

**ANALIZA DOBORU PARAMETRÓW REJESTRACJI
OBRAZÓW SONARU MS1000 NA POTRZEBY
AUTOMATYCZNEJ DETEKCCI OBIEKTU RUCHOMEGO**

**ANALYSIS OF THE SELECTION OF MS1000 SONAR
IMAGE REGISTRATION PARAMETERS
FOR THE PURPOSE OF AUTOMATIC DETECTION
OF MOVING OBJECTS**

Natalia Wawrzyniak, Grzegorz Zaniewicz

Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Katedra Geoinformatyki

Słowa kluczowe: sonar skanujący, ROV, śledzenie, nawigacja podwodna
Keywords: scanning sonar, ROV, tracking, underwater navigation

Wstęp

Szybkość działania, łatwość obsługi i szczegółowość obrazowania powodują, że nowa generacja wysokoczęstotliwościowych sonarów skanujących umacnia swoją wiodącą pozycję wśród dostępnych technologii wizualizacji podwodnej. Sonary typu MSIS (ang. *Mechanically Scan Imaging Sonars*) są powszechnie używane do prowadzenia inspekcji nabrzeży (Wawrzyniak, Zaniewicz, 2011), instalacji i budowli hydrotechnicznych (Society for Underwater Technology, 2007) czy badania czystości dna. Rozpoznawanie obiektów i omijanie przeszkód podwodnych są głównymi celami zastosowania tego rozwiązania w zdalnej nawigacji robotów podwodnych ROV (ang. *Remotely Operated Vehicle*). Sonary te służą także jako narzędzie nadzoru pracy w trakcie wykonywania różnego rodzaju napraw podwodnych na ograniczonych obszarach (Donghwa i in., 2012). Dane sonarowe w postaci obrazów cyfrowych są głównie wykorzystywane przez operatorów w czasie rzeczywistego sondażu z użyciem dedykowanego oprogramowania wizualizacyjnego udostępnianego przez producenta konkretnego urządzenia (MS1000, Imagenex).

Specyfikę obrazowania tego typu sonarów, szczególnie w stacjonarnym wariancie pracy, wielokrotnie opisywano w literaturze (Ratuszniak, Pałczyński, 2010) głównie w kontekście szczególności otrzymywanego obrazu wynikowego. Pomimo biegunowego sposobu rejestracji poszczególnych wiązek akustycznych, ostateczny obraz cyfrowy przedstawia się zwyczajowo w układzie prostokątnym (kartezjańskim), ze względu na wygodniejszy dla

człowieka, bardziej naturalny sposób interpretacji takich danych. Otrzymane obrazy przypominają monochromatyczną fotografię pomimo wykorzystania w miejsce zwyczajowo odebranej energii świetlnej – energii fali dźwiękowej. Uzyskane poziomy jasności reprezentują echo odbite od poszczególnych fragmentów dna. Dodatkowo, taki sposób wizualizacji informacji sonarowej w czasie rzeczywistym umożliwia szybką reakcję operatora na zmiany sytuacji podwodnej, pozwalając na dopasowywanie parametrów rejestracji w czasie rzeczywistym.

Ze względu na swoje najczęstsze zastosowanie sonary skanujące wyposaża się w oprogramowanie służące także do śledzenia ruchomych obiektów podwodnych znajdujących się w zasięgu skanującej wiązki akustycznej. Przez ostatnie kilkanaście lat rozwinięto wiele metod głównie opartych o filtry działające zarówno w domenie czasu, jak i częstotliwości (Chantler i inni, 1996). Pozwalają one na śledzenie nawet kilku obiektów jednocześnie (Lane i inni, 1998). Podobnie jak w przypadku śledzenia radarowego wykorzystuje się do tego celu głównie modyfikacje filtru Kalmana (Xie i inni, 2012). Jednak głównym problemem w obrazach sonarowych jest wyodrębnienie i wskazanieżądanego obiektu, który ma być poddany śledzeniu. Związane jest to z wysokim poziomem szumów i słabym kontrastem, którymi to cechami charakteryzują się wszystkie obrazowania sonarowe. Dlatego zaimplementowane oprogramowanie produkcyjne, które umożliwia automatyczne śledzenie obiektów, nie zapewnia jego pierwszego namierzenia w sposób automatyczny. Operator sonaru musi samodzielnie wskazać obiekt, który podejrzewa o bycie tym właściwym, a oprogramowanie zapewni dalszą jego obserwację.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań nad doбором takich parametrów rejestracji obrazu sonarowego, aby możliwe było automatyczne wykrycie obiektu za pomocą powszechnie znanych metod automatycznej detekcji, bazujących na algorytmach przetwarzania obrazów. Badania testowe przeprowadzono w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem sonaru MS1000 oraz zdalnie sterowanego robota VideoRay Explorer.

