzeń, bezpośrednich ich przyczyn oraz ewentualne prognozowanie dalszych zmian w konstrukcji kontrolowanej budowli hydrotechnicznej.

Wykorzystanie sonaru skanującego dla potrzeb inspekcji budowli morskich

Sonar skanujący o biegunowym przebiegu rejestracji jest technologicznie zaawansowanym urządzeniem do bezpośredniego obrazowania dna, które pozwala na reprezentowanie szczegółowego ukształtowania powierzchni bez zniekształceń sygnału typowych dla tradycyjnego sonaru bocznego. Wysokoczęstotliwościowy przetwornik pracuje w sposób obrotowy w zawieszeniu, na specjalnie przystosowanym wysięgniku, pozwalającym na obrót głowicy prostopadle w kierunku skanowanej powierzchni, nawet jeśli jest ona pionowa (rys. 1). Sonar, obracając się powoli o pewien na stałe określony kąt, wysyła wiązki fal akustycznych i odbiera odbite echo. Oprogramowanie sonaru pozwala na regulację zakresu, wzmocnienia i szybkości obrotu (rozumianej jako skok wiązki o określony kąt) w kierunku zgodnym z kierunkiem ruchu wskazówek zegara lub przeciwnym (Kongsberg, 2008).

Ze względu na biegunowy przebieg rejestracji, każde echo odbitej wiązki sonarowej jest reprezentowane jako pewien bardzo wąski wycinek koła lub jako linia z interpolowaną informacją pomiędzy sąsiadującymi liniami (Ratuszniak, Pałczyński, 2010). Ponadto, stacjonarny tryb pracy gwarantuje, że każda linia sonarowa ma początek w tym samym miejscu i wszystkie mają tę samą długość – w rezultacie tworzony jest obraz kołowy. Pozycja obrazu jako całości jest bezpośrednio zależna od położenia przetwornika, jednak ze względu na nieruchomość głowicy podczas procesu skanowania, ewentualna nieznanomość jego pozycji nie ma wpływu na późniejszą reprezentację obrazu (Duda, Ratuszniak, 2010). Dzięki wysokoczęstotliwościowemu przetwornikowi i możliwości skrócenia zasięgu wiązki nawet do pięciu metrów, sonar skanujący (w zależności od ustawionego zasięgu) umożliwia mapowanie obiektów rzędu kilku centymetrów (rys. 2).

Stacjonarny sonar skanujący, pracujący w wariancie inspekcji struktur pionowych, pozwala zatem na rejestrację wysokorozdzielczych obrazów stanu nabrzeży, tam, jazów, pod-

pór mostów i innych budowli hydrotechnicznych. Technika przeprowadzania pomiarów polega głównie na równomiernym przemieszczaniu sonaru wzdłuż skanowanej ściany, bez zmiany ustawionego zasięgu pracy sonaru i wykonywaniu kolejnych skanów o pełnych przebiegach wiązki. Obrazy sonaru skanującego mogą być wykorzystywane do wielu celów przed, po i w trakcie trwania prac nurkowych, w tym do: 1) wykrywania i identyfikacji miejsc podmycia nabrzeża, 2) wykrywania i identyfikacji elementów konstrukcji ścian narażonych na erozję, 3) określenia nagromadzenia zanieczyszczeń, 4) wykrywania problemów strukturalnych budowli.

Fotorealistyczna wizualizacja nabrzeży portu

Badania nad precyzyjnym obrazowaniem podwodnym prowadzone są na Akademii Morskiej w Szczecinie w ramach projektu badawczo-rozwojowego „Geoinformatyczny system zabezpieczenia działań operacyjnych związanych z ochroną portów od strony morza”. W końcowej fazie projektu system ten zostanie wdrożony na części obszaru Zespołu Portów Szczecin-Świnoujście. Jednym z modułów systemu jest precyzyjna elektroniczna mapa dwu- i trzywymiarowa. Obejmować ona będzie wizualizację części nadwodnej i podwodnej wyznaczonego obszaru. Dwa podstawowe komponenty mapy 3D to: numeryczny model terenu (NMT) i numeryczny model pokrycia terenu (NMPT) oraz ich odpowiedniki batymetryczne. NMT stanowić będzie powierzchnię odniesienia do wszystkich obiektów, które się na nim znajdują. W zakresie wizualizacji zostaną uwzględnione różne poziomy szczegółowości modelowanych obiektów – od modeli uproszczonych do fotorealistycznych.

