



Ryszard WAWRUCH

SYSTEM MOSTKA ZINTEGROWANEGO – PROBLEMY Z INTEGRACJĄ DANYCH RADAROWYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono przyczyny i cel wprowadzania systemów zintegrowanych na mostki nawigacyjne statków morskich oraz oceniono możliwości stosowania jako sensora systemu zintegrowanego radaru pracującego na fali ciągłej zmodulowanej częstotliwościowo (FM-CW). Szczegółowej analizie poddano możliwości detekcyjne takiego radaru w funkcji rodzaju wykorzystywanych w nim algorytmów obróbki cyfrowej sygnału wizyjnego. Efektywność algorytmów oceniono poprzez porównanie odległości wykrycia obiektów rzeczywistych przez zainstalowane w Akademii Morskiej w Gdyni radary FM-CW CRM-203 i impulsowy Raytheon NSC34.

WSTĘP

Postęp techniczny, a szczególnie rozwój elektroniki, automatyki i informatyki oraz dążenie Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IMO) do podniesienia poziomu bezpieczeństwa żeglugi i ochrony środowiska naturalnego przejawiające się między innymi wzrostem liczby wymaganego wyposażenia nawigacyjnego, przy jednoczesnym stałym wzroście prędkości jednostek pływających i redukcji liczby członków ich załóg, to główne przyczyny integracji wyposażenia mostka nawigacyjnego statków morskich. Na mostkach tych statków zaczęto instalować zintegrowane systemy nawigacyjne (Integrated Navigational System – INS) i będące ich rozwinięciem - systemy mostka zintegrowanego (Integrated Bridge System – IBS), które coraz częściej zastępują wyposażenie nawigacyjne z tradycyjnymi wskaźnikami jednofunkcyjnymi. Jakość informacji prezentowanej na wskaźnikach systemów zintegrowanych zależy od poprawności działania algorytmów integrujących dane otrzymane z podłączonych do systemu sensorów o różnym stopniu czułości, odporności na zakłócenia i dokładności wskazań. Jednym z urządzeń stwarzającym aktualnie dość znaczne problemy w tym zakresie są radary, szczególnie pracujące na fali ciągłej zmodulowanej amplitudowo, oznaczane skrótem FM-CW (Frequency Modulated Continuous Wave).

1. SYSTEM MOSTKA ZINTEGROWANEGO I ZINTEGROWANY SYSTEM NAWIGACYJNY

System mostka zintegrowanego (IBS) można zdefiniować jako układ powiązanych ze sobą urządzeń i systemów, wyposażony w zintegrowany wskaźnik lub wskaźniki z konsolami operatorskimi, który umożliwia szybkie i skuteczne przetwarzanie i łączenie

danych pozyskiwanych z podłączonych sensorów w celu usprawnienia procesu podejmowanie decyzji i zmniejszenia ryzyka popełnienia błędu przez człowieka, a w przypadku wystąpienia takiego błędu, jego wykrycie i poinformowanie o nim użytkownika. System powinien zapewniać odpowiednio wyszkolonemu personelowi przebywającemu na stanowisku na mostku nawigacyjnym statku [4]:

- a) scentralizowany dostęp do informacji ze statkowych czujników pomiarowych,
- b) kierowanie statkiem,
- c) kontrolę sytuacji na statku i na zewnątrz niego,
- d) obsługę wszystkich elementów składowych systemu.

Zgodnie z zaleceniami IMO, omawiany system powinien wspomagać statkowe urządzenia i systemy realizujące co najmniej dwie z niżej wymienionych funkcji [4]:

- a) kierowanie statkiem,
- b) łączność,
- c) kontrolę układów maszynowych,
- d) kontrolę operacji związanych z przeładunkiem i opieką nad ładunkiem,
- e) kontrolę bezpieczeństwa i ochronę statku oraz przewożonych nim ludzi i towarów.