Podwodna nawigacja ROV z wykorzystaniem sonarów skanujących

Przez ostatnie dekady zdalnie sterowane pojazdy głębinowe ROV odgrywają dużą rolę w zastosowaniach w przemyśle konstrukcji morskich i przybrzeżnych. W początkowej fazie rozwoju, ROV miały pełnić funkcję obserwacyjną. Wyposażone w kamerę przesyłały obraz na powierzchnię, gdzie nadzorowano pracę wykonywaną pod powierzchnią wody. Obecnie, oprócz systemów telewizji podwodnej, na wyposażeniu pojazdu znajduje się wiele urządzeń wspomagających pracę, m.in.: manipulatory, sensory do badań chemicznych, sonary, echo-sondy.

Zdalnie sterowany pojazd, posiada możliwość sterowania jego pracą z powierzchni. System ROV składa się z trzech głównych części: 1) konstrukcji robota, 2) konsoli sterowania umieszczonej na powierzchni, 3) kabla łączącego te dwie części.

Jedną z klasyfikacji pojazdów ROV tworzy podział ze względu na wielkość konstrukcji robota. Mniejsze konstrukcje mają ograniczony zasięg głębokości i ograniczoną możliwość montażu dodatkowych sensorów. Największe konstrukcje potrafią pracować na głębokości powyżej 3000 m, a montaż dodatkowych sensorów ograniczony jest tylko przez wyobraźnię operatora.

Zastosowanie ROV ma miejsce tam, gdzie istnieje możliwość wyeliminowania bezpośredniej pracy człowieka przy pracach podwodnych. Jest to związane z bezpieczeństwem i warunkami panującymi pod wodą (Lekkerkerk, Theijs, 2011).

W pracy z ROV problemem jest podwodna nawigacja, tj. określanie pozycji robota pod wodą. Istnieją systemy sonarowego pozycjonowania LBL, SBL i USBL (*Long BaseLine, Short BaseLine, Ultrashort BaseLine*) wedle linii bazowej tworzonej przez wiele stacji przekątnikowych zakotwiczonych na dnie. Istnieją systemy z umieszczonymi SBL i USBL na powierzchni wody (Lekkerkerk, Theijs, 2011). Pozwalają one na szczegółowe pozycjonowanie pojazdów tam, gdzie jest to niezbędne, przykładowo: naprawa transoceanicznej sieci przesyłowej, nadzór nad infrastrukturą platform wiertniczych itp. Jednak są to systemy drogie, cena każdego z nich jest nieporównywalnie wysoka w stosunku do ceny małego robota. Dlatego w oprogramowaniu wielu sonarów MSIS zaimplementowano możliwość śledzenia obiektów na podstawie uzyskiwanej informacji obrazowej, co pozwala na wspomaganie pracy robotów głównie w pracach przybrzeżnych, jak i akcjach poszukiwawczych. Znając pozycję głowicy stacjonarnego sonaru MSIS oraz kierunek położenia generowanego obrazu względem północy można określić pozycję robota widocznego na obrazie. Zastosowane w oprogramowaniu sonaru algorytmy śledzenia i namierzania umożliwiają automatyczne dostosowywanie parametrów skanowania oraz wskazywanie na bieżąco pozycji przemieszczającego się obiektu.

Wpływ parametrów rejestracji na obraz sonarowy

Obrazy wysokoczęstotliwościowych sonarów MSIS charakteryzuje z jednej strony mała głębokość bitowa (liczba bitów przeznaczonych na zapis wartości piksela), a z drugiej możliwość uzyskania wysokiej rozdzielczości obrazu (Duda, Ratuszniak, 2010). Przy odpowiednim doborze wielu współczynników w trakcie trwania sondażu, możliwe jest bardzo szczegółowe odwzorowanie na obrazie sytuacji podwodnej. Spośród najważniejszych parametrów rejestracji w sonarach skanujących należy wymienić: częstotliwość, wzmocnienie, zasięgowe wzmocnienie zależne od czasu (ang. *Time Varried Gain*), zasięg działania sonaru oraz długość impulsu. Ponieważ dane zapisywane sonarem skanującym zapisuje się tylko raz, należy dużą uwagę zwrócić na dobór parametrów.

