

**MOBILNY ZESTAW RADAROWY
JAKO ŹRÓDŁO INFORMACJI PRZESTRZENNEJ
NA POTRZEBY MONITORINGU RUCHU
NA ŚRÓDLĄDOWYCH DROGACH WODNYCH**

MOBILE RADAR SET AS A SOURCE OF SPATIAL
INFORMATION FOR THE NEEDS
OF TRAFFIC MONITORING ON INLAND WATERWAYS

Witold Kazimierski

Katedra Geoinformatyki, Akademia Morska w Szczecinie

Słowa kluczowe: radar, drogi wodne, monitoring, dane przestrzenne
Keywords: radar, waterways, monitoring, spatial data

Wstęp

Śródlądowe drogi wodne to w myśl Prawa wodnego (Ustawa, 2001) śródlądowe wody powierzchniowe, na których, z uwagi na warunki hydrologiczne oraz istniejące urządzenia wodne, możliwy jest przewóz osób i towarów statkami żeglugi śródlądowej. W Polsce istnieje ponad 3000 km śródlądowych dróg wodnych, z tego zdecydowana większość ma znaczenie jedynie regionalne. Wyjątkiem jest rzeka Odra, na której żegluga śródlądowa wykonuje ok. 80% ogólnych przewozów, a jej dolny odcinek, połączony z niemiecką siecią dróg wodnych ma znaczenie międzynarodowe, stanowiąc zaplecze dla morskich portów Szczecin-Świnoujście i dając możliwość połączenia wodnego z Berlinem (Woś, 2005). Zgodnie z dyrektywą 2005/44/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie zharmonizowanych usług informacji rzecznej (RIS) na śródlądowych drogach wodnych we Wspólnocie (Dyrektywa, 2005), zwaną krótko dyrektywą RIS na wszystkich wodach międzynarodowych w Europie wprowadzono obowiązek wdrożenia systemu zharmonizowanych usług informacji rzecznej RIS (ang. *River Information Services*). W Polsce objęto nim obszar około 100 km drogi wodnej pomiędzy Ognicą i Szczecinem. Koncepcja RIS obejmuje wiele usług, w tym m.in. usługę informacji o torach wodnych, a także usługi śledzenia i namierzania statków. Usługa informacji o torach wodnych jest realizowana głównie poprzez wysokiej jakości śródlądowe elektroniczne mapy nawigacyjne (IENC). Usługi śledzenia i namierzania są zwykle realizowane za pomocą automatycznego systemu informacyjnego Inland AIS oraz ewen-

tualnie, brzegowych stacji radarowych i sieci monitoringu wizyjnego. W obu usługach pozyskiwane są informacje przestrzenne o infrastrukturze brzegowej oraz o pływających obiektach nawodnych. W artykule przedstawiono możliwość uzupełnienia tych informacji z wykorzystaniem danych pozyskanych z mobilnej stacji radarowej, z wykorzystaniem radaru FMCW (ang. *frequency modulated continous wave*), czyli radaru pracującego na fali ciągłej z modulowaną częstotliwością fali nośnej, często zwanego radarem szerokopasmowym (ang. *broadband radar*). Istotnymi zaletami takiego rozwiązania jest zredukowana moc emitowanych mikrofal, co znacznie zmniejsza niekorzystny wpływ radaru na środowisko, a także stosunkowo niska cena zestawu. W kolejnych rozdziałach artykułu przedstawiono założenia technologiczne radarów szerokopasmowych, koncepcję mobilnego zestawu radarowego, analizę obrazu radarowego jako źródła danych przestrzennych, a także przykłady zastosowań zestawu dla celów śledzenia i namierzania statków oraz jako uzupełnienie elektronicznej mapy nawigacyjnej.

Radary morskie na falę ciągłą

Zdecydowana większość urządzeń radarowych stosowanych obecnie na morskich i śródlądowych statkach handlowych oraz w systemach nadzoru ruchu statków typu VTS (ang. *Vessel Traffic Services*) to magnetronowe radary impulsowe. Zasadniczą wadą, z punktu widzenia zastosowania takich systemów do monitoringu na śródlądowych drogach wodnych, są wysokie moce mikrofal emitowanych w postaci impulsów przez antenę radarową. Mogą one stanowić zagrożenie dla środowiska naturalnego, a sektorowe obcinanie wiązki radarowej, popularne w systemach VTS, może być znacznie utrudnione w przypadku torów wodnych na rzekach. Dodatkowo specyfika wód śródlądowych wymaga stosowania znacznej liczby sensorów, co znacznie podnosi cenę systemów śledzących.

