

Krzysztof NAUS¹
Mariusz WAŻ²

ZAUTOMATYZOWANIE PROCESU WYZNACZANIA POZYCJI W NAWIGACJI RADAROWEJ – APLIKACJA

Wyznaczanie pozycji na podstawie obserwacji radarowych charakteryzuje się autonomizacją. Wszelkie dane, odczytywane parametry, niezbędne do otrzymania pozycji zawarte są w obrazowaniu radarowym. Zautomatyzowanie procesu nawigacji radarowej wymaga cyfrowego przetwarzania i obróbki tego obrazowania. Rozwój technologii w przetwarzaniu sygnałów umożliwia wykonanie tego zadania a także pozwala na zautomatyzowanie całego procesu. Artykuł przedstawia propozycję (w postaci aplikacji komputerowej) automatyzacji procesu wyznaczania pozycji z wykorzystaniem obrazów radarowych.

FIXING RADAR POSITION IN AUTOMATIC WAY – APPLICATION

Radar is a tool which makes it possible to fix position of a ship in autonomous way. All data necessary to calculate the position are included in radar image. Automation of radar navigation requires digital processing of the image. Development in a signal processing technology makes it possible to carry out this task and allows us to automate the overall process. The paper presents an example computer application whose task is to fix position of a ship based on information acquired from radar image.

1. WSTĘP

Obraz radarowy strefy przybrzeżnej może posłużyć do wyznaczenia pozycji obserwowanej. Wykonuje się to w dwojaki sposób. Pierwszy to klasyczne podejście do zadania wyznaczenia pozycji, czyli wyznaczenie na podstawie obserwacji namiarów i odległości do zidentyfikowanych obiektów obserwowanych na radarze. Dokładność pozycji zależeć będzie od poprawności identyfikacji obiektów a także od dokładności odczytania parametrów i stabilnej pracy radaru. Drugi sposób, nieco bardziej skomplikowany, to analiza całego obrazowania i porównania go z obrazem wzorcowym (mapy lub wzorcowych obrazów radarowych). Realizując to przedsięwzięcie wykorzystuje się tzw.

¹Akademia Marynarki Wojennej, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej; 81-103 Gdynia; ul. Śmidowicza 69; k.naus@amw.gdynia.pl

²Akademia Marynarki Wojennej, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej; 81-103 Gdynia; ul. Śmidowicza 69; m.waz@amw.gdynia.pl

porównawcze metody wykorzystywane w nawigacji. Badania przeprowadzone w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, opisane w [6],[7],[8],[10],[11], wskazują, że dokładność tych metod zależy od jakości obrazów radarowych i zastosowanego algorytmu w bloku porównawczym. Dokładność pozycji oszacowana jest na poziomie od 1 do 3 pikseli obrazu radarowego. Dokładność uzależniona jest od rozdzielczości obrazu i zakresu obserwacji radarowej. Idąc dalej, można postawić tezę, że w miarę zbliżania się do linii brzegowej lub stałego oznakowania nawigacyjnego, błąd pozycji będzie malał czyli dokładność wyznaczonej pozycji obserwowanej wzrośnie. Niewątpliwie jest to zaleta świadcząca o potrzebie prowadzenia badań w tym zakresie.

2. AUTOMATYZACJA NAWIGACJI RADAROWEJ

Automatyzacja nawigacji radarowej rozumiana będzie jako zautomatyzowanie procesu wyznaczenia pozycji w oparciu o obraz radarowy. Pominięte są tu zagadnienia związane z automatycznym prowadzeniem nakresów radarowych, co wykonywane jest przez systemy ARPA. Pominięto także inne zadania realizowane przez radar, tj.: zajmowanie i utrzymanie pozycji, planowanie i wykonywanie manewrów zapobiegawczych, manewrowania podczas poszukiwania itp.