Częstotliwość. Większa częstotliwość, oznacza krótszą długość fali i daje lepsze odwzorowanie dna. Sonar o wyższej częstotliwości, daje więcej detali niż ten o częstotliwości niższej. Relacja pomiędzy nimi nie jest bezpośrednią proporcją, więc kontrast pomiędzy dwoma typami materiałów może być zależny od wybranej częstotliwości. Prowadzić może to do trudności w ustawieniu sonaru, gdy podczas pomiarów, przechodzi się z jednego typu materiału budowy dna na drugi. W tym przypadku obraz zapisywany, zaakceptowany przez operatora, zmienia się na zbyt ciemny lub zbyt jasny.

Wzmocnienie także ma wpływ na jakość obrazu sonarowego oraz na elementy, które operator chce zinterpretować. Nastawa ta wzmacnia echa sygnału powrotnego. W praktyce, powinno się tak regulować wzmocnieniem, aby nie wywoływać zbędnych szumów, mogących pogorszyć jakość obrazu.

Zasięgowe wzmocnienie – ta regulacja wzmocnienia ma za zadanie eliminowanie efektu strat energii wiązki akustycznej wraz ze wzrostem odległości. Zastosowanie tego parametru widoczne jest na obrazie sonarowym w postaci wyrównanej jasności ech leżących w bliższej i w dalszej odległości od sonaru.

Długość impulsu ma istotny wpływ na rozróżnialność odległościową. Krótszy impuls wpływa na lepszą rozdzielczość. Dłuższe impulsy są z kolei bardziej odporne na szum hałas, i tłumienie środowiska. Wpływa to na zwiększenie skutecznego zasięgu działania (Mazel, 1985). Teoretyczna minimalna zdolność rozdzielcza sonaru wynosi połowę długości impulsu.

Prędkość skanowania jest to wartość pojedynczego skoku (kąta) silnika krokowego głowicy sonaru. Generalnie, im mniejszy kąt skoku obrotu, tym mniejsza utrata informacji z pomiędzy wiązek sonarowych.

W trakcie skanowania operator sonaru może zmieniać ww. parametry. Podczas zapisu danych do pliku, wraz z każdą pojedynczą linią sonarową zostają zapisane także parametry (tab. 1).

Tabela 1. Pola źródłowego pliku sonarowego przechowujące wartości poszczególnych parametrów dla każdej zarejestrowanej linii sonarowej (Kongsberg Mesotech, 2008b)

Kategoria kontenera	Nazwa kontenera	Nazwa pola	Przeznaczenie pola
SONAR TUPLE	HC_OPERATION_INFO	AutoTvg	określa czy włączono korekcję TVG
SONAR TUPLE	HC_OPERATION_INFO	SectorHeading	wartość kierunku z namiaru w stopniach
SONAR TUPLE	HC_OPERATION_INFO	SectorWidth	szerokość sektora
SONAR TUPLE	HC_OPERATION_INFO	Range	zasięg wiązki
SONAR TUPLE	HC_OPERATION_INFO	StepSize	kąt obrotu
SONAR TUPLE	HC_OPERATION_INFO	Gain	wzmocnienie
SONAR TUPLE	HC_OPERATION_INFO	TvgType	rodzaj wzmocnienia TVG
SONAR TUPLE	HC_OPERATION_INFO	TvgAFactor	współczynnik TVG

Z punktu widzenia późniejszego przetwarzania obrazu ważne jest takie dobranie wszystkich współczynników, aby maksymalnie wyodrębnić śledzony obiekt przy jednoczesnej redukcji szumu. Duże znaczenie ma wielkość śledzonego obiektu, gdyż wraz z oddalaniem się obiektu od głowicy należy zwiększać zasięg wiązki, co przy jednakowej liczbie pikseli przeznaczonych na każdą linię sonarową bez względu na jej zasięg przestrzenny, ma bezpośredni wpływ na zdolność rozdzielczą obrazu.

