

**ZESZYTY NAUKOWE NR 2 (74)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE**

EXPLO-SHIP 2004

Wiesław Juszkiewicz

**Analiza wpływu informacji z logu
na dokładność śledzenia obiektów w urządzeniach ARPA**

Słowa kluczowe: ARPA, śledzenie

Istotnym czynnikiem mającym wpływ na dokładność estymacji ruchu śledzonego obiektu realizowanej w urządzeniach ARPA jest dostarczenie precyzyjnej informacji o parametrach ruchu statku własnego. W przypadku, gdy informacja ta obarczona jest stałym błędem, jedynie parametry ruchu rzeczywistego śledzonych jednostek zostaną wyliczone niewłaściwie. W artykule przedstawiono wyniki badań dokładności procesu estymacji przy błędnej informacji o prędkości rzeczywistej statku własnego.

**Own Ship's Speed Information Influence on the Tracking
Accuracy in ARPA Systems**

Key words: ARPA, tracking

One of the most important factors of the tracked target movement estimation accuracy is precise information on own ship's true course and speed. If this information is incorrect due to constant error, the computed true course and speed of the tracked target could be false. The research herein presented has dealt with the estimation accuracy in the case when the information on true speed of own ship is false.

Wstęp

Podstawowe zadanie urządzeń antykolizyjnych polega na wyliczeniu z wymaganą dokładnością zarówno parametrów zbliżenia (*Closest Point of Approach* – CPA, *Time to Closest Point of Approach* – TCPA) jak i ruchu rzeczywistego śledzonych obiektów, a następnie przedstawienie ich w określonej formie na ekranie wskaźnika oraz (na żądanie operatora) w postaci alfanumerycznej. Wymagania dokładności pracy urządzeń antykolizyjnych zawarte są w Rezolucji IMO A.823(19).

Dokładność pracy ARPA zależy zarówno od jakości informacji otrzymywanej z logu, radaru i żyrokompasu jak i stabilności ruchu statku własnego oraz śledzonego obiektu. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w trakcie procesu estymacji muszą zostać zrealizowane dwa przeciwstawne zadania, a mianowicie proces śledzenia musi być wystarczająco dokładny z jednoczesnym zapewnieniem możliwości wystarczająco szybkiego wykrycia manewru śledzonego statku.

Zgodnie z zaleceniami IMO w programie kursu obsługi urządzeń antykolizyjnych szczególnie nacisk powinien zostać położony na omówienie oraz prezentację dokładności pracy a także ograniczeń procesu śledzenia. Jednym z istotnych zagadnień jest problem wpływu dokładności informacji o prędkości rzeczywistej statku własnego na dokładność wyliczonych danych. Zgodnie z Rezolucją A.823(19) do urządzeń ARPA powinna być dostarczona informacja o prędkości statku po wodzie. Zapewni to możliwość wyliczenia parametrów ruchu rzeczywistego śledzonych obiektów, przy stabilizacji zobrazowania względem wody (*sea stabilization*). Ma to szczególne znaczenie przy ocenie sytuacji panującej wokół statku własnego oraz ewentualnym planowaniu akcji zapobiegawczej. Dane pozwalające na uzyskanie stabilizacji obrazu radarowego względem dna (*ground stabilization*) mogą być dostarczone ręcznie, z logu dopplerowskiego, elektronicznego systemu określania pozycji (pod warunkiem, że dokładność pomiaru prędkości jest zgodna z wymaganiami Rezolucji A.824(19)) lub wyliczone na podstawie śledzenia obiektu stałego. Informacja o rodzaju danych wejściowych oraz uzyskanej na ich podstawie stabilizacji powinna być prezentowana na wyświetlaczu.

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń błędów estymacji, wynikające bezpośrednio z dostarczenia do systemu ARPA niewłaściwej informacji o prędkości rzeczywistej statku własnego.

1. Charakterystyka dokładności procesu śledzenia

Podczas realizacji procesu śledzenia są zapamiętywane kolejno zmierzone pozycje obiektu i jest analizowana reprezentowana przez nie droga. Ze względu na występowanie błędów pomiarów radarowych oraz myśzkowanie statku, zarejestrowana droga echa nie jest linią prostą, w związku z czym istnieje konieczność zastosowania jednej z metod filtracji. Jej zadanie polega na możliwie wiernym odtworzeniu prawdziwej trasy obiektu i wyliczeniu na tej podstawie parametrów jego ruchu.

W procesie śledzenia realizowanego w urządzeniach ARPA można wyróżnić następujące etapy:

- predykcję, czyli etap polegający na przewidywaniu kolejnego, nowego położenia śledzonego obiektu w czasie następnej obserwacji, realizowany na podstawie informacji o bieżącej pozycji oraz wcześniej wyliczonych parametrach jego ruchu;
- korelację położenia i prędkości, czyli etap polegający na określeniu nowego aktualnego położenia oraz parametrów ruchu na podstawie przewidywanej i aktualnie zmierzonej pozycji echa.