Wizualizacja pionowych ścian nabrzeży jest ostatnim etapem opracowania danych części podwodnej. Jednym z założeń jest zbudowanie możliwie dokładnej mapy powierzchni dna akwenu oraz przedstawienie tekstur z przeskanowanych nabrzeży na modelach przestrzennych. Wcześniej przeprowadzono wysokogęstościowe pomiary batymetryczne oraz sonarowy skan boczny dna akwenów portowych. Po utworzeniu modelu przestrzennego, sonarowe obrazy pionowych ścian nabrzeży będą stanowiły podstawę końcowego procesu teksturowania.

Pomiary i wizualizacja

Obrazy podwodnych ścian nabrzeży uzyskano z sonaru skanującego zainstalowanego w pozycji poziomej, w którym przetwornik skierowany był w kierunku skanowanego obiektu. Celem uzyskania obrazu o wysokiej rozdzielczości zastosowano ustawienia: częstotliwości 675 kHz i obrotu głowicy o 0,225 stopnia/krok. Badania przeprowadzono na obszarze testowym Portu Szczecin.

Przy wykonywaniu badań zwrócono uwagę na następujące fakty:

1. Pojedynczy obraz składa się elementów, głównymi elementami są (rys. 3): 1) punkt umiejscowienia głowicy, 2) obszar martwy, 3) obraz właściwy, 4) obraz odbity. Obszar martwy jest to obszar wynikający z kątowej właściwości wiązki akustycznej. Obraz odbity jest to fałszywe odbicie od ośrodka wodnego.

2. Pierwszym etapem pomiarów jest wyznaczenie takich punktów umieszczenia sonaru (skanowań), żeby uzyskać 100% pokrycie skanowanej ściany budowli hydrotechnicznej. Do tego celu zastosowano sprzęt GPS/RTK w systemie ASG-EUPOS.

3. Dobór zasięgu działania sonaru oraz wzmocnienia sygnału akustycznego, jest elementem wpływającym na potencjał interpretacyjny obrazu oraz na szczegółowość obrazu. Obra-

zy zapisane na mniejszym zasięgu pracy urządzenia wykazują mniejszą rozdzielczość. Wybranie ustawień mniejszego wzmocnienia może wykazać utratę szczegółowości ważnych elementów na skanowanym obszarze.

4. Kolejne punkty skanowania ściany nabrzeża, muszą być tak dobrane, aby wyeliminować: 1) obszary martwe, które są nieodzownym elementem powstawania obrazu sonaru skanującego i wynikają z odległości głowicy od pionowej struktury nabrzeża, 2) geometryczne zniekształcenia odśrodkowe.

5. Graficzne składanie obrazów sonarowych (tzw. mozaikowanie) odbywa się w programach obróbki graficznej. Metoda pierwsza, polega na dopasowaniu obrazu dzięki wykorzystaniu wyróżniających się elementów budowy ściany nabrzeża. Druga metoda, opiera się na porównaniu budowy dna przy skanowanej budowli, aby zachować ciągłość obrazu.

W badaniach:

- wyznaczono współrzędne punktów umieszczenia sonaru z zastosowaniem sprzętu GPS/RTK w systemie ASG-EUPOS,
- wykonano obrazy na trzech zakresach zasięgu działania – 5, 7,5 i 10 m,
- w dalszej obróbce wykorzystano jako reprezentacyjne dane z zasięgu 5 m,
- z pięciu obrazów sonarowych wygenerowano mozaikę ściany nabrzeża (rys. 4) wykonując kolejno: 1) wstępną edycję obrazów związaną z wycięciem echa odbitego (obraz fałszywy), 2) doprowadzenie linii wody do poziomu (w większości poprawka w granicach 0,5-1,5°), 3) dopasowanie obrazów przy użyciu dwóch metod dopasowania.

Końcowym wynikiem prac jest mozaika z zeskanowanymi elementami nabrzeża z obu stron (rys. 4), która daje dokładny pogląd na konstrukcję nabrzeża i elementów otaczających.

Podsumowanie

Sonar skanujący w sposób łatwy i precyzyjny wizualizuje ściany nabrzeży, przed i w czasie wykonywania operacji nurkowych, dla prowadzenia inspekcji budowli hydrotechnicznych. Użycie tej technologii pozwala także na zabezpieczenia przed zagrożeniami wpływającymi na pracę osoby znajdującej się pod wodą w trakcie kontroli lub naprawy konstrukcji. Ze względu na ściśle określoną celowość pomiaru, dużą rozdzielczość obrazu i charakter wizualizacji zbliżony do obrazowania fotograficznego – interpretacja danych sonarowych nie musi stanowić dużego wyzwania. Oznacza to duże ułatwienie dla osób odpowiedzialnych za przeprowadzanie inspekcji nabrzeży.

