

Ryszard Wawruch
Akademia Morska w Gdyni

Tadeusz Stupak
Akademia Morska w Gdyni

ZAŁOŻENIA ALGORYTMU FUZJI DANYCH W RADAROWYM SYSTEMIE KONTROLI RUCHU MORSKIEGO

Streszczenie: Rozwój na początku obecnego wieku nowych technologii w radiolokacji morskiej, w szczególności radarów pracujących na fali ciągłej z modulacją częstotliwościową (FMCW), możliwości prezentacji i powiększenia wybranych części radarowego sygnału wizyjnego na elektronicznej mapie nawigacyjnej (ENC) spełniającej standard systemu obrazowania elektronicznych map i informacji nawigacyjnych (ECDIS) oraz w zakresie techniki termowizyjnej, a także wdrożenie nowego systemu automatycznej wymiany informacji w relacji statek - stacja brzegowa, stwarzają nowe możliwości kontroli ruchu morskiego. Referat prezentuje założenia algorytmu fuzji danych w brzegowym systemie kontroli ruchu morskiego prezentującym dane na monitorze ECDIS i wyposażonym w: urządzenia radarowe pracujące impulsowo i na fali ciągłej, stację brzegową systemu automatycznej identyfikacji (AIS) i kamerę termowizyjną.

Słowa kluczowe: system kontroli ruchu statków, radar, system automatycznej identyfikacji, elektroniczna mapa nawigacyjna

1. WSTĘP

Szybki postęp technologiczny w dziedzinie elektroniki, informatyki i telematyki, którego efektami są między innymi: wprowadzenie do transportu morskiego systemu automatycznej identyfikacji (AIS – automatic identification system) i systemu obrazowania elektronicznych map i informacji nawigacyjnych (ECDIS - electronic chart display and information system) oraz konstrukcja morskiego radaru pracującego na fali ciągłej z modulacją częstotliwościową (FMCW – frequency modulated continuous wave radar), stwarzają nowe możliwości w zakresie monitorowania i kontroli ruchu morskich jednostek pływających. Możliwości te należy uwzględnić, projektując krajowy system

bezpieczeństwa morskiego (KSBM) planowany do wdrożenia przez polską administrację morską.

Niniejszy referat został opracowany w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2008-2010 jako projekt rozwojowy numer OR00002606 „Opracowanie i badanie procesu przetwarzania i prezentacji informacji nawigacyjnie użytecznej zintegrowanego systemu kontroli ruchu morskiego dla potrzeb Krajowego Systemu Bezpieczeństwa Morskiego (KSBM)”.

2. ZASADY FUZJI DANYCH W RADAROWYM SYSTEMIE KONTROLI RUCHU MORSKIEGO

Dla każdego urządzenia radarowego podłączonego do systemu, system ten powinien przeliczać współrzędne biegunowe wykrytych obiektów radarowych (namiar i odległość) na współrzędne geograficzne w układzie WGS 84, tworząc tak zwane zorientowane geograficznie dane radarowe, a następnie dokonywać fuzji danych: [7]

- a) zorientowanych geograficznie danych radarowych z co najmniej jednego radaru z danymi z urządzenia lub urządzeń AIS zainstalowanych na stałym oznakowaniu nawigacyjnym (stawie) w przestrzenny sygnał radarowy,
- b) przestrzennego sygnału radarowego ze wszystkich, podłączonych do systemu urządzeń pracujących impulsowo i na fali ciągłej w kompleksowy sygnał radarowy,
- c) kompleksowego sygnału radarowego z wektorową mapą elektroniczną (ENC) Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej (BHMW) w mapę radarową,
- d) mapy radarowej z danymi ze statkowych urządzeń AIS w sygnał radar/AIS,
- e) opcyjnie: sygnału radar/AIS z obrazem z kamery termowizyjnej w kompleksowy sygnał wizyjny.

2.1. Fuzja zorientowanych geograficznie danych radarowych z danymi transmitowanymi przez AIS zainstalowane na stałym oznakowaniu nawigacyjnym

Celem fuzji zorientowanych geograficznie danych radarowych z danymi z urządzenia lub urządzeń AIS zainstalowanych na stałym oznakowaniu nawigacyjnym (stawie) jest:

- a) wykrycie niesprawności bloku nadawczo-odbiorczego, układu antenowego i układu detekcji radaru,
- b) wykrycie niepoprawnej wartości kierunku odniesienia lub utraty przez radar kierunku odniesienia,
- c) wykrycie niepoprawnej wartości pozycji geograficznej anteny radarowej i błędów przeliczenia współrzędnych w układzie biegunowym na współrzędne geograficzne,
- d) wykrycie błędów pomiarów radarowych przekraczających zadane wartości graniczne,
- e) ukazanie możliwości fuzji danych radarowych i AIS dla poprawnej informacji pozycyjnej transmitowanej przez AIS.