Procedura badawcza, dobór parametrów i pomiary testowe

Dla weryfikacji analizy doboru parametrów śledzenia obiektu ruchomego, wykorzystano sonar skanujący Kongsberg Mesotech MS1000 oraz zdalnie sterowany pojazd podwodny VideoRay Explorer. (rys.1). Niewielkich rozmiarów (30,5 x 22,5 x 21 cm) ROV zaliczany jest do klasy pojazdów ekonomicznych. Wyposażony w trzy pędniki, dwa poziome i jeden pionowy, jest w stanie poruszać się w toni wodnej, w zakresie długości kabla sygnałowego do głębokości 76 m. Do wizualizacji sytuacji podwodnej wykorzystuje ruchomą kolorową kamerę oraz światła halogenowe. Sensorami wspomagającymi nawigację są kompas magnetyczny i czujnik głębokości.

Sonar skanujący MS1000 w wersji stacjonarnej składa się z głowicy zainstalowanej na trójnogu opuszczanym na dno akwenu (rys. 2), kabla sygnałowego oraz interfejsu sterującego podłączonego do komputera PC. Częstotliwość pracy 675 kHz oraz dobre parametry

kątowe wiązki $30^\circ \times 0,9^\circ$, klasyfikują ten sonar do urządzeń wysokorozdzielczych. Zapis sonaru odbywać się może przy zmiennych parametrach sektora, zasięgu, szybkości obrotu głowicy oraz parametrów obróbki sygnału wiązki akustycznej.

Testy odbywały się przy nabrzeżu Portu Szczecin. Do wody opuszczono sonar i w jego zasięgu kierowano robotem podwodnym. Sterowanie i zapis danych odbywały się z powierzchni, na stanowisku pomiarowym. W trakcie testów zmieniano parametry skanowania takie jak: wzmocnienie sygnału, zasięg wiązki sonarowej, korekcja TVG i prędkość skanowania. Każdy test poprzedzono procedurą wymaganą do automatycznego śledzenia pojazdu ROV obejmującą:

- wykonanie pełnego skanu okrężnego (360 stopni),
- ograniczenie obszaru przeszukania do zadanego sektora,
- wskazanie pojazdu,
- rozpoczęcie śledzenia.

Założono, iż każdy zestaw ustawień parametrów, który nie pozwoli na automatyczne śledzenie zostanie z góry odrzucony. W sumie wykonano ponad 70 testów, z czego 38 umożliwiło prawidłowe śledzenie obiektu. Celem testów było uzyskanie jak najlepszego obrazu obiektu możliwego do późniejszego automatycznego wyodrębnienia. W przypadku nieudanego śledzenia, pomimo dobrego wyodrębnienia celu, test odrzucano, a ustawienia parametrów wejściowych zmieniano. Według wytycznych producenta sonaru i oprogramowania, pomyślność procesu śledzenia celu zależna jest od spełnienia następujących wymagań (Kongsberg Mesotech, 2008a):

- cel musi być dobrze określony i wyizolowany od innych celów, od dna i od szumu tła,
- prędkość celu w stosunku do sonaru nie może przekraczać 2 węzłów,
- mniejsze cele wymagają mniejszych szybkości skanowania.

Ze względu na niewielkie wymiary robota szybkość skanowania ograniczono do kąta obrotu 0,225 i 0,45 stopnia, a wszystkie testy powtarzano dla obu prędkości. Z tego samego powodu zasięg wiązki ograniczono do maksymalnie 20 metrów. Testy przeprowadzono na tym samym obszarze akwenu w dwóch etapach. Początkowo, celem empirycznego doboru zestawu parametrów pozwalających wyodrębnić robota jako podwodny cel śledzenia, śledzono ROV na obszarze względnie jednorodnym, bez wyraźnie zaznaczonych innych obiektów (rys. 3).

Scenariusze testowe zakładały m.in.:

- wyznaczenie tras poruszania się robota w różnej odległości od głowicy sonaru,
- zmianę głębokości zanurzenia,
- poruszanie się wyłącznie w zakresie wyznaczonego sektora,
- przecięcia wyznaczonego sektora przeszukania,
- ustanowienia początku trasy w sąsiedztwie głowicy sonaru,
- ustanowienie początku trasy w pobliżu głowicy sonaru ze stopniowym oddalaniem się robota poza zasięg.