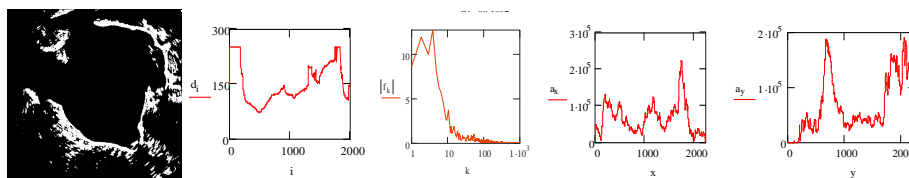
Zautomatyzowany proces wyznaczenia pozycji powinien przebiegać etapowo:

- W pierwszej kolejności należy dokonać rejestracji obrazu radarowego. Do tego celu wykorzystać można specjalizowane karty PC (RadarKit) – służące konwersji zobrazowania radarowego do postaci cyfrowej i przesłania go do systemu w formie bitmapy lub sekwencji video.



Rys.1. Przenośne stanowisko do rejestracji i przetwarzania zobrazowania radarowego Maris5000

- Kolejne zadanie to wyznaczenie przybliżonej pozycji obserwowanej jednostki na podstawie obserwowanych cech obrazu. Na tym etapie wykorzystuje się algorytmy porównawcze, które zgodnie z przyjętym kryterium decyzyjnym wskażą prawdopodobną pozycję rejestracji badanego obrazu. Analizowana jest cała linia brzegowa oraz wszystkie odosobnione echa radarowe pochodzące od obiektów nieruchomych (potencjalne oznakowanie radarowe/nawigacyjne). Porównawcze metody opierają algorytmy analityczne (klasyczne) wykorzystujące funkcje podobieństwa FP [7],[8]. Obraz radarowy może być analizowany w swojej postaci pierwotnej jako bitmapa (zapisana z precyzją 8-mio bitową (skala szarości) lub 24 bitową - RGB) lub po transformacji w postaci niezmiennika (inwariantu konturowego, FFT inwariantu konturowego, kompresji np. przez rzutowanie na osie)



Rys. 2. Reprezentacje obrazu radarowego wykorzystywane w porównawczych metodach wyznaczania pozycji (od lewej: bitmapa, inwariant konturowy, FFT inwariantu konturowego, rzut na OX, rzut na OY)

- Kolejny etap to ekstrakcja punktów charakterystycznych z obrazu radarowego. Ten etap i kolejne po nim następujące służą do wyznaczenia pozycji estymowanej. Zakłada się, a wstępne badania to dowiodły, że wyznaczenie pozycji na podstawie precyzyjnie identyfikowanych obiektów na obrazie radarowym poprawią wstępnie wyznaczoną pozycję. Ekstrakcję punktów charakterystycznych dokonuje się badając obrazy w swojej pierwotnej postaci (rastrowej). Jeżeli każdy punkt obrazu radarowego będzie reprezentowany przez wartość jego wzmocnienia $W_{i,j}$ to ekstrakcja punktów charakterystycznych polegać będzie na wyszukaniu takich punktów, których wzmocnienie jest większe od pewnej zadanej wartości progowej oraz gdzie ich sąsiedztwo charakteryzuje się mniejszą lub równą wartością W . Zatem poszukujemy takich $W_{i,j}$ które spełniają zależność:

$$\begin{aligned}
 &W_{i,j} \geq W_{i+1,j} \wedge W_{i,j} \geq W_{i-1,j} \\
 &\wedge W_{i,j} \geq W_{i,j+1} \wedge W_{i,j} \geq W_{i,j-1} \\
 &\wedge W_{i,j} \geq W_{i+1,j+1} \wedge W_{i,j} \geq W_{i+1,j-1} \\
 &\wedge W_{i,j} \geq W_{i-1,j+1} \wedge W_{i,j} \geq W_{i-1,j-1} \\
 &\text{dla } i = 1, \dots, N \wedge j = 1, \dots, M \wedge W > W_{prog}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Wartością W_{prog} regulować można nadmiar lub niedomiar punktów charakterystycznych wyznaczonych na ekranie radarowych. Pamiętać należy o optymalnym doborze tej wartości.