Podstawowym elementem składowym IBS jest zintegrowany system nawigacyjny (INS). Jest on wprowadzany w celu odciążenia oficera wachtowego z części przypisanych mu obowiązków, poprzez realizowane automatycznie [5]:

- a) dostarczanie danych potrzebnych do planowania i kontroli ruchu statku oraz sterowania tym ruchem,
- b) dokonywanie oceny danych pochodzących ze wszystkich podłączonych czujników pomiarowych oraz łączenie tych danych celem dostarczenia informacji dającej w odpowiednim czasie ostrzeżenie o potencjalnym niebezpieczeństwie,
- c) przeciwdziałanie degradacji poprawności prezentowanej informacji,
- d) ułatwienie kompleksowej analizy i świadomej oceny aktualnej sytuacji nawigacyjnej i kolizyjnej.

Podstawowym, jedynym w pełni autonomicznym źródłem informacji o sytuacji nawodnej wokół jednostki pływającej jest w INS radar nawigacyjny wyposażony w automatyczne pomoce nakresowe (ARPA lub ATA). Bezpieczeństwo żeglugi statku, którego mostek nawigacyjny jest wyposażony jak pokazano na Fot. 1 i 2, zależy w znacznym stopniu od możliwości detekcyjnych tego urządzenia oraz dokładności przedstawienia radarowego sygnału wizyjnego na zintegrowanym wskaźniku nawigacyjnym. Zagadnienie to jest szczególnie istotne w przypadku aktualnie wprowadzanych do eksploatacji radarów FM-CW. Ze względu na niski poziom wytwarzanych zakłóceń około pasmowych i mniejsze zagrożenie dla życia i zdrowia ludzkiego, urządzenia te mają zastąpić w przyszłości aktualnie wykorzystywane na statkach morskich radary impulsowe. Kwestią otwartą jest jakość algorytmów obróbki cyfrowej sygnału wizyjnego instalowanych aktualnie w radarach FM-CW, mająca wpływ na czułość urządzenia, a więc na zasięg wykrycia obiektów nawodnych i odporność zobrazowania radarowego na zakłócenia hydrometeorologiczne.

W celu oceny jakości aktualnie stosowanych algorytmów obróbki cyfrowej przeprowadzono badania eksperymentalne radaru FM-CW typu CRM-203. Radar ten został skonstruowany przez Przemysłowy Instytut Telekomunikacji S.A. i zainstalowany w laboratorium radarowym Katedry Nawigacji Akademii Morskiej w Gdyni jako element modelu brzegowego centrum Krajowego Systemu Bezpieczeństwa Morskiego (KSBM), zaprojektowanego i zbudowanego w ramach projektu rozwojowego Nr OR00002606 sfinansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ze środków na naukę na lata 2008-2010. Jednym z celów projektu była konstrukcja prototypu morskiego radaru FM-CW, opracowanie algorytmów fuzji danych otrzymywanych z zainstalowanych na brzegu radarów pracujących na fali ciągłej i impulsowo oraz brzegowej stacji systemu automatycznej

identyfikacji statków (Automatic Identification System – AIS), a także prezentacji zintegrowanej informacji na konsoli operatorskiej. Opis skonstruowanego radaru przedstawiono w [3]. Wstępne wyniki pierwszych badań eksperymentalnych możliwości detekcyjnych radaru zostały zaprezentowane, między innymi na tej konferencji w 2009 roku. Można się z nimi zapoznać w opracowaniach wymienionych w pozycjach bibliograficznych numer 6 i 7.



Fot. 1. System mostka zintegrowanego statku morskiego

Źródło: <http://kelvinhughes.co.uk>



Fot. 2. Monitory systemu nawigacji zintegrowanej zainstalowane na mostku nawigacyjnym statku morskiego

Źródło: <http://kelvinhughes.co.uk>

2. OPIS RADARU FM-CW CRM-203 I ZASTOSOWANEGO W NIM ALGORYTMU PRZETWARZANIA DANYCH

Podstawowe parametry techniczno - eksploatacyjne radaru FM-CW CRM-203 zaprezentowano w tabeli 1.