Pozycja geograficzna (szerokość geograficzna – φ i długość geograficzna - λ) echa radarowego stawy wyposażonej w AIS nie powinna różnić się od pozycji transmitowanej przez zainstalowane na tej stawie urządzenie AIS, o wartości $\Delta\varphi$ i $\Delta\lambda$ większe od ich wartości granicznych $\Delta\varphi_{\text{limit}}$ i $\Delta\lambda_{\text{limit}}$, obliczonych dla dokładności urządzeń radarowych, z uwzględnieniem błędów danych pozycyjnych transmitowanych przez AIS. W przypadku nie spełnienia powyższego warunku powinien być generowany alarm „błąd radaru”.

2.2. Zasady fuzji przestrzennego sygnału radarowego z urządzeń pracujących impulsowo i na fali ciągłej

W systemie kontroli ruchu statków mogą pracować zarówno radary impulsowe jak i FMCW. Urządzenia te różnią się znacznie możliwościami detekcyjnymi, szczególnie w niekorzystnych warunkach hydrometeorologicznych, dokładnościami pomiaru i ceną. Dla radarów impulsowych standardowa dokładność określenia odległości wynosi 1% zakresu obserwacji, dla urządzeń pracujących na fali ciągłej można ją obliczyć mnożąc zakres obserwacji przez trzy i dzieląc przez 4096. Wykonując stosowne obliczenia, otrzymuje się dla zakresu obserwacji 6 mil morskich (11112 m) następujące przybliżone wartości omawianego błędu: 111 m dla radaru impulsowego i 8 m dla radaru FMCW. Tak duża różnica błędu określeniu pozycji wpływa na dokładności obliczenia wektora ruchu wykrytego obiektu. [2]

Statek obserwowany przez dwa radary z różnych kierunków może dawać oddzielne, oddalone od siebie echa, których parametry ruchu obliczone przez układy śledzące mogą się znacznie różnić. Odległość wykrycia radarem, skuteczna powierzchnia odbicia i wymiary obiektu, a szczególnie długość statku nie są ze sobą powiązane prostą i jednoznaczną zależnością. Wielkość i struktura echa radarowego zależy przede wszystkim od zasady pracy radaru, odległości obiektu od anteny radarowej, jego równoważnej powierzchni odbicia i poziomu zakłóceń hydrometeorologicznych w pobliżu jego pozycji. Równoważna powierzchnia odbicia jest funkcją wielu parametrów obiektu odbijającego i można ją opisać matematycznie tylko dla obiektów o prostej konstrukcji.

Celem uproszczenia algorytmów detekcji można założyć, że echo wykryte za pomocą radaru brzegowego z odległości przekraczającej 10 mil pochodzi od statku handlowego (z tych odległości nie są widoczne małe jednostki). Równocześnie, w obszarze działania systemu kontroli ruchu zwykle są wyznaczone tory wodne, więc ruch dużych jednostek - statków handlowych odbywa się jedynie w wyznaczonych pasach ruchu. Podobnie, statki te mogą kotwiczyć tylko w wyznaczonych miejscach. Nieuporządkowany jest natomiast ruch jednostek rybackich i rekreacyjno- sportowych oraz statków specjalnych, które mogą żeglować po całym obszarze działania systemu. Na tej podstawie można wnioskować, że pojawienie się echa radarowego w określonym obszarze definiuje w pewnym stopniu rodzaj obiektu, od którego pochodzi wykryty sygnał. Dla potrzeb fuzji danych, czyli w tym wypadku łączenia w jeden obiekt dwu lub więcej ech znajdujących się w małej odległości wzajemnej, ale dużej od anteny radaru, można przyjąć wymiary bramki uwzględniające dokładność detekcji sygnału radarowego i spodziewane wymiary statku. Jeżeli echo pojawia się na ekranie radaru dopiero w odległościach mniejszych niż 10 mil morskich to pochodzi ono prawdopodobnie od małej jednostki i omawiana bramka może być odpowiednio mniejsza.