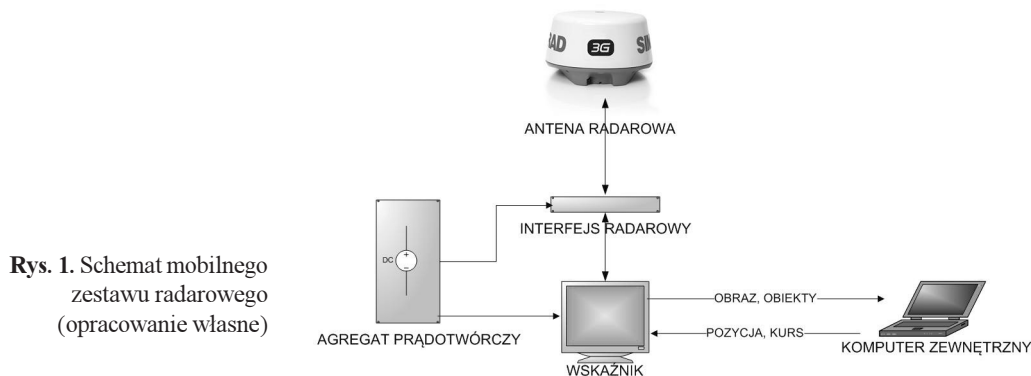
Ciekawe w tej sytuacji wydają się rozwiązania alternatywne, które zyskują coraz większą popularność. Głównym założeniem jest wyeliminowanie konieczności stosowania bardzo dużej mocy transmisji przy zachowaniu obowiązujących standardów dokładności pomiarów i jakości obrazu. Najważniejszą alternatywą wydają się być tzw. radary na falę ciągłą. Istotą działania jest generowanie ciągłej fali o stałej niewielkiej mocy, której częstotliwość jest odpowiednio modulowana, a odległość obiektu wyznaczana jest na podstawie różnicy faz (lub przesunięcia czasowego) pomiędzy sygnałem odebrany a aktualnie nadawanym. Największą zaletą tego rozwiązania są bardzo małe moce emitowanego sygnału – w opisywanym rozwiązaniu nominalna moc szczytowa impulsu wynosi 100 mW, wobec kilowatowych mocy (nawet do kilkudziesięciu kilowatów) w tradycyjnych radarach impulsowych. Morskie zastosowania tej technologii są stosunkowo nowe i w związku z tym ciągle doskonalone, a radary wciąż nie spełniają wszystkich wymagań standardów IMO, dlatego wprowadzane są one obecnie głównie na jednostkach turystycznych. Prowadzone dotychczas badania (m.in. Kazimierski, Łubczonek, 2011) wykazały dobre zdolności wykrywania i różnicowania obiektów na małych zakresach. Właściwość ta może wskazywać na przydatność zastosowania tych radarów właśnie na wodach śródlądowych, na których zwykle pracuje się na niewielkich zakresach radarowych.

Mobilny zestaw radarowy

W Akademii Morskiej w Szczecinie od roku 2010 trwają prace finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu badawczego własnego Nr N N526 195038 pt. „Rozwinięcie metod radarowego śledzenia jednostek pływających z zastosowaniem wielomodelowej filtracji neuronowej” pod kierownictwem autora niniejszego artykułu. Jednym z zadań w ramach projektu jest budowa mobilnego radarowego stanowiska badawczego. Ma być ono modyfikacją stanowiska badawczego zbudowanego na jednostce badawczej Akademii Morskiej w Szczecinie HYDROGRAF XXI. Jest to łódź motorowa o długości około 10 metrów i wyporności 2,5 tony. Wyposażona jest w najnowocześniejszy sprzęt hydrograficzny i nawigacyjny, którego uzupełnieniem jest opisywany zestaw radarowy. Przyjęto następujące założenia przy doborze komponentów zestawu radarowego:

- niewielkie rozmiary i waga;
- małe moce promieniowania;
- możliwość śledzenia obiektów i wysyłania tej informacji do zewnętrznego komputera.

Tak dobrane parametry (zwłaszcza pierwsze dwa) pozwalają wykorzystywać radar również jako mobilną stację monitorującą. Aby zapewnić wygodę użytkownika zarówno na statku, jak i na lądzie zapewniono podwójne okablowanie oraz niezależne systemy mocowania. W przypadku rozwiązania mobilnego, w jego wstępnej fazie zdecydowano się wykorzystać trójnóg geodezyjny ze specjalnie zaprojektowaną platformą pod antenę radarową. W dalszej części badań planowane jest wykonanie specjalnej konstrukcji nośnej. Dodatkowo, aby zapewnić pełną niezależność zestawu, zakupiono agregat prądowórczy umożliwiający pracę w terenie bez względu na dostępność punktów zasilania. W rezultacie powstał zestaw, którego schemat przedstawiono na rysunku 1.



Kluczowymi elementami zestawu są: antena radarowa (zbudowana faktycznie z dwóch anten), która wysyła i odbiera fale elektromagnetyczne; interfejs radarowy przetwarzający sygnał z anteny i przesyłający go do wskaźnika oraz przekazujący do anteny sygnały sterujące; a także wskaźnik przetwarzający odebrany sygnał na obraz radarowy i pozwalający użytkownikowi na interakcję z systemem. Wskaźnik zawiera w sobie wiele funkcjonalności związanych z regulacją obrazu radarowego oraz funkcjami nawigacyjnymi. Przykładem mogą tu być funkcje związane ze śledzeniem obiektów, a więc z wyznaczaniem meldunków radarowych (położenie i parametry ruchu), które mogą być transmitowane do zewnętrznego

komputera do dalszego przetwarzania np. w systemie GIS. W przypadku rozwiązania mobilnego rola zewnętrznego komputera jest podwójna. Po pierwsze jest on docelowym miejscem zapisu informacji uzyskiwanych z radaru z wykorzystaniem standardowych protokołów NMEA, a po drugie pozwala na symulowanie sensorów statkowych, które zwykle są podłączone do systemu, a których brakuje w przypadku rozwiązania mobilnego. Dodatkowe elementy systemu to stojak (w tym przypadku trójnog geodezyjny), agregat stanowiący źródło zasilania oraz specjalistyczne okablowanie.

We wskaźniku zastosowanym w zestawie istnieje możliwość statycznego zapisu obrazu w postaci zrzutów ekranowych oraz zapisu video w niestandardowym formacie producenta sprzętu. Tak pozyskany obraz radarowy, odpowiednio zorientowany przestrzennie, można traktować jako źródło danych przestrzennych.

Obraz radarowy, jako źródło informacji przestrzennej

Prawidłowa interpretacja obrazu radarowego nie jest zadaniem prostym, zwłaszcza dla niedoświadczonego obserwatora. Aby prawidłowo wyodrębnić istotne elementy obrazu oraz ocenić sytuację na podstawie ech radarowych, konieczne jest posiadanie podstawowej wiedzy z zakresu powstawania obrazu radarowego, a także jego zakłóceń i zniekształceń. Zagadnienia związane z interpretacją obrazu zostały szeroko opisane w literaturze, przykładowo w monografii (Stateczny (red.), 2011). Dla potrzeb niniejszej publikacji wystarczające będzie przedstawienie zniekształceń kartograficznych obrazu radarowego oraz zniekształceń wymiaru ech radarowych.