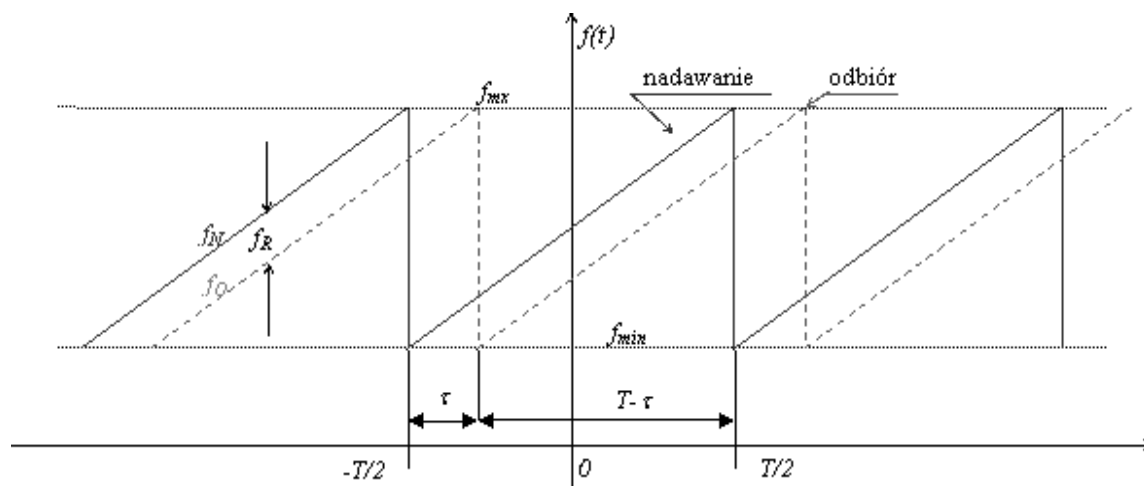
Tab. 1. Podstawowe parametry techniczno-eksploatacyjne radaru FM-CW CRM-203

Parametr	Wartość
Moc wyjściowa	1 mW, 10 mW, 100 mW, 2 W
Częstotliwość nośna	9,3÷9,5 GHz
Rodzaj modulacji	FMCW, DDS
Maksymalna dewiacja częstotliwości	54 MHz (na zakresie 6Mm)
Okres powtarzania sondowania	1 ms
Szerokość pasma pośredniej częstotliwości	4 MHz
Współczynnik szumów	2 dB
Zasięgowa regulacja wzmocnienia	6 dB/okt; 12 dB/okt; 18 dB/okt
Modulacja	liniowa częstotliwości bazująca na DDS
Szerokość wiązki w płaszczyźnie poziomej / pionowej	0,7° / 22°
Polaryzacja fali	liniowa pozioma
Prędkość obrotowa anteny	12-30 obr./min
Liczba komórek odległościowych	4000
Zasada integracji wykryć	5 kolejnych wykryć
Korelacja	2 kolejne obroty anteny
Częstotliwość próbkowania	8 MHz
Szybka transformata Fouriera (FFT)	8192 punktowa
Rozdzielczość zobrazowania radarowego	1280 × 1024 pikseli
Akwizycja ech do śledzenia	automatyczna do 100 ech radarowych
Zakresy instrumentalne	0,25, 0,5, 0,75, 1,5, 3, 6, 12, 24, 48 Mm
Wymiar komórki odległościowej	2,8 m dla zakresu 6 Mm
Dokładność pomiaru odległości	1% załączonego zakresu lub 50 m
Rozdzielczość kątowa i dokładność pomiaru kąta	0,1° / 1°

Źródło: [3]

Zasada pracy radaru FM-CW oraz zastosowane w nim algorytmy obróbki sygnału wizyjnego i jego zamiany z postaci analogowej na cyfrową różnią się od stosowanych w radarach impulsowych. Odległość do obiektu odbijającego sygnał sondujący jest określana poprzez pomiar różnicy częstotliwości sygnału emitowanego i odbieranego, zgodnie z zasadą przedstawioną na rys. 1., na którym zastosowano następujące oznaczenia: f - częstotliwość, f_{\max} , f_{\min} - maksymalna i minimalna wartość częstotliwości emitowanego sygnału, f_N , f_O - częstotliwości sygnału nadawanego i odebranego, f_r - różnica częstotliwości, t - czas, T - okres modulacji częstotliwości, τ - różnica czasu między momentami nadania i odbioru sygnału o takiej samej częstotliwości.