Z powyższych uwag wynika, że ze względu na duże zróżnicowanie wielkości wykrywanych obiektów i ich prędkości, nie należy przyjmować jednej definicji obiektu śledzonego i jednego wymiaru bramek detekcyjnej i integracyjnej. W tabelicy 1 podano wymiar impulsu odbitego od obiektu punktowego znajdującego się w różnych odległościach od anteny, w funkcji rozdzielczości kątowej obrazu radarowego. W systemie kontroli ruchu powinna być praktycznie osiągnięta dokładność kątowa w granicach połowy stopnia.

Tablica 1.

Kątowy wymiar impulsu dla różnych dokładności skanowania kątowego [m] [1]

D [Mm]	$4096/2\pi$	$2048/2\pi$	$0,2^\circ$	$0,25^\circ$	$0,5^\circ$	$1,0^\circ$
1	2,8	5,7	6,48	8	16	32,2
3	8,5	17	19,4	24	48,5	96,6
6	17	34	39	48	97	193
12	33,9	68	77,7	97	194	386
18	51	102	116,5	144	290	580
30	84	171	194	240	485	966

Z powyższej tabeli wynika, że w odległości 12 mil morskich (około 22 km) od anteny radarowej o dokładności skanowania kątowego równej $0,5$ stopnia, echo obiektu punktowego ma wymiar kątowy równy około 200 m.

Należy podkreślić, że zwykle wysyłanych jest w kierunku obiektu punktowego około 8 sygnałów sondujących w czasie jednego obrotu anteny. Daje to możliwość skanowania poprzez porównywanie jego powtarzalności w czasie kolejnych cykli pracy. Radar pracujący na fali ciągłej może porównywać 15 kolejnych cykli zmiany częstotliwości. Jednocześnie, przy wymaganej dużej liczbie powtórzeń, echo może zajmować kątowo 1° , lub nawet więcej stopni. W tej sytuacji integracja wymaga analizy większego obszaru powierzchni morza, a więc jest mniej odporna na zakłócenia hydrometeorologiczne i dodatkowo pojawia się problem mylenia obiektów znajdujących się blisko siebie. [8]

Z powyższych rozważań wynika, że samo porównanie położenia ech może dawać fałszywe dane dla integracji. Dlatego należy przyjąć, że proces integracji powinien być wspomagany porównaniem wartości kursów i prędkości ech integrowanych na podstawie kryterium pozycji. Bardziej szczegółowy opis kryteriów detekcji i śledzenia obiektów nawodnych przez radary brzegowe wykracza poza ramy niniejszego referatu.

2.3. Fuzja kompleksowego sygnału radarowego z wektorową mapą elektroniczną (ENC) Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej (BHMW)

Mapa elektroniczna spełniająca standard ECDIS z nałożonym na nią skompilowanym obrazem radarowym powinna być zorientowana w stosunku do kierunku północy rzeczywistej i prezentowana w skali zdefiniowanej przez użytkownika. Na monitorze powinien być pokazywany radarowy sygnał wizyjny oraz wektory ruchu śledzonych ech radarowych.

System powinien generować automatycznie alarm, jeżeli dla śledzonego, widocznego na radarze punktu stałego i pływającego oznakowania nawigacyjnego są spełnione nierówności:

- dla stałego oznakowania nawigacyjnego:

$$\Delta\varphi > \Delta\varphi_{\text{limit}} \quad \text{lub} \quad \Delta\lambda > \Delta\lambda_{\text{limit}} \quad (1)$$

gdzie: $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$, $\Delta\varphi_{\text{limit}}$, $\Delta\lambda_{\text{limit}}$ – błędy określenia współrzędnych geograficznych pozycji oznakowania i dopuszczalne ich wartości,

- dla pływającego oznakowania nawigacyjnego:

$$\Delta\varphi > \Delta\varphi_{\text{limit}} + (l^2 - h^2)^{1/2} \quad \text{lub} \quad \Delta\lambda > \Delta\lambda_{\text{limit}} + (l^2 - h^2)^{1/2} \quad (2)$$

gdzie: l - długość łańcucha kotwicznego pławy [m],
 h - głębokość akwenu w miejscu kotwiczenia pławy [m].