Pozyskane dane sonarowe posłużą do przygotowania tekstur do pokrycia podwodnej części trójwymiarowego modelu portu, w zakresie określonym w założeniach projektu. Ponadto zinterpretowane obrazy będą podstawą do zaplanowania remontów poszczególnych nabrzeży lub tymczasowego wyłączenia z eksploatacji ich fragmentów.

Prezentowane w artykule badania stanowią wstęp do opracowania metody automatycznego mozaikowania obrazów sonarowych z wykorzystaniem tradycyjnych algorytmów przetwarzania obrazów. Pozwoliłoby to na znaczne skrócenie procesu generowania tekstur.

Literatura

- Abbott B., Atherton M., 2006: Underwater Visions: Safer Foundation Inspections, Bridge Design & Engineering, vol. 45.
- Bayliss M., Short D., Bax M., 2003: Underwater Inspection, Spon Press, London.

- Duda J., Ratuszniak N., 2010: Wpływ biegunowego procesu rejestracji na interpretację obrazów z sonaru skanującego, Mapy i zobrazowania powierzchni, Polski Internetowy Informator Geodezyjny, Gdańsk.
- Kongsberg Mesotech Ltd., 2008: MS 1000 operational manual.
- Ratuszniak N., Pałczyński M., 2010: Method of Visualization for Scanning Sonar Image, *Pomiary Automatyka Kontrolna* vol.56 nr 12/2010.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej z dnia 23 października 2006r. w sprawie warunków technicznych użytkowania oraz szczegółowego zakresu kontroli morskich budowli hydrotechnicznych, Dz.U. 2006, Nr 206, poz. 1516.
- Society for Underwater Technology, 2007: Advances in underwater inspection and maintenance, Springer-Verlag GmbH, ISBN 978-18-533330-4-0,
- Stromberg D., 2011: New advances in underwater inspection technologies for railway bridges over water, *Railway Track and Structures*, vol. 107.

Abstract

Underwater visualization of hydro-technical constructions is conducted by means of imaging technology appropriate for the character of water environment, in which the objects are situated. Port areas are characterized by high water pollution. With low limpidity acoustic methods of visualization are giving significantly better results because of better sound waves propagation in aquatic environment. Inspection of underwater parts of the wharf is an essential procedure for operational quays. Their regular performance guarantees safety of moored vessels and port operating crews. Nowadays, inspections are carried out by specialized divers, but due to poor visibility they are able neither to precisely evaluate the size of damages nor to determine the repairs needed.

Stand-alone rotary sonar working in a horizontal mode for scanning side walls allows to register high resolution images of the condition of piers, wharfs, dams, weirs and pillars. The measurement technique is based mainly on even distribution of sonar scans along the scanned wall without any changes in sonar beam range. Setting the gaps between each image registration, blind sectors need to be taken into account, which should be eliminated by applying appropriate coverage. High frequency of acoustic beam allows obtaining images of a few centimeter spatial resolution depending on the sonar beam range.

An R&D project „GIS solution for operational actions related to marine port security” realized by a research team of the Maritime University of Szczecin intends to establish a system based on precise land and underwater geospatial data in the designated port area. In order to regularly obtain data to the 2 and 3D system map modules acquisition, processing and mosaicking of sonar data technologies were developed to allow the visualization of quays.

Using high-frequency scanning sonar MS1000 three registration series were performed along the quays of Port Szczecin-Swinoujście. The sonar was moved along the shoreline every 10 meters using a beam scanning range of 15 meters which ensured full coverage of the surface of the wharf walls. The positions of images were determined by measuring the GPS-RTK corrections using ASG-EUPOS. The images were processed into a mosaic on standard publishing software.