W celu przedstawienia informacji o obiektach nawodnych odbijających radarowy sygnał sondujący należy sygnał ten poddać analizie. Wykorzystuje się do tego celu szybkie przekształcenie (transformatę) Fouriera (Fast Fourier Transform - FFT). Jako informację wyjściową z tego przekształcenia otrzymuje się wartość wektorową informującą o amplitudzie sygnału w danej pozycji określonej namiarem i odległością od pozycji anteny radarowej. Można również zastosować algorytm dwuwymiarowej obróbki FFT, który estymuje jednocześnie odległość oraz prędkość radialną obiektu odbijającego sygnał radarowy, umożliwiając eliminację obiektów stałych rozumianych jako obiekty o zerowej prędkości radialnej. Algorytm dwuwymiarowy wykorzystuje się przede wszystkim w zastosowaniach lądowych radarów FM-CW, wymagających skutecznej detekcji obiektów ruchomych wśród zakłóceń stałych o znacznej amplitudzie. W przypadku aplikacji morskich algorytm obróbki dwuwymiarowej daje korzyści tylko przy niskich stanach morza.



Rys. 1. Zmiany częstotliwości sygnałów w funkcji czasu w radarze FMCW z dwuwymiarową obróbką FFT.

Źródło: [3]

Pomiar prędkości radialnej obiektu oznacza konieczność estymacji częstotliwości dopplerowskiej na podstawie rejestracji sygnału nie w jednym okresie modulacji częstotliwości, lecz w kilku takich okresach. Dwuwymiarowe widmo wyznacza się metodami cyfrowymi. Sygnał odebrany jest próbkowany. Dla każdego okresu modulacji obliczane jest widmo odległościowe za pomocą n-punktowej dyskretnej transformaty Fouriera (Discrete Fourier Transform - DTF) realizowanej szybkimi algorytmami FFT. Następnie obliczane jest widmo za pomocą k-punktowej DTF (dla k okresów modulacji). Estymowane wartości odległości i namiaru są współrzędnymi, dla których moduł dwuwymiarowego widma osiąga maksimum. Odległość między próbkami widma określa jednocześnie wymiary komórki odległościowej i prędkościowej. Pomiar odległości jest obarczony błędem zależnym od prędkości obiektu. Błąd ten można skorygować, jeśli radar jest przystosowany zarówno do pomiaru odległości jak i prędkości (stosuje dwuwymiarową FFT).

Zastosowanie algorytmu FFT daje, poza produktem głównym o częstotliwości odpowiadającej odległości do obiektu odbijającego, również produkty niepożądane, podwyższające poziom tła (szumów i zakłóceń od powierzchni wody). Obniżają one dynamikę zobrazowania radarowego, pogarszając możliwości detekcji i śledzenia obiektów nawodnych odbijających sygnał radarowy. Ten niekorzystny efekt należy odfiltrować. Stosuje się w tym celu tak zwany algorytm oknowania. Badany radar, jako prototyp, został wyposażony w następujące algorytmy oknowania, różniące się charakterystykami i skutecznością redukcji niepożądanych składowych FFT:

- a) Blackmana,
- b) Gaussa,
- c) Hamminga,
- d) Hanna (Hanninga),
- e) Kaisera,
- f) prostokątny,
- g) trójkątny.