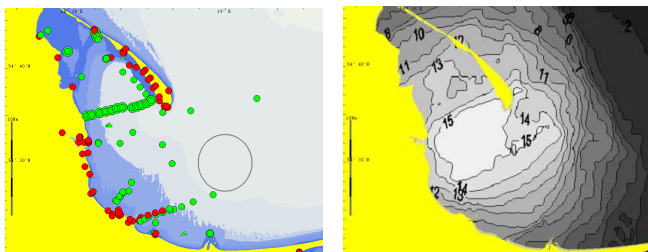
- Proces identyfikacji punktów charakterystycznych to kolejne bardzo ważne zadanie. Od jego precyzji zależeć będzie dokładność pozycji estymowanej. Identyfikację punktów charakterystycznych opisano w [2],[9].
- Ostatni proces to wyznaczenie pozycji estymowanej. Jeżeli założymy, że pozycja wyznaczana jest w oparciu o obiekty poprawnie zidentyfikowane a także takie, które obciążone są pewnym błędem identyfikacji, można dokonać wyrównania parametrów nawigacyjnych i wyznaczonej pozycji (literatura: [1],[2],[3],[12].)

3. APLIKACJA DO AUTOMATYZACJI NAWIGACJI RADAROWEJ

Aplikacja komputerowa została opracowana w integrowanym środowisku rozwoju aplikacji Borland C++ Builder 5.0. Pracuje ona pod kontrolą systemu operacyjnego Windows NT, XP.

3.1 Źródła informacji niezbędnej do działania aplikacji

Niezmierznie ważny jest odpowiedni dobór zakresu obserwacji radarowej. Z jednej strony duży zakres obserwacji wpływa na ilość dostępnych punktów charakterystycznych akwenu z drugiej zaś zmniejsza dokładność wyznaczonej pozycji metodami porównawczymi. podstawowa zasada powinna być taka: zakres obserwacji powinien zapewnić widoczność linii brzegowej i znaków nawigacyjnych, w miarę zbliżania się do brzegu powinien być redukowany do optymalnego, który zapewni dostępność niezbędnej liczby punktów charakterystycznych występujących w akwenu przybrzeżnym. Nie można doprowadzić do sytuacji gdzie radar nie obejmował będzie swoim zakresem linii brzegowej i oznakowania występującego w akwenu. Należy pamiętać także, że zbyt mała liczba dostępnej informacji może spowodować pogorszenie dokładności wyznaczonej pozycji lub jej utratę.



Rys. 3. Oznakowanie nawigacyjne/radarowe Zatoki Gdańskiej oraz rejony dostępności (liczba widocznych punktów) oznakowania dla zakresu obserwacji 12 mil morskich.

Poza obrazami radarowymi zarejestrowanymi na różnych zakresach obserwacji niezmiernie ważny jest nieustanny dostęp do informacji mapowej. Aplikacja bazuje na zobrazowaniu ENC. Na jej podstawie wyszukiwane są punkty identyfikowane jako punkty charakterystyczne wyekstrahowane z obrazów radarowych.

3.2 Opis działania aplikacji

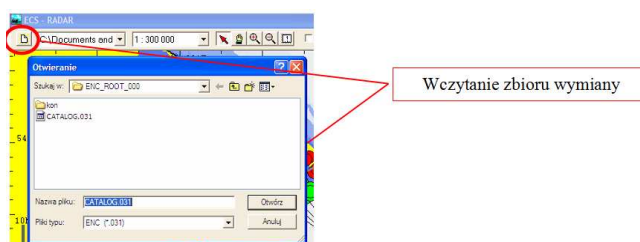
Zasadniczymi funkcjami realizowanymi przez opracowaną aplikację są:

- wczytania map,
- wczytanie obrazów radarowych w pozycję zliczoną,
- wyznaczenie pozycji obserwowanej na podstawie porównania obrazów,
- oszacowanie parametrów obszaru wyszukiwania oznakowania nawigacyjnego/radarowego,
- wyszukanie dostępnego oznakowania w przeszukiwanym sektorze,
- wyznaczenie pozycji estymowanej.