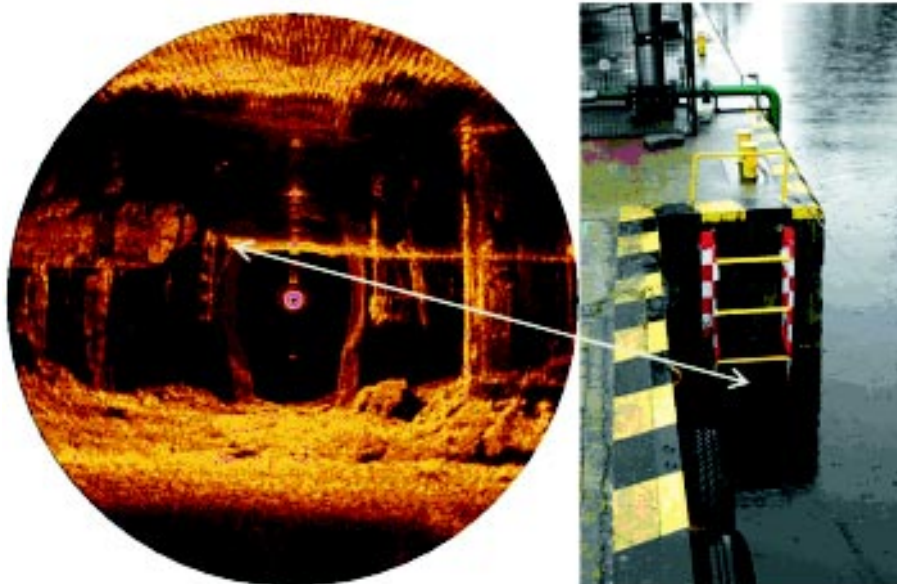
The acquired data will be used to prepare the textures to cover a three-dimensional model of the underwater part of the port within the area specified by the objectives of the project. In addition, the images will become a base for scheduling repairs of particular piers or temporal withdrawal of their fragments from operation. The process of manual mosaicking sonar images could be automated in the future, for example, based on the method of matching markers. This would significantly shorten the process of generating textures.

mgr inż. Natalia Wawrzyniak
nwawrzyniak@wi.zut.edu.pl
tel 506 136 242

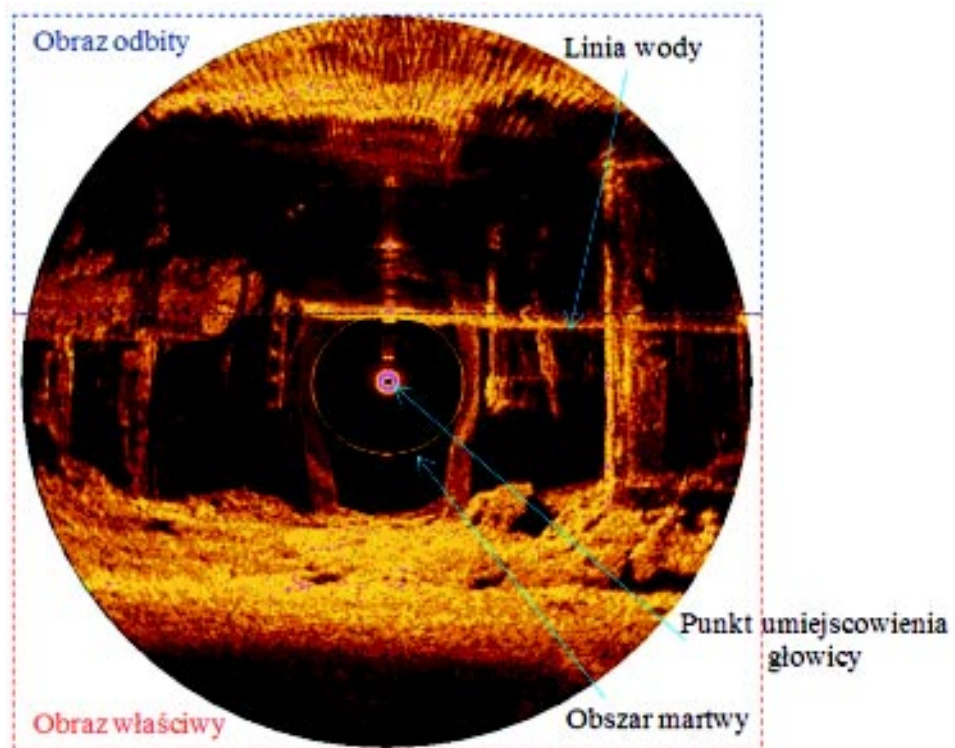
mgr inż. Grzegorz Zaniewicz
g.zaniewicz@am.szczecin.pl
tel 506 224 434



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe sonaru skanującego MS 1000 (opracowanie własne)



Rys. 2. Część podwodna i nadwodna drabinki portowej. Na obrazie sonarowym widoczne poszczególne stopnie drabinki (opracowanie własne)



Rys. 3. Główne elementy obrazu skanującego w wariantcie pracy inspekcji nabrzeży (opracowanie własne)



Rys. 4. Mozaika sonarowa ściany nabrzeża połączona ze zdjęciem od strony wody (opracowanie własne)