Zastosowanie algorytmu „oknowania” zmniejsza jednak rozróżnialność odległościową radaru. Stopień pogorszenia rozróżnialności zależy od wykorzystywanego algorytmu.

Opis algorytmów oknowania zastosowanych w wyżej wymienionym radarze jest umieszczony na stronie internetowej PIT S.A. [2]

3. BADANIE ALGORYTMÓW OBRÓBK CYFROWEJ SYGNAŁU WIZYJNEGO W RADARZE FM-CW CRM-203

Badanie eksperymentalne algorytmów obróbki cyfrowej sygnału wizyjnego w radarze FM-CW CRM-203 przeprowadzono wiosną 2011 roku. Celem badania było sprawdzenie w warunkach rzeczywistych efektywności działania poszczególnych algorytmów oknowania i innych układów obróbki cyfrowej poprzez ocenę ich wpływu na możliwości wykrywcze radaru i jakość zobrazowania sygnału wizyjnego, przed dokonaniem fuzji danych, na wskaźniku ECDIS Transas 4000 i wskaźniku zintegrowanym systemu kontroli ruchu statków. Prezentowane w pracy wyniki pomiarów zostały zarejestrowane w sprzyjających warunkach hydrometeorologicznych, bez opadów atmosferycznych, przy wietrze z kierunków zachodnich (od lądu) i stanie morza do 2 stopni. Podczas pomiarów były zmieniane parametry pracy następujących układów radaru FM-CW:

- a) różniczkującego,
- b) korelacji ogólnej,
- c) korelacji zakłóceń impulsowych,
- d) korelacji zakłóceń stałych,
- e) integrującego,
- f) oknowania,
- g) prędkości obrotowej anteny.

Pomiary przeprowadzono na zakresie pracy radaru 12 Mm (22224 m) umożliwiającym obserwację akwenu całej Zatoki Gdańskiej. Możliwości wykrywcze radaru FM-CW i efektywność jego układów obróbki cyfrowej oceniano poprzez porównanie odległości wykrycia linii brzegowej, pływającego oznakowania nawigacyjnego i statków oraz jakości zobrazowania radarowego na badanym radarze i na nowoczesnym radarze impulsowym Raytheon NSC34, którego antena jest zainstalowana na dachu budynku Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, w odległości kilku metrów od anten badanego radaru FM-CW (Fot. 5)

Fot. 3, 4, 5 i 6 przedstawiają stanowisko pomiarowe, miejsce instalacji anten radarowych oraz widok na Zatokę Gdańską z pozycji instalacji anteny badanego radaru FM-CW.



Rys. 3. Konsola radaru FM-CW CRM-203 (po lewej stronie ekran radarowy, po prawej stronie pulpit ustawień radaru)

Źródło: Opracowanie własne



Rys. 4. Stanowisko do prezentacji na ECDIS zobrażenia radarowego uzyskanego z badanego radaru FM-CW CRM-203

Źródło: Opracowanie własne



Fot. 5. Rozmieszczenie anten radarów Raytheon NSC34 (nr 1) i FM-CW CRM-203 (nr 2) na dachu budynku Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni

Źródło: Opracowanie własne



Fot. 6. Pole widzenia anten nadawczo – odbiorczych radaru FM-CW CRM-203 zainstalowanych na dachu budynku Nawigacji Akademii Morskiej w Gdyni