Na początku rozważań należy podnieść kwestię zorientowania obrazu radarowego i zobrazowania ruchu. Zorientowanie oznacza ustalenie wartości dla kierunku „do góry”. W radarach morskich stosowane są tradycyjnie trzy rodzaje zobrazowań – względem północy, względem dziobu i względem kursu. W przypadku stacji znajdującej się na lądzie zorientowanie względem dziobu jest tożsame ze zorientowaniem względem kursu. W proponowanym, mobilnym rozwiązaniu informacja o kursie jest przekazywana do radaru z laptopa za pomocą specjalnego programu symulatora – obraz radarowy może być zatem zorientowany dowolnie w stabilny sposób.

Zniekształcenia kartograficzne obrazu radarowego

Obraz radarowy może być traktowany jako swego rodzaju mapa fragmentu Ziemi, wykonana w pewnym odwzorowaniu rzutowym. Środek rzutu znajduje się w punkcie zamocowania anteny. Biorąc pod uwagę, że wysokość anteny (od kilku do kilkudziesięciu metrów) jest bardzo mała w porównaniu do zakresu radaru (zwykle rzędu kilku do kilkudziesięciu kilometrów) można przyjąć, że występuje tu odwzorowanie azymutalne. Przy założeniu dokładnego zorientowania obrazu radarowego względem północy, funkcje odwzorowawcze obrazu radarowego mają postać (Różycki, 1987):

$$NR = \alpha \tag{1}$$

$$d = R \times z \tag{2}$$

gdzie:

- NR, d – współrzędne biegunowe na ekranie radaru (namiar i odległość),
- a – kąt mierzony radarem,
- z – kąt środkowy między promieniami R przechodzącymi przez pozycje anteny, radaru i obiektu.

Jeśli obraz radarowy nie jest zorientowany względem północy, kąt α mierzony radarem jest kątem kursowym. Kąty te nie są obarczone błędem odwzorowania, w przeciwieństwie do pomiaru odległości, której zniekształcenie (przy założeniu normalnej refrakcji) można obliczyć ze wzoru (Przewłocki, 1967):

$$\Delta d = d - d_1 = d - \sqrt{4R \cdot (R + h + H) \cdot \sin^2 \frac{z}{2} + (h - H)^2}, \quad (3)$$

gdzie:

- R – średni promień Ziemi,
- h – wysokość anteny radarowej (m),
- H – wysokość obiektu,
- z – kąt środkowy między promieniami R przechodzącymi przez pozycje anteny, radaru i obiektu.

Zniekształcenie to dla stosowanych powszechnie zakresów obserwacji radarowej jest pomijalnie małe. Podsumowując można stwierdzić, że obraz radarowy spełnia warunki odwzorowania azymutalnego wiernoodległościowego, które nie zmienia azymutów ani odległości z punktu głównego do każdego dowolnego punktu mapy (Stateczny (red.), 2011). Kierunki główne są w tym przypadku utworzone przez tzw. wachlarz namiarów i kręgi odległości, a skale w kierunkach głównych wynoszą (Różycki, 1987) w kierunku promieni:

$$m = 1 \quad (4)$$

w kierunku kół:

$$n = \frac{z}{\sin z} \quad (5)$$

Warto w tym miejscu przypomnieć, że tradycyjnie stosowanym odwzorowaniem na mapach nawigacyjnych jest odwzorowanie Merkatora. Oczywiście w tej sytuacji jest, że muszą wystąpić rozbieżności pomiędzy tymi odwzorowaniami, wynikające z różnic skal długości (przede wszystkim w kierunkach N-S) oraz różnic między kierunkiem loksodromicznym na mapie i ortodromicznym na ekranie radaru, głównie w kierunkach W-E (Stateczny, 1991). Efektem tego są zniekształcenia odwzorowawcze. Przy tradycyjnie stosowanych zakresach obserwacji rzędu 12 mil są one całkowicie pomijalne, jednak dla dokładniejszych radarów szerokopasmowych mogą mieć pewne znaczenie.

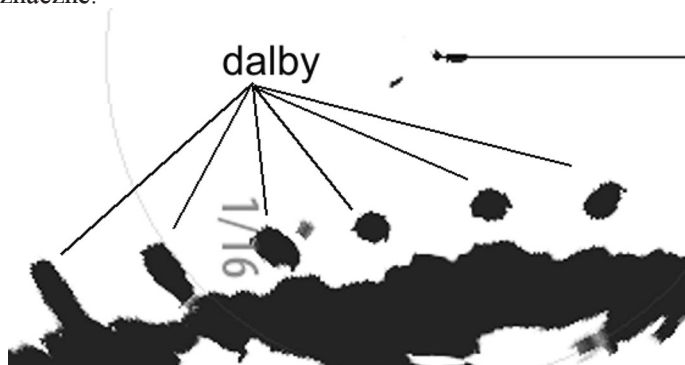
Zniekształcenie wymiaru ech radarowych

Zniekształcenia kartograficzne w codziennej praktyce nawigacyjnej w zasadzie nie mają wpływu na interpretację obrazu. Przeciwnie ma się sytuacja przy zniekształceniu wymiaru ech radarowych ze względu na charakterystyki radaru. Można zaryzykować stwierdzenie, że to właśnie to zniekształcenie ma największy wpływ na wygląd obrazu radarowego i jego