Aplikacja wykonuje jeszcze wiele innych zadań towarzyszących całemu procesowi automatycznego wyznaczenia pozycji w oparciu o obserwację radarową. Aplikacja umożliwia płynne sterowanie obrazem radarowym. Obraz po wczytaniu może być dowolnie skalowany, przesuwany lub obracany. Operator ma możliwość decydowania o ilości informacji mapowej wyświetlanej w oknie operacyjnym [4][5].

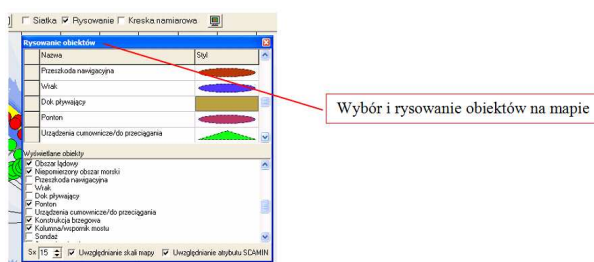
Wczytanie mapy

Wczytanie mapy odbywa się za pomocą kontrolki „Wczytanie zbioru wymiany”.



Rys. 4. Wczytanie mapy

Mapy mogą być dowolnie skalowane. Aplikacja uwzględnia także skalę obrazu radarowego. Obrazy mapy i obrazu radarowego prezentowane są w tej samej skali. Operator może dowolnie wybierać obiekty prezentowane na mapie a także dobierać styl ich reprezentacji na mapie (kolor i kształt)



Rys. 5. Edycja obiektów

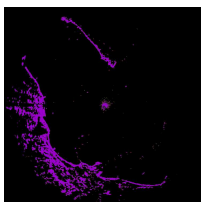
Wczytanie obrazów radarowych

Obrazy radarowe rejestrowane są za pomocą karty PC RadarKit firmy Maris. Umożliwia ona przetworzenie zobrazowania radarowego do postaci cyfrowej i wyświetlanie go na software'owym wskaźniku radarowym. Dostarczone oprogramowanie daje możliwość pełnego operowania obrazem radarowym, zmiany zakresów obserwacji, optymalnego ustawienia zobrazowania, akwizycji i śledzenia obiektów itd.



Rys. 6. Pozyskiwanie obrazu radarowego

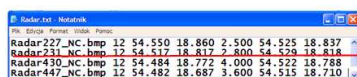
Obraz radarowy przed wczytaniem do aplikacji przechodzi szereg transformacji. Zobrazowanie radarowe prezentowane na wskaźniku zostaje wczytane do pamięci. Kolejny etap to dobór kolorów reprezentujących wystąpienie echa radarowego. Obrazy radarowe zapisywane były z rozdzielczością 1024x768 pikseli. Z obrazów pozyskiwano zobrazowanie radarowe o rozdzielczości 745x745 i zapisywano jako 24 bitowa kolorową (RGB) bitmapę. Kolor CZARNY (R=0, G=0, B=0) imitujący wodę został ustawiony jako przezroczysty. Kolor ech radarowych i lądu ustawiono na poziomie R=153, G=0, B=204 i uzyskano FIOLETOWY. Było to konieczne gdyż kolor pierwotny ech był identyczny z kolorem lądu wykreślanym na mapie elektronicznej. Kolor musi wyróżniać echo radarowe na tle lądu i oznakowania zobrazowanego na mapie. Pierwotnie echo przedstawione jest kolorem żółtym, podobnie jak linia brzegowa i ląd na mapie elektronicznej.



Rys. 7. Obraz radarowy po wstępnej obróbce

Niezmiernie ważne jest określenie koloru, który będzie posiadał cechy przezroczystości. W innym przypadku obraz radarowy będzie zasłaniał obraz mapy. Do każdego obrazu radarowego tworzony jest plik tekstowy zawierający szereg parametrów niezbędnych do dalszej obróbki. Jeżeli do aplikacji wczytywanych jest więcej niż jeden obraz radarowy można wszystkie informacje zapisać w jednym pliku, oddzielając je odpowiednimi separatorami. Plik powinien zawierać takie informacje jak: nazwa obrazu radarowego, zakres obserwacji, pozycja zliczona, błąd pozycji zliczonej, pozycja obserwowana (z systemu nawigacji porównawczej).