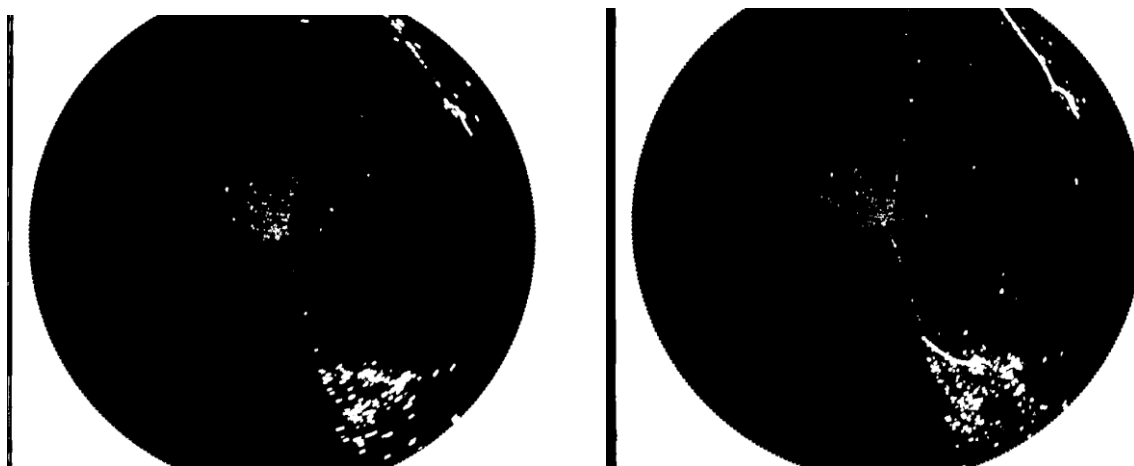
Źródło: Opracowanie własne

PODSUMOWANIE

Na podstawie pomiarów przeprowadzonych w optymalnych warunkach hydrometeorologicznych stwierdzono, że najlepszy obraz otrzymuje się po załączeniu układu różniczkującego i wyłączeniu pozostałych układów obróbki sygnału wizyjnego (integrującego i korelacji: ogólnej, zakłóceń impulsowych i zakłóceń stałych). Wniosek ten jest zgodny z oczekiwaniami gdyż, im mniejsze wymagania w zakresie integracji i korelacji, tym większa czułość urządzenia. Badanie układu integracyjnego może doprowadzić do innych wniosków dla testów realizowanych w niesprzyjających warunkach hydrometeorologicznych. Przy wyższych stanach morza, intensywnych opadach, itp., wartości współczynników korelacji i integracji należy zwiększyć celem wyeliminowania zakłóceń słabiej skorelowanych czasowo niż echa obiektów rzeczywistych. Badania wpływu działania różnych algorytmów oknowania na możliwości wykrywcze radaru wykazały, że w sprzyjających warunkach pogodowych, jakość zobrazowania zależy w małym stopniu od rodzaju wykorzystywanego algorytmu. Poszczególne algorytmy różnią się tylko efektywnością tłumienia zakłóceń wytwarzanych przez radary impulsowe pracujące w pobliżu anten badanego radaru FM-CW. Efekt ich działania w tym zakresie ukazany jest na Fot. 8, na której zakłócenia interferencyjne wytworzone przez radar impulsowy Raytheon NSC34, którego antena nadawczo-odbiorcza jest zainstalowana w pobliżu anten badanego radaru FM-CW, są widoczne w formie okręgu w połowie zakresu obserwacji (zdjęcie lewe) i kropkowanych linii rozchodzących się promieniście ze środka zobrazowania (oba zdjęcia). Trudno ocenić czy przyczyną tak sformułowanego wniosku są małe różnice przydatności poszczególnych algorytmów oknowania, czy też fakt, że badania przeprowadzono w sprzyjających warunkach hydrometeorologicznych.