interpretację. Rozmiary i kształty ech od niewielkich obiektów, jak np. łodzie, czy pławy są niemal całkowicie zależne od parametrów radaru. Dla większych obiektów jak ład, nabrzeża, czy inne konstrukcje brzegowe, ich kształt i rozmiar mają zasadnicze znaczenie dla wyglądu echa na ekranie, jednak nawet wówczas trzeba pamiętać o tym, że fala radarowa nie zawsze odbija się od najbliższej krawędzi, więc kształt echa nie zawsze odpowiada kształtowi obiektu i nadal występują zniekształcenia promieniowe i kątowe ech. Wymiernymi wielkościami wynikającymi wprost ze zniekształceń promieniowych i kątowych ech są rozróżnialność promieniowa i kątowa radaru. Opisują one zdolność radaru do przedstawienia dwóch obiektów jako osobne echa na ekranie radaru. W przypadku rozróżnialności promieniowej, obiekty znajdują się w tym samym namiarze, zaś w przypadku rozróżnialności kątowej, w tej samej odległości. Miarą rozróżnialności jest liniowa lub kątowa odległość pomiędzy obiektami. Rozróżnialność, a więc również i zniekształcenie kątowe i promieniowe, w przypadku radarów na falę ciągłą zależy od:

- przestrzennego wymiaru piksela,
- szerokości poziomego przekroju charakterystyki promieniowania,
- przedziałów częstotliwości, związanych z liczbą cel na jedną linię.

Rozmiar piksela określa najmniejszy element jaki może być wyświetlony na ekranie. Można go porównać do grubości wkładu w długopisie. Szerokość poziomego przekroju charakterystyki kierunkowej anteny (listka głównego) ma zasadniczy wpływ na wymiar kątowy echa. Przesuwająca się kątowo (wraz z obrotem anteny) wiązka uderza w echo wielokrotnie, kolejno następującymi po sobie impulsami. Obiekt jest więc wykrywany, dopóki znajduje się w obrębie wiązki. Oznacza to, że echo zaczyna się na ekranie, gdy wiązka natrafia na obiekt jednym swym końcem i jest wyświetlane do momentu, aż cała wiązka zakończy „omiatanie” obiektu. Echa obiektów są zawsze zwiększone o szerokość poziomego przekroju charakterystyki promieniowania – po połowie wiązki z każdej strony. Warto dodać, że liniowy wymiar tego zniekształcenia rośnie wraz z zakresem. Zniekształcenie promieniowe echa w przypadku radarów impulsowych związane jest z długością impulsu, w przypadku radarów na falę ciągłą zależy od tego na ile elementów podzielony jest odcinek od anteny do końca zakresu, a więc od liczby cel na zakres. Im więcej, tym lepsza rozróżnialność. Takie rozwiązanie oznacza znaczną poprawę rozróżnialności promieniowej na małych zakresach. Na rysunku 2 przedstawiono echo od dalb, które można potraktować jako obiekty punktowe. Wszystkie dalby są takie same, a na obrazie radarowym mają zdecydowanie różne wymiary. Wyraźnie widoczne są zniekształcenia, zwłaszcza kątowe, które rosną wraz ze zwiększającą się odległością obiektu. W związku z niewielkimi rozmiarami anteny są one dość znaczne.



Rys. 2. Zniekształcenia kątowe ech radarowych (opracowanie własne)

Zastosowanie mobilnego zestawu radarowego dla celów monitoringu

Koncepcja budowy mobilnego zestawu radarowego zakładała jego zastosowanie przede wszystkim do celów badawczych. Obraz radarowy oraz parametry ruchu i informacje o obiektach uzyskane poprzez komunikaty NMEA mogą posłużyć na przykład do analizy różnych filtrów do śledzenia radarowego. Możliwość podłączenia wskaźnika do zewnętrznego komputera dają w zasadzie nieograniczone możliwości z tym związane, w zależności od potrzeb zadania badawczego. Można sobie wyobrazić dowolny system geoinformatyczny, czy to oparty na którejś z istniejących platform, czy to w postaci dedykowanego oprogramowania, w którym dane z radaru posłużą jako wejściowe informacje przestrzenne opisujące położenie różnych obiektów, w tym przede wszystkim statków. Tego typu systemem są także aplikacje VTS, czy też przyszła aplikacja planowanego RIS.

Można zauważyć dwie podstawowe metody wykorzystania radaru jako wejściowej informacji przestrzennej. Po pierwsze obraz radarowy może stać się informacją rastrową, po drugie śledzone obiekty mogą być wektorową informacją przestrzenną.

Obraz radarowy jako uzupełnienie informacji mapowej

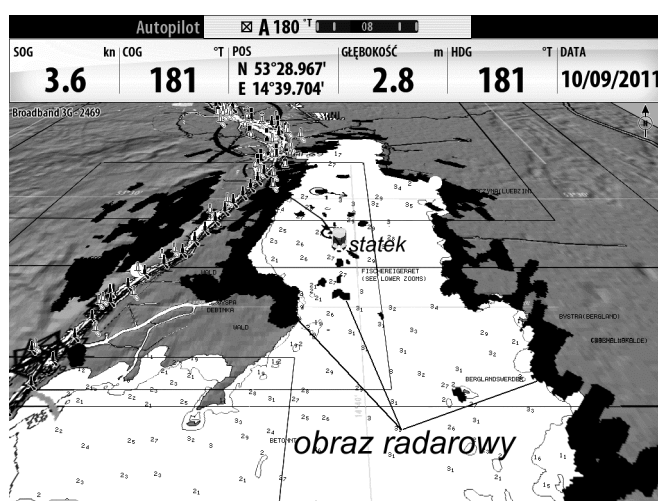
Obraz radarowy to swego rodzaju mapa, w opisanym wcześniej odwzorowaniu, na której naniesione są obiekty przestrzenne, choć nieco w zdeformowanej formie, ze względu na zniekształcenia obrazu opisane w poprzednim podrozdziale. Taki obraz może stać się istotnym uzupełnieniem informacji mapowej.