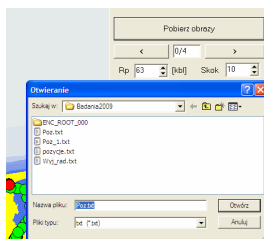
Przykład: Radar231_NC.bmp 12 54.517 18.817 2.800 54.529 18.818



nazwa obrazu: Radar231_NC.bmp
zakres obserwacji(Mm): 12
pozycja zliczona (ϕ λ): 54.517 18.817
błąd pozycji zliczonej (3 σ): 2,800
pozycja obserwowana (ϕ λ): 54.529 18.818

Rys. 8. Plik obróbki danych

Pobieranie obrazów odbywa się za pomocą kontrolki „pobierz obrazy”. W przypadku większej liczby jednorazowo wczytanych obrazów operator ma możliwość wyboru wyświetlanego obrazu.

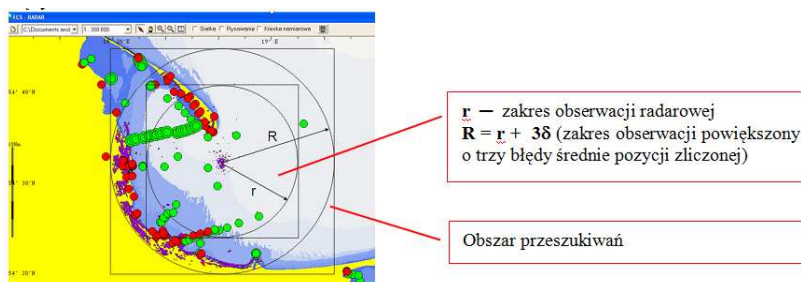


Rys. 9. pobieranie i wybór obrazów radarowych

Wyznaczanie pozycji zliczonej, obserwowanej i estymowanej

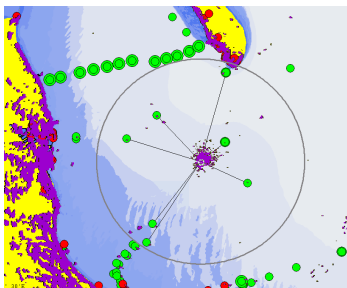
Przygotowana aplikacja umożliwia wyliczenie i prezentowanie na ekranie współrzędnych pozycji zliczonej, obserwowanej i estymowanej.

Pozycja zliczona obliczana jest w sposób ciągły. Rejestracji obrazów radarowych towarzyszy proces zliczenia matematycznego drogi jednostki i określanie jego pozycji wraz z narastającym błędem pozycji, zależnym głównie od czasu zliczenia i błędu ostatniej pozycji obserwowanej. Informacja o błędzie pozycji zliczonej jest bardzo istotna. Obraz radarowy przesuwany po obrazie mapy tylko w pewnym obszarze. Można zawęzić obszar poszukiwania do rejonu równego zakresowi obserwacji radarowej powiększonej o trzy błędy średnie.



Rys. 10. Dobór obszaru poszukiwań do metod porównawczych

W tej sytuacji cały obraz radarowy zawiera się w ww. oszacowanym obszarze ($P=99,7\%$). Kolejne zadanie to wyznaczenie pozycji obserwowanej. Realizowane jest to w bloku nawigacji porównawczej. Stanowi on oddzielną aplikację programową. Obraz radarowy i obraz mapy przetwarzane są do reprezentacji inwariantu konturowego. Uwaga! Podczas tworzenia inwariantu pomijane są echa radarowe pochodzące od pojedynczych odosobnionych obiektów. Aplikacja wykorzystuje funkcję odległości Euklidesa do określenia współczynnika wzajemnego dopasowania obrazów. Obrazy porównywane są i dopasowywane także w swojej pierwotnej postaci, czyli w reprezentacji rastrowej. Zastosowany jest prosty algorytm dopasowania zwany „metodą wzorców”, gdzie porównywane są ze sobą wagi odpowiadających sobie pikseli obrazów. Wybór metody i reprezentacji obrazów zależy od arbitralnej decyzji operatora. Wyznaczona pozycja obserwowana wyświetlana jest w oknach w prawym rogu interfejsu operatora aplikacji. Do pozycji tej przesuwany jest obraz radarowy.