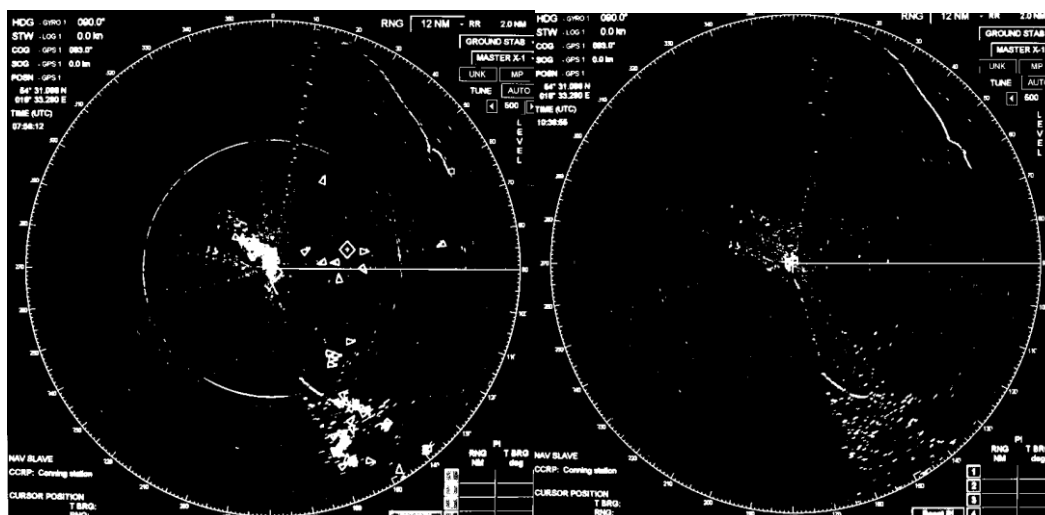
Należy jednocześnie podkreślić, że w czasie badań uzyskano takie same odległości wykrycia linii brzegowej, pływającego oznakowania nawigacyjnego i statków przez testowany radar FM-CW CRM-203 i współczesny radar impulsowy Raytheon NSC34, a więc dane uzyskane z tych urządzeń można uznać za pochodzące z dwóch niezależnych, równoważnych źródeł i poddać fuzji w celu prezentacji na wskaźniku systemu zintegrowanego.

Przykłady zobrazowania uzyskanego w czasie badań na wskaźniku radaru CRM-203 i ECDIS Transas 4000 przedstawiono na Fot. 7 i 8.



Fot. 7. Zobrazowanie radarowe na radarze CRM-203 uzyskane w czasie badania na zakresie 12 mil morskich

Źródło: Opracowanie własne



Fot. 8. Zobrazowanie radarowe na akreanie ECDIS z załączoną i wyłączoną prezentacją symboli obiektów AIS, uzyskane w czasie badania na zakresie 12 mil morskich

Źródło: Opracowanie własne

INTEGRATED BRIDGE SYSTEM – PROBLEMS WITH RADAR DATA INTEGRATION

Abstract

Paper presents reasons and purpose of introducing of the integrated systems on navigational bridges of sea going vessels and possibility assessment of the Frequency Modulated Continuous Waves (FM-CW) radar utilisation as a sensor in these systems. Detection possibility of these radars in function of the type of video signal digital processing algorithm utilised in the radar was subject particular analysis. Algorithms efficiency was assessed by comparison of rear objects detection distances by installed in Gdynia Maritime University radars FM-CW CRM-203 and pulse radar Raytheon NSC34.

BIBLIOGRAFIA

1. [Http://www.kelvinhughes.co.uk](http://www.kelvinhughes.co.uk)
2. [Http://www.pit.gda.pl](http://www.pit.gda.pl)
3. Plata S., Wawruch R.: *CRM-203 Type Frequency Modulated Continuous Wave (FM-CW) Radar*. International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 3, No. 3, September 2009.
4. Rezolucja IMO MSC.64(67) Annex 1: *Recommendation of Performance Standards for Integrated Bridge Systems (IBS)*, London, IMO 1996.
5. Rezolucja IMO MSC.252(83): *Performance Standards for Integrated Navigation System (INS)*, London, IMO 2007.
6. Stupak T., Wawruch R.: *Analiza możliwości detekcji radaru FM-CW i impulsowego*, Logistyka nr 6/2010, str. 3428-3253.
7. Wawruch R., Stupak T.: *Detection Possibilities of Pulse and FM-CW Radars – Comparative Analysis*, International radar Symposium „IRS 2009”, Proceedings, German Institute of Navigation (DGON), Technical University of Hamburg, Hamburg, 2009, pp. 131-134.

Autor: dr inż. Ryszard WAWRUCH – Akademia Morska w Gdyni