Elektroniczne mapy nawigacyjne (także śródlądowe) charakteryzują się wysoką szczegółowością opisu linii brzegowej i obiektów znajdujących się w jej pobliżu, istotnych z punktu widzenia nawigacyjnego. Stanowi ona jednak informację statyczną, nie pokazując aktualnych zmian. Wyjątkiem może być tutaj uwzględnienie stanu wody w śródlądowych komórkach map nawigacyjnych. Nietrudno sobie jednak wyobrazić sytuację blokady toru wodnego przez uszkodzony statek lub nawet zmiany kształtu nabrzeża na skutek prac inżynierskich, jak również po prostu obserwacji ruchu na torze wodnym, które będą niewidoczne na mapie nawigacyjnej. Zdarzenia takie mogą być obserwowane w czasie rzeczywistym przez radar. Jeżeli na danym obszarze nie ma stałej obserwacji radarowej, można do tego celu wykorzystać zestaw mobilny. W każdej chwili można z nim pojechać na miejsce zdarzenia, rozłożyć i rozpocząć transmisję obrazu radarowego (niebanalny problem transmisji obrazów radarowych nie jest treścią niniejszego artykułu). Odpowiednio skalibrowany obraz radarowy może być następnie nałożony na mapę, stanowiąc istotne jej uzupełnienie. Funkcja ta nazywa się nakładaniem obrazu radarowego (ang. *radar overlay*) i jest standardowo realizowana w morskich i śródlądowych systemach map elektronicznych ECDIS. Warto dodać, że w niektórych radarach istnieje możliwość przeprowadzenia operacji odwrotnej, tzn. nałożenia mapy na obraz radarowy (ang. *chart overlay*).

Nałożenie obrazu radarowego na mapę wymaga przeprowadzenia jego odpowiedniej kalibracji. W obecnie stosowanych radarach obraz przechowywany jest w formie rastrowej, co znacznie ułatwia ten proces. W tej sytuacji jest on bowiem zapisany za pomocą współrzędnych prostokątnych płaskich w kartezyjańskim układzie związanym z miejscem lokalizacji anteny. W przypadku rozwiązań statkowych pojawia się dodatkowo pojęcie wspólnej pozycji odniesienia dla wszystkich sensorów statkowych, jednak w przypadku prezentowa-

nego rozwiązania mobilnego pozycje te są tożsame. Kalibracja obrazu radarowego jest transformacją współrzędnych płaskich związanych z układem lokalnym anteny do układu zastosowanego na mapie. Mogą być tu użyte typowe metody transformacji stosowane w kartografii, uwzględniające punkty dostosowania. Jednym z punktów jest z pewnością miejsce ustawienia anteny. Ustalenie dokładnej pozycji tej anteny wymaga użycia zewnętrznego sensora. W przypadku rozwiązań statkowych informacja ta jest pozyskiwana ze statkowych sensorów elektronicznego systemu określania pozycji, a w przypadku opisywanego rozwiązania pozycja ta, uprzednio zmierzona odbiornikiem zewnętrznym, jest wprowadzana do systemu jako symulowane wejście NMEA. Pomiaru pozycji wygodnie jest dokonać w układzie współrzędnych, w którym pracuje mapa elektroniczna, w przeciwnym wypadku konieczna będzie kolejna transformacja. W przypadku systemów ECDIS domyślnym układem współrzędnych jest WGS-84.

Położenie pozostałych punktów dopasowania może być określone na podstawie znajomości zorientowania radaru w przestrzeni oraz zakresu pracy radaru. Zorientowanie radaru w systemach statkowych uzyskiwane jest na podstawie kompasu (zwykle żyrokompasu). W przypadku rozwiązania mobilnego konieczne jest wcześniejsze zorientowanie radaru przez wprowadzenie symulowanego kursu, określonego na podstawie pomiarów geodezyjnych. Zakres pracy radaru jest dobierany przez użytkownika w przedziale dozwolonym przez producenta radaru. W przypadku zastosowanego rozwiązania są to wartości od 50 m do 24 Mm. Na podstawie współrzędnych biegunowych możliwe jest przypisanie współrzędnych kartezjańskich każdego piksela, pamiętając o tym, że zniekształcenia kartograficzne są pomijalnie małe. Inną, możliwą do zastosowania metodą, jest identyfikacja na obrazie radarowym charakterystycznych elementów (stawy, punkty linii brzegowej, itp.) i przypisanie im odpowiednich punktów z mapy. Ta metoda jednak zwykle nie jest stosowana, głównie ze względu na zniekształcenia obrazów radarowych i większe wymagania obliczeniowe. Dodatkowo nie zawsze obraz radarowy zawiera wystarczającą liczbę odpowiednio rozlokowanych, charakterystycznych punktów. Po nałożeniu obrazu radarowego na mapę, użytkownik może wykorzystywać informacje radarowe jako dodatkową informację przestrzenną w stosunku do mapy. Przykład nakładania obrazu radarowego na mapę w urządzeniu SIMRAD NSE 12 przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Nakładanie obrazu radarowego na mapę elektroniczną w urządzeniu SIMRAD NSE 12 (opracowanie własne)