Stosunkowo wysoka dokładność określenia odległości radarem FMCW sprawia, że istotny może być problem błędów odwzorowania elektronicznej mapy nawigacyjnej (ENC - electronic navigational chart). Celem wyjaśnienia tej kwestii, poddano analizie wpływ zastosowanego odwzorowania kartograficznego mapy podłożonej pod obraz radarowy na wprowadzane przez tą mapę błędy w stosunku do sytuacji rzeczywistej przy założeniu, że obszar objęty badaniem to okrąg o promieniu 6 Mm (około 11 km) od współrzędnych



Rys. 1. Mapa ECDIS z informacją z AIS

posadowienia anteny radaru. Do celów analizy przyjęto parametry elipsoidy odniesienia WGS-84 oraz globalny poziomy układ odniesienia WGS-84 oraz wykorzystano cztery oprogramowania będące w zasobach Biura Hydrograficznego Marynarki Wojennej RP.

Do analizy przyjęto odwzorowania zwyczajowo stosowane w nawigacji morskiej, charakteryzujące się niżej wymienionymi dokładnościami dla odległości rzędu 11 km: [3]

- odwzorowanie uniwersalne poprzeczne Merkatora UTM – 4,444 m,
- odwzorowanie azymutalne ortograficzne w położeniu ukośnym – 5,908 m,
- odwzorowanie azymutalne równoodległościowe w położeniu ukośnym – 0,0010 m,
- odwzorowanie azymutalne stereograficzne w położeniu ukośnym – 0,028 m.
- odwzorowanie walcowe równokątne Merkatora – 16,7077 m.

Jak widać, błędy pierwszych czterech proponowanych odwzorowań kartograficznych mapy zawierają się w wartościach nie większych niż błędy radaru.

2.4. Zasady fuzji danych radarowych i danych z systemu automatycznej identyfikacji statków (AIS)

Można stwierdzić, że jest to najważniejsze zadanie fuzji danych, gdyż system radarowy dostarcza wiarygodnej i pełnej informacji o sytuacji nawigacyjnej na monitorowanym akwenu, ale o ograniczonej dokładności i z pewnym opóźnieniem czasowym. AIS transmituje na bieżąco dane z urządzeń statkowych i oznakowania nawigacyjnego, a więc informuje potencjalnie dokładniej o ich aktualnych pozycjach i wektorach ruchu. Jednakże, nie wszystkie jednostki pływające są wyposażone w AIS oraz, w przypadku wadliwej konfiguracji lub awarii urządzeń statkowych, system ten może transmitować bez ostrzeżenia fałszywe informacje. Dlatego dane te powinny być weryfikowane za pomocą innego źródła informacji. Dla potrzeb fuzji można przyjąć, że dane z AIS są dodawane do informacji radarowej, a więc przy określaniu wielkości bramki, w której powinna znaleźć się pozycja radarowa i z AIS, są uwzględniane wymiary statku. Na podstawie informacji z obu źródeł może być wybrana bramka uwzględniająca dokładność skanowania w funkcji odległości od anteny, prędkości i wielkości obiektu oraz dokładności informacji. [4]

Radar pozwala skanować obraz zależnie od prędkości obrotowej anteny w czasie od 1,5 do 3 s. Dane w systemie AIS są przesyłane z częstością zależną od prędkości statku, w odstępach czasowych wynoszących od 2 do 30 s dla obiektów przemieszczających się i co 3 min w przypadku obiektów nieruchomych. Dane radarowe muszą być więc sprowadzane do momentu ostatniej transmisji AIS. [5]

Na podstawie powyższych rozważań można stwierdzić, że dla obiektów wyposażonych w AIS, algorytm powinien weryfikować poprawność danych radarowych o pozycji i parametrach ruchu korzystając z informacji AIS. Podstawowym kryterium jest zgodność pozycji z uwzględnieniem wymiarów liniowych obiektu i parametrów jego ruchu oraz dokładności pomiarów. W przypadku przemieszczania się obiektów stojących na kotwicy należy dodatkowo sprawdzić zgodność informacji o ich prędkości oraz o kierunku ich ruchu i kursie żyrokompasowym. [6] W sytuacji, kiedy wyznaczone warunki integracji danych nie są spełnione, zachodzi podejrzenie obecności dwóch obiektów. W dalszej prezentacji takie cele muszą być pokazywane, jako dwa różne obiekty. Istnieje też ryzyko prezentacji jednego celu w postaci dwóch ech – radarowego i AIS – taki stan rzeczy może świadczyć o błędzie grubym systemu AIS lub systemu radarowego. W zależności od

przyczyn niezgodności wskazań radaru i AIS opracowywany system powinien wygenerować odpowiedni alarm mający na celu zwrócenie uwagi operatora systemu VTS na stan potencjalnie awaryjny.