Badania i weryfikacja wyników

Drugą część testów przeprowadzono dla zestawów parametrów (określone wzmocnienie sygnału, wzmocnienie TVG, szybkość skanowania, zasięg wiązki), które dawały najlepsze rezultaty. Na tym samym obszarze umieszczono dodatkowo obiekty, który w rzeczywi-

stej sytuacji byłyby przedmiotami zainteresowania i obserwacji dokonywanej za pomocą robota ROV. Dla poszczególnych zestawów przeprowadzono śledzenie robota w trakcie obserwacji celu (rys. 4).

W środowisku Matlab stworzono skrypt, który z zarejestrowanych danych sonarowych poszczególnych testów wczytywał parametry opisane w tabeli 1 oraz wartości uzyskanego echa sonarowego w postaci linii pikseli. W wyniku pracy skryptu nastąpiło przekształcenie do postaci serii obrazów w układzie kartezjańskim za pomocą metody wizualizacji *cellfill* (Ratuszniak, Pałczyński, 2010), czyli metody wykorzystywanej w oprogramowaniu producenta. W drugim etapie, zastosowano proste algorytmy przetwarzania obrazów, takie jak: filtrację dolnoprzepustową, progowanie oraz odjęcie obrazów celem usunięcia z macierzy obrazu elementów nieruchomych (niezmiennego tła). Jeżeli pośród pozostałych elementów obrazu wyodrębniono zwartą grupę pikseli, były one traktowane jako cel śledzenia. W takim wypadku zestaw parametrów wczytany z pliku sonarowego traktowano jako zestaw spełniający warunki umożliwiające automatyczne wykrywanie obiektu i późniejsze jego śledzenie. Wszystkie wartości zmiennych parametrów dla przeprowadzonych testów mieściły się w granicach określonych w tabeli 2.

Tabela 2. Zakres wartości parametrów przy których testy zakończono powodzeniem

Nazwa parametru	Minimalna akceptowalna wartość parametru	Maksymalna akceptowalna wartość parametru
Wzmocnienie TVG	Brak wzmocnienia	20 log
Wzmocnienie sygnału	17%	35%
Prędkość skanowania (kął obrotu)	0,225°	0,45°
Zasięg wiązki	7,5 m	20 m

Najlepsze wyniki otrzymywano przy mniejszej prędkości skanowania 0,225° oraz zasięgu w granicach od 10m. Wynika to z liczby linii sonarowych przypadających na obiekt ruchomy oraz rozdzielczości poprzecznej wiązki. Większa szybkość obrotu głowicy pozwalała za to na szybsze generowanie kolejnych skanów, co w przypadku późniejszego śledzenia ma duże znaczenie praktyczne. Zastosowanie wzmocnienia TVG przy względnie krótkim zasięgu okazało się mało istotne w przypadku, gdy obiekt znajdował się blisko głowicy, natomiast znaczenie jego zastosowania wzrastało przy testach na większych odległościach. Niestety z powodu małych rozmiarów robota wszystkie testy na większych zasięgach kończyły się niepowodzeniem. Zwiększenie mocy sygnału okazało się bezcelowe powyżej 35% ze względu na uzyskanie zbyt dużego echa od podłoża, co utrudniało odcięcie tła przez zastosowanie progowania w trakcie późniejszego przetwarzania obrazu.

Podsumowanie

Wykorzystanie sonarów skanujących do nawigacji podwodnej pojazdów ROV jest coraz powszechniejsze. Praktycznie nie ma możliwości innego pozycjonowania tak małych jednostek w ekonomicznie uzasadniony sposób, jak zastosowanie pojazdu, wykorzystanego na potrzeby przeprowadzonych badań. Ze względu na małe rozmiary pojazdu konieczna jest

lepsza rozdzielczość obrazu, którą można uzyskać przez zwiększenie częstotliwości fali. Sonar MS1000 o częstotliwości pracy 675kHz umożliwia śledzenie jedynie na małych zasięgach wiązki, więc wykrywanie obiektu także musi się odbywać we względnie bliskiej odległości od głowicy. Do automatycznego wykrycia obiektu najistotniejszy jest parametr zasięgu. Aby móc bez przeszkód wyodrębnić obiekt z obrazu konieczne jest zastosowanie mocnego wzmocnienia, aż do momentu przesterowania echa odbitego od pojazdu. Na tym etapie badań skupiono się na śledzeniu małego obiektu ruchomego. Przypuszcza się, że obiekt większy, złożony z większej liczby pikseli na wynikowym obrazie sonarowym, będzie lepiej identyfikowany i docelowe śledzenie będzie efektywniejsze.