Śledzenie obiektów radarowych

Istnieje kilka definicji procesu śledzenia radarowego. Jedną z nich, określa śledzenie jako obserwację zmian kolejnych pozycji echa oraz określenie na tej podstawie parametrów jego ruchu i zbliżenia (Wawruch, 2002). Obiekt śledzony przez radar nazywany jest celem radarowym (ang. *radar target*). Istnieje konieczność wyodrębnienia tego obiektu na obrazie radarowym. Dokonywane jest to na drodze metod przetwarzania obrazów na podstawie różnic pomiędzy echem a tłem. Obiekt wskazywany jest w sposób ręczny lub automatyczny. Można traktować to jako zgłoszenie echa na ekranie do śledzenia przez komputer śledzący. Następujące po sobie kolejne obserwacje są rejestrowane, a na podstawie prędkości względnej poruszania się echa po ekranie ustala się wielkość tzw. bramki akwizycyjnej. Definiuje się ją jako wydzielony, wokół aktualnej pozycji obiektu, obszar ekranu radaru, w którym spodziewane jest pojawienie się echa w kolejnym obrocie anteny. Następnie, na podstawie ruchu echa, filtr śledzący wylicza parametry ruchu obiektu i jego przewidywaną pozycję – rozpoczyna się etap śledzenia właściwego. Wielkość bramki śledzącej zależy od dokładności pomiarów pozycji radarowej, czyli namiaru i odległości, a te związane są nie tylko z parametrami radaru, ale także ze sposobem pomiaru. Dla potrzeb śledzenia konieczne jest wskazanie obiektu, jako konkretnego punktu w obrębie echa. Zwykłą praktyką jest dokonywanie pomiaru namiaru na środek echa i pomiaru odległości na przednią krawędź echa. System śledzący automatycznie wyznacza pozycję obiektu zgodnie z tymi zasadami, choć w niektórych rozwiązaniach pozycja obiektu jest wyznaczana w geometrycznym środku echa. Proces generowania obiektów na podstawie echa radarowych można traktować jako swego rodzaju wektoryzację, w której na podstawie rastrowego echa wyznaczana jest pozycja przestrzenna obiektu punktowego. Obiekt ten może być traktowany jako informacja wektorowa, do której w procesie śledzenia przypisywane są dynamiczne atrybuty będące elementami meldunku radarowego, a więc przede wszystkim kurs, prędkość, odległość największego zbliżenia i czas do osiągnięcia tej odległości. Dodatkowo system śledzący przypisuje każdemu obiektowi numer identyfikacyjny.

Szczególnym przypadkiem śledzenia obiektów jest pozyskanie informacji z systemu automatycznej identyfikacji statków AIS – informacje te mogą być wyświetlane przez radar i transmitowane do komputera zewnętrznego, jako cele radarowe. Oba systemy są względem siebie uzupełniające, a przyporządkowanie obiektów radarowych i AIS do siebie pozwala na uzyskanie kompleksowej informacji statycznej i dynamicznej. Takie przyporządkowanie mogłoby być dokonywane np. w zewnętrznym systemie GIS.

Informacje uzyskane w procesie śledzenia radarowego mogą być wykorzystywane jako dane wektorowe na elektronicznej mapie nawigacyjnej, zawierające zarówno atrybuty przestrzenne, jak i opisowe. W ten sposób połączenie systemów radarowych i GIS może dać pełny ogłęd sytuacji nawigacyjnej i kolizyjnej, pozwalając na monitoring sytuacji na torach wodnych.

Warto zwrócić uwagę, że specyfika śródlądowych dróg wodnych powoduje, że informacja o ruchu obiektów jest mniej istotna niż ich położenie. Statki poruszają się zwykle w górę lub w dół rzeki, a więc z założonym kursem. Filtry śledzące po każdym manewrze potrzebują ustabilizować swoje wskazania, co w przypadku częstych manewrów na rzekach, czyni je często bezużytecznymi.

Przykłady

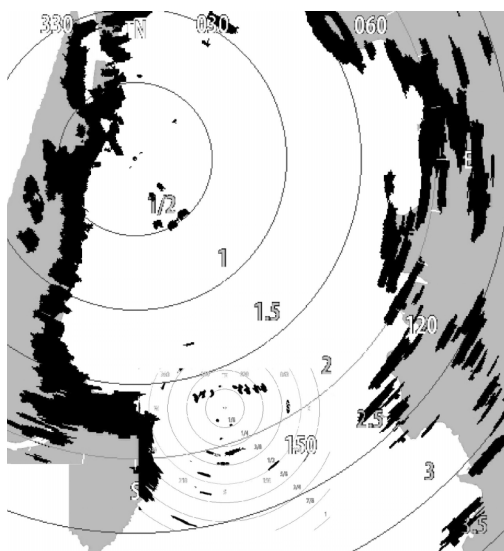
W kolejnych podrozdziałach przedstawiono przykłady wykorzystania obrazu radarowego jako dodatkowej w stosunku do mapy informacji przestrzennej. Wykorzystano pozyskane obrazy radarowe z radaru Broadband 3G we wskaźniku NSE 12 firmy SIMRAD. Obrazy zostały zarejestrowane w czasie pracy radaru zarówno jako urządzenia statkowego, jak i w wersji mobilnej. W poszczególnych przykładach starano się przedstawić interesujące obiekty, które radar może „wychwycić”, a które nie zawsze są widoczne na mapie. Przykłady zawierają zarówno wykorzystanie obrazu radarowego jako informacji rastrowej, jak i śledzonych ech radarowych jako informacji wektorowej. Część przykładów została zarejestrowana bezpośrednio ze wskaźnika radarowego, jednak przetworzenie większości (w tym kalibracja) została wykonana w oprogramowaniu ArcGIS firmy ESRI. W tej drugiej opcji wykorzystano śródładowe komórki elektronicznych map nawigacyjnych opracowane w Katedrze Geoinformatyki w Akademii Morskiej w Szczecinie, w których ze względu na czytelność rysunków, zredukowano ilość widocznych szczegółów.

Brzeg

Wizualizacja obrazu radarowego brzegu, np. toru wodnego lub rzeki, wydaje się pierwszym i najprostszym testem przydatności takiego rozwiązania. Tego typu analiza daje możliwość kontroli bieżącego kształtu brzegów, ruchu na torze wodnym czy powstania specyficznych niebezpieczeństw.