Rys.2. Odbiornik GPS i urządzenie AIS

2.5. Zasady fuzji sygnału radar i danych z AIS z obrazem z kamery termowizyjnej

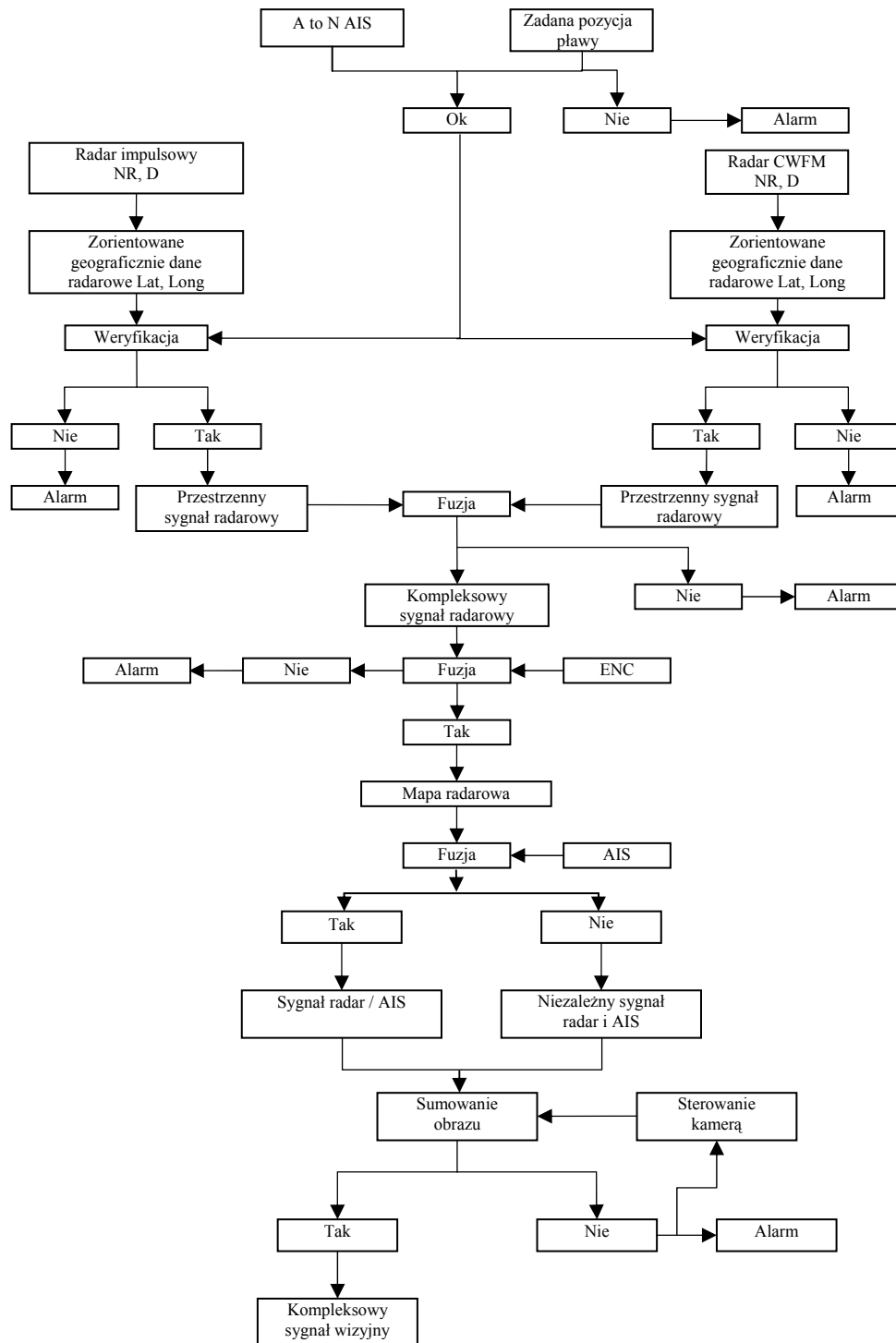
Wykorzystanie kamer pracujących w paśmie widzialnym lub termowizyjnym stwarza nowe możliwości obserwacji. Pozwala identyfikować śledzone obiekty wzrokowo, przeczytać ich nazwy, obserwować zachowanie na fali, itp. Obserwacja w paśmie podczerwonym umożliwia wykrycie obiektu na podstawie promieniowania cieplnego, co pozwala np. na wykrycie rozbitka w wodzie, co nie jest możliwe innymi metodami detekcji. [7] Dla ułatwienia lokalizacji obiektu obserwowanego kamerą należy połączyć obraz z kamery z obrazem mapy. Z jednej strony operatorowi należy zapewnić możliwość sterowania ustawieniem kamery na podstawie obrazu prezentowanego na konsoli operatorskiej. Z drugiej strony, system sterowania kamerą powinien zapewnić możliwość automatycznego śledzenia radarem poruszającego się obiektu obserwowanego przy jej pomocy. Obraz kamery powinien być prezentowany, albo na osobnym monitorze, albo w wybranym oknie wyświetlanym na ekranie konsoli operatorskiej w pobliżu pozycji echa obserwowanego obiektu.