Literatura

- Chantler M.J., Lane D.M., Dai D., Williams N., 1996: Detection and tracking of returns in sector-scan sonar image sequences. *Radar, Sonar and Navigation* vol. 143, No. 3.
- Donghwa L., Gonyop K., Donghoon K., Hyun M., Hyun-Taek C., 2012: Vision-based object detection and tracking for autonomous navigation of underwater robots. *Ocean Engineering* vol. 48, July: 59-68.
- Duda J., Ratuszniak N., 2010: Wpływ biegunowego procesu rejestracji na interpretację obrazów z sonaru skanującego, Mapy i zobrazowania powierzchni. *Polski Internetowy Informator Geodezyjny*, Gdańsk. www.Geodezja.pl
- Kongsberg Mesotech Ltd., 2008a: MS1000 operational manual, Kanada.
- Kongsberg Mesotech Ltd., 2008b: SMB File Format, Kanada.
- Lane D.M., Chantler M.J., Dai D., 1998: Robust Tracking of Multiple Objects in Sector-Scan Sonar Image Sequences Using Optical Flow Motion Estimation, *IEEE Journal of Oceanic Engineering* vol. 23.
- Lekkerkerk H-J., Theijs M.J., 2011: Handbook of offshore surveying, Skilltrade.
- Mazel Ch., 1985: Side Scan Sonar Record Interpretation, Klein Associates Inc.
- Ratuszniak N., Pałczyński M., 2010: Method of Visualization for Scanning Sonar Image. *Pomiary Automatyka Kontrolna* vol. 56 nr 12.
- Society for Underwater Technology, 2007: Advances in underwater inspection and maintenance. Aberdeen: Springer-Verlag GmbH.
- Wawrzyniak N., Zaniewicz G., 2011: Wizualizacja ścian nabrzeży za pomocą obrazów sonaru skanującego na potrzeby geoinformatycznego systemu ochrony portu. *Roczniki Geomatyki* t. 9, z. 2(46), PTIP Warszawa.
- Xie S., Chen J., Luo J., Xie P., Tang W., 2012: Detection and Tracking of Underwater Object Based on Forward-Scan Sonar, 37506.

Abstract

Stationary high-frequency scanning MSISs (Mechanically Scanned Imaging Sonar) are mainly used to visualize previously known underwater structures and to aid ROVs (Remotely Operated Vehicle) and divers to navigate during underwater inspections and surveys. Their high frequency and ability to draw sonar beam in close to real-time mode allows to track objects situated in their scanning range. ROVs usually play an additional role in visual inspections of underwater structures and sought objects. Equipped with several propellers, ROVs are able to move in any direction specified by its operator. Steering is also supported by basic navigational sensors as compass and depth sensors. Additionally, thanks to an embedded video camera with LED lightning, real-time image can be instantly sent to controller's console on the shore.

The proposed approach allows automation of the process of first localization of the moving object (ROV) in the sonar image, provided that a proper selection of parameters for recording MSIS images is made. In the studies, several tests were conducted of the actual influence under real conditions of sonar signal gain factor, TVG correction and scan speed on the detection process. Different tracking

scenarios were run for selected settings. Testing algorithm for object localization was implemented in Matlab environment.

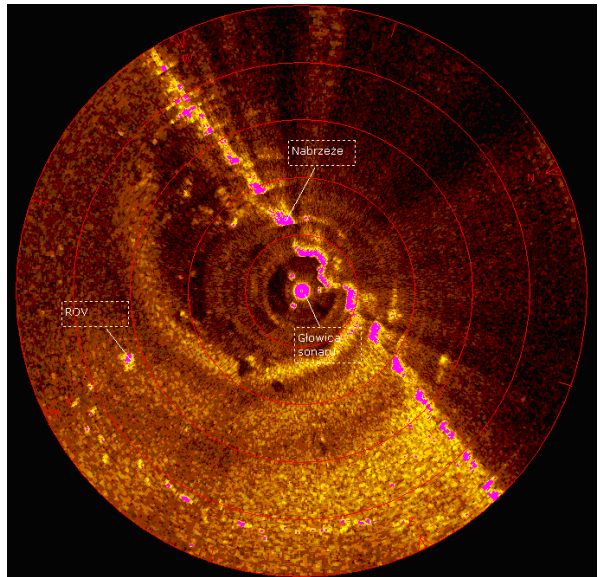
Proper selection of recording parameters facilitates separation of the moving object on sonar image. This improves the process of tracking and tracing the moving objects. The study used MS1000 scanning sonar and VideoRay underwater robot explorer to conduct all tests.