Na rysunku 4 przedstawiono dwa obrazy radarowe nałożone na mapę przedstawiającą północny fragment jeziora Dąbie.

Po kręgach odległości wyraźnie widać środki obrazów radarowych – warto zwrócić uwagę, że obrazy były wykonane na różnych zakresach.

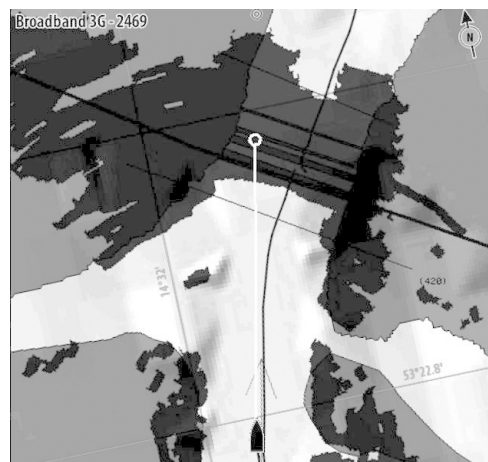


Rys. 4. Obraz radarowy brzegu jeziora Dąbie z dwóch radarów nałożony na IENC (opracowanie własne)

Mosty

Niezwykle charakterystycznymi obiektami na wodach śródlądowych są mosty. Na rysunku 5 przedstawiono przykład problemów interpretacyjnych związanych ze zniekształceniami obrazu radarowego. Po nałożeniu obrazu radarowego na mapę widać, że echa od trzech mostów stanowią na ekranie radarowym jedno echo. Ten przykład pokazuje, że sama kalibracja obrazu radarowego nie jest warunkiem wystarczającym do wykorzystania obrazu radarowego jako informacji geoprzestrzennej – konieczna jest jeszcze umiejętność jego interpretacji.

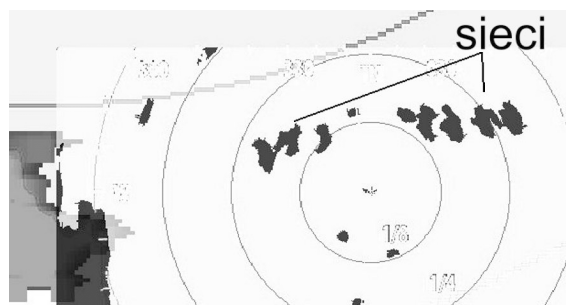
Rys. 5. Wspólne echo radarowe od trzech mostów – SIMRAD NSE 12 (opracowanie własne)

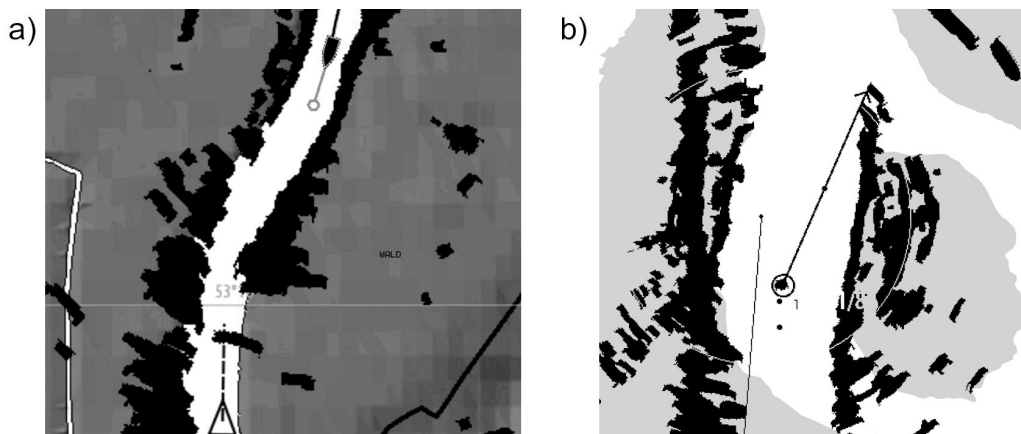


Sieci rybackie

Kolejnymi obiektami charakterystycznymi na wodach śródlądowych są sieci rybackie rozstawiane w okolicach toru wodnego lub na tym torze. Na mapach nawigacyjnych zaznaczane są miejsca planowane na stanowiska rybackie, jednak ich rzeczywiste położenie często jest w innym miejscu. Przy pomocy radaru można te zmiany zaobserwować i w ten sposób zaktualizować informację na mapie. Na rysunku 6 przedstawiono obraz radarowy stanowisk sieciowych na jeziorze Dąbie. Jest to powiększony fragment rysunku 4.

Rys. 6. Fragment obrazu radarowego ze stanowiskami sieciowymi na jeziorze Dąbie (opracowanie własne)





Rys. 7. Prezentacja śledzonych obiektów na obrazie radarowym nałożonym na mapę:
a – obiekt AIS, b – obiekt radarowy (opracowanie własne)

Śledzone obiekty

Obiekty radarowe nałożone na mapę radarową mają dwojaką naturę – po pierwsze są to echa radarowe, a po drugie cele. Taką sytuację przedstawiono na rysunku 7b. Widać na nim echo statku płynącego mniej więcej środkiem kanału. Po wprowadzeniu do śledzenia, wyliczane są parametry ruchu obiektu i pokazywany jest wektor ruchu oraz przeszłe pozycje. Dodatkowo na ekranie radaru i mapie mogą być wyświetlane obiekty pochodzące z systemu AIS, które nie muszą być widoczne dla radaru, jak przedstawiono na rysunku 7a (obiekt oznaczony trójkątem i wektorem przerywanym).