3. PODSUMOWANIE - ALGORYTM FUZJI DANYCH W RADAROWYM SYSTEMIE KONTROLI RUCHU MORSKIEGO

W referacie przedstawiono założenia algorytmu fuzji danych w radarowym systemie kontroli ruchu morskiego, który będzie testowany latem bieżącego roku na zintegrowanym stanowisku konstruowanym aktualnie w Akademii Morskiej w Gdyni. Na stanowisku tym będą prezentowane na mapie elektronicznej uaktualnianej na bieżąco przez BHMW

i spełniającej wymagania ECDIS, zintegrowane dane z wyposażonych w układy śledzące radarów impulsowych i FMCW skonstruowanego przez Przemysłowy Instytut Telekomunikacji S.A. oraz różnego typu AIS (klas A i B, ratowniczego SAR i zainstalowanego na oznakowaniu nawigacyjnym).

Proponowany algorytm fuzji danych przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Algorytm fuzji danych

Bibliografia

1. Plata S., Wawruch R.: CRM-203 Type FMCW radar. International radar Symposium „IRS 2009”. Proceedings, German Institute of Navigation, Technical University of Hamburg, pp. 643-647, Hamburg, 2009.
2. Plata S., Wawruch R.: CRM-203 Type Frequency Modulated Continuous Wave (FM CW) Radar. Monograph „Marine Navigation and Safety of Sea Transportation”, Editor Adam Weintrit, Gdynia Maritime University, CTC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, pp. 207-210, Leiden, 2009.
3. Stupak T., Wawruch R.: Data transmission, integration and presentation in Vessel Traffic Management System (VTMS). Advances in transport systems telematics, praca zbiorowa pod redakcją J. Mikulskiego, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2009.
4. Wawruch R.: Wykorzystanie systemu automatycznej identyfikacji do monitorowania statków morskich. Przegląd Telekomunikacyjny, rocznik LXXX, str. 969-975, 2007, nr 12.
5. Wawruch R.: Possibility of assessment of ship's radar detection parameters using AIS data. Logistyka-nauka, artykuły recenzowane, Logistyka nr 6, 2009.
6. Wawruch R., Accuracy of information about ships received from AIS and radar tracking equipment. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 17, pp. 94-98, 2008 No 5A.
7. Wawruch R., Conception of the national sea safety management and monitoring system. European Safety and Reliability Conference (ESREL), Proceedings, p.p. 2035-2038, A.A. Baklema Publishers, Leiden/London/New York/Philadelphia/Singapore, 2005.
8. Wawruch R., Stupak T.: Detection Possibilities of Pulse and FMCW Radars – Comparative Analysis. International radar Symposium „IRS 2009”, Proceedings, German Institute of Navigation (DGON), Technical University of Hamburg, pp. 131-134, Hamburg, 2009.

ASSUMPTION FOR DATA FUSION ALGORITHM IN MARITIME TRAFFIC RADAR CONTROL

Abstract: Development of new technologies in maritime radiolocation, mainly frequency modulated continuous wave (FMCW) radars with possibility of presentation of radar video signal on the electronic navigational chart (ENC) fulfilling standard for electronic chart display and information system (ECDIS) and zooming of its chosen part, as well as in the scope of thermo-vision cameras and introducing of new system for automatic data exchange between ships and coastal station create new possibilities for maritime traffic control. Paper presents assumption for data fusion algorithm in coastal maritime traffic control system fitted with FMCW and pulse radars, shore station of the automatic identification system (AIS) and thermo-vision camera, presenting data on ECDIS monitor.

Keywords: vessel traffic control, radar, automatic identification system, electronic navigational chart