mgr inż. Natalia Wawrzyniak
n.wawrzyniak@am.szczecin.pl

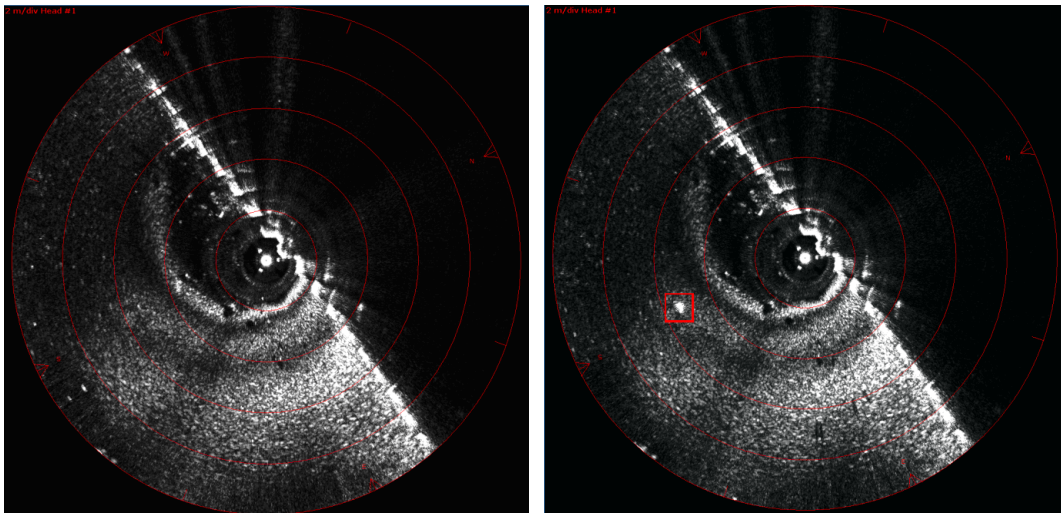
mgr inż. Grzegorz Zaniewicz
g.zaniewicz@am.szczecin.pl



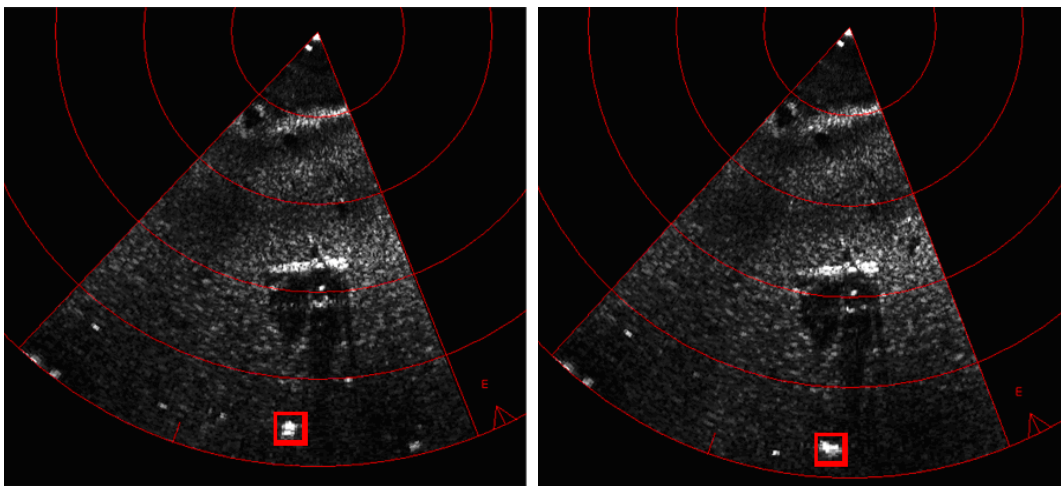
Rys. 1: a – Robot VideoRay Explorer, b – stanowisko testowe



Rys. 2: a – stanowisko testowe, b – przykładowy obraz sonarowy



Rys. 3: a – pełen zapis okrężny obszaru testowego, b – przykładowy obraz z widocznym obiektem (ROV) na tym samym obszarze



Rys. 4. Dwa kolejne obrazy wybranego testu z ROV (zaznaczony) i z dodatkowym celem obserwacji