Podsumowanie

W artykule przedstawiono mobilny zestaw radarowy, który może być wykorzystany do monitoringu śródlądowych dróg wodnych. Jest on zbudowany z wykorzystaniem radaru na falę ciągłą, dzięki czemu nie stanowi istotnego zagrożenia dla środowiska. Parametry zastosowanego rozwiązania pozwalają na uzyskanie bardzo dobrej rozdzielności promieniowej na małych zakresach. Rozdzielność kątowa, ze względu na małe rozmiary anteny, znacznie się pogarsza wraz ze wzrostem odległości, ale na niewielkich zakresach wydaje się być zadowalająca.

Obraz radarowy, po odpowiedniej kalibracji, może zostać nałożony na elektroniczną mapę nawigacyjną, dzięki czemu stanowi istotne jej uzupełnienie. W artykule wskazano dwa podstawowe sposoby jego wykorzystania jako informacji przestrzennej. Pierwszy to potraktowanie obrazu radarowego jako danych rastrowych i na drodze odpowiedniej interpretacji uzyskanie żądanych informacji. Drugi to wykorzystanie samych celów radarowych jako danych wektorowych z odpowiednimi atrybutami (meldunek radarowy). Zwykle obie metody są wykorzystywane jednocześnie. Przykłady przedstawione w artykule pokazują jakie informacje przestrzenne, uzupełniające w stosunku do mapy, mogą zostać pozyskane z obrazu radarowego. Przykładów tego typu można by podać znacznie więcej, co świadczy o przydatności opisywanego rozwiązania.

Literatura

- Dyrektywa 2005/44/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 7 września 2005 r. w sprawie zharmonizowanych usług informacji rzecznej (RIS) na śródlądowych drogach wodnych we Wspólnocie, Dz.U. UE L 255/152, 2005.
- Kazimierski W., Łubczonek J. 2011: Analysis of broadband radar picture in the aspect of marine target tracking, Proceedings of International Radar Symposium, Leipzig.
- Przewłocki S., 1967: Studium nad przedstawieniem rzeźby terenu na mapach morskich dla ułatwienia interpretacji obrazów radarowych. Zeszyty Naukowe PŁ, nr 86 (Zeszyt Specjalny nr 5), Łódź.
- Różycki J., 1987: Kartografia matematyczna, PWN, Warszawa.
- Stateczny A., Kazimierski W., 2009: Target Tracking in RIS. [In:] Weintrit A. (ed.), Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. Taylor & Francis Group, London, UK.
- Stateczny A., 1991: Cyfrowe dopasowanie mapy morskiej i obrazu radarowego. Geodezja i Kartografia, t. XL, z. 3-4.
- Stateczny A. (red.), 2011: Nawigacja radarowa. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdańsk.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne. Dz.U. 2005 nr 239 poz. 2019, tekst jednolity.
- Woś K., 2005: Kierunki aktywizacji działalności żeglugi śródlądowej w rejonie ujścia Odry w warunkach integracji Polski z Unią Europejską. Oficyna Wydawnicza „Sadyba”. Warszawa.

Abstract

Traffic monitoring systems for ships or more complex Vessel Traffic Systems – VTS, which are in fact specialised geographic information systems, are widely used in the areas difficult for navigation. In case of inland waterways, they are a part of the concept of harmonized River Information Services. This concept has been included in so called RIS Directive of the European Parliament and the Council 2005/44/EC, which has been currently implemented in most of the European countries, including Poland. The Directive shows key services and technologies to be used in RIS. One of them is the service of tracking and tracing vessels, usually based on inland Automatic Identification System – Inland AIS and on radars. Based on these sensors, so called traffic image is created. This image is presented also in shore centres for traffic monitoring. The applications they use can be treated as GIS. Various objects, vital from traffic safety point of view, are presented on a numerical chart. The attributes of the objects can be seen with the use of suitable query to database system. Ships themselves are a very special group of objects, as their position is variable. As it has been already mentioned, the information about ships is gathered from AIS or radar, keeping in mind that radar is an independent sensor and therefore should be treated as more reliable.

The paper presents a mobile radar set, which was built during one of the research projects in Maritime University of Szczecin. The set may become the source of spatial information for such a monitoring system. The set may be used both on board of the ship, and as a mobile shore station. While being mobile it can be engaged for intervention purposes in many cases as an additional sensor in the monitoring system if needed or it can be also posted as a traditional shore station. The set can be used for monitoring marine waters, however the technical specification of the antenna used makes it more useful for monitoring traffic in inland waterways.

The main body of the paper contains technological background and a concept of mobile radar set, analysis of radar screen as a source of spatial information and examples of using the set for tracking and tracing as a supplementary source for electronic navigational chart.

The mobile radar set consists of an antenna, radar interface, multi-function display, power generator and external PC (notebook), which is simulating suitable in-coming signals and receiving out-going signals. The antenna used works with frequency modulated continuous wave (FMCW), what makes it safer and more friendly for the user and environment, due to the reduced transmitting peak power. Because of small dimensions, however, not very good bearing discrimination may be expected.

For proper interpretation and understanding of radar screen, basic knowledge of radars and its most important clutters and distortions is required. The paper is focused mostly on cartographic distortions and the size of the echo, as they are most important if radar is used as a supplementary source for the chart. There are two ways in which radar system can provide GIS data. Firstly, radar screens are rasters, which can overlay the map and thus supplement it. This requires of course proper raster calibration. Secondly, tracked targets can be introduced to GIS as vector data (usually with point geometry) with suitable attributes – target data. Usually both methods are used simultaneously. The paper presents the examples, which show a few typical cases for both. Among the examples, typical objects like a bridge, a shoreline, fishing nets and tracked targets, are presented.

dr inż. Witold Kazimierski
w.kazimierski@am.szczecin.pl
tel. +48 91 48 77 177