Rys. 11. Obraz radarowy po przesunięciu do wyznaczonej pozycji obserwowanej

Następne zadanie realizowane przez aplikację polega na wyszukiwaniu w ENC wszystkich znaków nawigacyjnych znajdującego się w granicach zadanej odległości od wyznaczonej pozycji obserwowanej i przesłaniu pozycji znaków do aplikacji zewnętrznej. Aplikacja zewnętrzna wykorzystywana jest do poprawiania pozycji obserwowanej metodami wyrównawczymi.

3. WNIOSKI

Badania przeprowadzone w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni potwierdziły tezę, że zobrazowanie elektronicznej mapy nawigacyjnej i cyfrowy obraz radarowy mogą być wykorzystywane do określania pozycji statku w zautomatyzowanych systemach nawigacyjnych. Część sprzętowa takiego systemu powinny stanowić specjalizowane karty PC (RadarKit) – służące konwersji zobrazowania radarowego do postaci cyfrowej i przesłania go do systemu w formie bitmapy lub sekwencji video. Programową aplikacja generująca dedykowany obraz elektronicznej mapy nawigacyjnej składający się tylko z wyróżniających się radarowo, wybranych elementów infrastruktury nawigacyjnej (tj.: linii brzegowej, falochronów, oznakowania nawigacyjnego itp.) oraz aplikacja do wyznaczenia pozycji obserwowanej z porównania dedykowanego obraz mapy z obrazem radarowym. Dokładność wyznaczania pozycji takim systemem zależy od rozdzielczości obrazu, zakresu obserwacji radarowej i zastosowanych algorytmów porównawczych w bloku porównawczym. Pomijalny wpływ mają natomiast zniekształcenia odwzorowawcze mapy.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Czaplewski K., Wąż M. The Using of the Neural Networks and Robust Estimation Methods in Radar Navigation. Navigation and Hydrography nr 18/2004. St. Petersburg, Rosja
- [2] Czaplewski K., Wąż M., Automation of Radar Navigation. European Journal of Navigation, Vol. 7. No. 2, August 2009. str. 33-39
- [3] Czaplewski K., Wąż M., Construction of the Interactive Navigational Structure on the Basis of Radar Display. International Conference ENC-GNSS 2009, 3-6 May, Naples (Italy); str 325-328
- [4] Naus K., The Geometry assembling of spatial objects in Electronic Navigational Chart. IV International Scientific and Technical Conference EXPLO-SHIP 2006, Świnoujście-Kopenhaga 2006, pp. 237-246

- [5] Naus K., Jankiewicz M., Enc as a source of hydrographic data for paper maps. Zeszyty Naukowe AMW, Gdynia 2006.
- [6] Stateczny A., Problemy komputerowego wyznaczania pozycji okrętu metodami porównawczymi. ZN AMW 107A/1990, Gdynia 1990
- [7] Stateczny A., Wąż M. Pozycjonowanie bazujące na obrazach radarowych. Metody nawigacji porównawczej. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdynia 2004 pp. 259-300
- [8] Wąż M. , Metoda wyznaczania pozycji okrętu za pomocą porównania obrazu radarowego z mapą morską. Rozprawa doktorska, Gdynia 2000.
- [9] Wąż M., Precise Matching of Radar Display with the Nautical Chart. International Conference ENC-GNSS 2009, 3-6 May, Naples (Italy); str 329-334
- [10] Wąż M., Cichocki A., Zastosowanie algorytmów porównawczych do określania pozycji okrętu. ZN AMW 1/1999, Gdynia 1999
- [11] Wąż M., Stateczny A., Neural algorithm of fixing the ship's position. Annual of Navigation Nr 2. pp 127-141
- [12] Wiśniewski Z., Metody opracowania wyników pomiarów w nawigacji i hydrografii. AMW Gdynia 2004