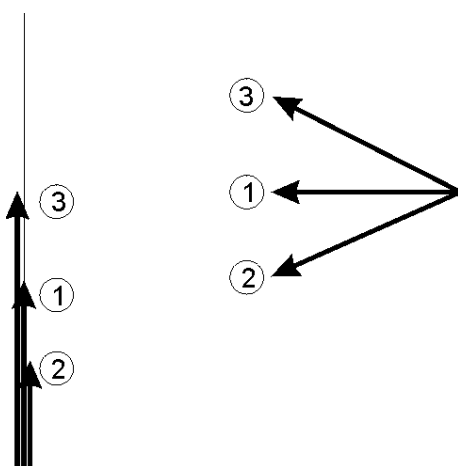
Należy zdawać sobie sprawę z tego, że wykorzystanie różnych metod filtracji napotyka na podobne problemy wyboru między dokładnością wyliczonych danych a skutecznością wykrywania manewru obiektu. Jeśli zwiększona zostanie liczba pozycji branych pod uwagę przy obliczeniach (wydłużenie czasu śledzenia), to dokładność procesu wzrośnie, lecz wykrycie manewru śledzonej jednostki będzie trudniejsze. I odwrotnie, jeśli zmniejszona będzie liczba pozycji, to manewry obiektów będą wykryte wcześniej, lecz śledzenie nie będzie dokładne (mała stabilność procesu śledzenia).

Innym problemem związanym z procesem śledzenia jest wybór tras poddanych estymacji. Wygładzaniu mogą zostać poddane zarówno trasy względne, jak i rzeczywiste. Jednak w przypadku, gdy statki nie manewrują i nie występuje zmiana błędów parametrów wejściowych (np. występuje stały błąd informacji o prędkości rzeczywistej statku własnego), obie metody estymacji dają podobne rezultaty [3].

Jak już wspomniano, wymagana dokładność procesu śledzenia została określona w Rezolucji IMO A.823(19). Przedstawiono w niej scenariusze testowe oraz dopuszczalne błędy procesu estymacji. Zawarte w tabelach dopuszczalne wartości błędów estymacji powinny zostać osiągnięte w czasie 1 minuty (tendencja ruchu obiektu) oraz 3 minut (najwyższy stopień dokładności), z prawdopodobieństwem 95% i przy założeniu, że błędy danych wejściowych nie przekraczają wartości wymienionych w załączniku III Rezolucji. W przypadku logu oznacza to konieczność kalibracji z dokładnością lepszą od 0,5 węzła [2].

Wszystkie błędy wskazań prędkości statku uzyskiwanej z logu, mające stałą wartość, będą przyczyną wyliczenia błędnych wartości kursu i prędkości rzeczywistej śledzonych obiektów, nie wpłyną natomiast na powstanie dodatkowych błędów przy wyliczeniu najmniejszej odległości minięcia się statków oraz czasu jej wystąpienia (*CPA* i *TCPA*). Należy stwierdzić, iż podobny efekt wystąpi w przypadku wprowadzenia do ARPA błędnej informacji o prędkości statku w sposób ręczny (jeśli np. operator bezpośrednio odczyta prędkość statku z elektronicznego systemu określania pozycji na akwenach, gdzie występują prądy lub na statek działa silny wiatr) lub jeśli informacja o prędkości jest wprowadzona bezpośrednio z systemu określania pozycji statku. Natomiast jeśli błędy wskazań logu będą miały charakter zmienny, wtedy (przy wygładzaniu tras rzeczywistych) może dojść także do błędnego wyliczenia wartości *CPA* i *TCPA* śledzonego obiektu.

Wpływ błędnej informacji o prędkości statku może mieć istotne znaczenie przy interpretacji sytuacji panującej wokół statku własnego, zwłaszcza w warunkach ograniczonej widzialności, gdy ARPA jest jedynym źródłem informacji o obiektach znajdujących się w pobliżu. Sytuacja taka jest przedstawiona na rysunku 1. Ponadto planowanie akcji zapobiegawczej dla błędnych danych zarówno o ruchu statku własnego, jak i śledzonych obiektów z wykorzystaniem funkcji *Trial* jest mało precyzyjne i nie zapewnia osiągnięcia określonej przez nawigatora bezpiecznej odległości minięcia się statków.



Rys. 1. Wpływ błędnej informacji o prędkości statku własnego na dokładność wyliczenia parametrów ruchu rzeczywistego obiektu: ① – wartości właściwe prędkości i kursu statku własnego i obiektu, ② – zbyt mała wartość prędkości własnej i wyliczony błędny wektor rzeczywisty obiektu, ③ – zbyt duża wartość prędkości własnej i wyliczony błędny wektor rzeczywisty obiektu

Fig. 1. The influence of incorrect own ship speed data on true motion parameters calculation

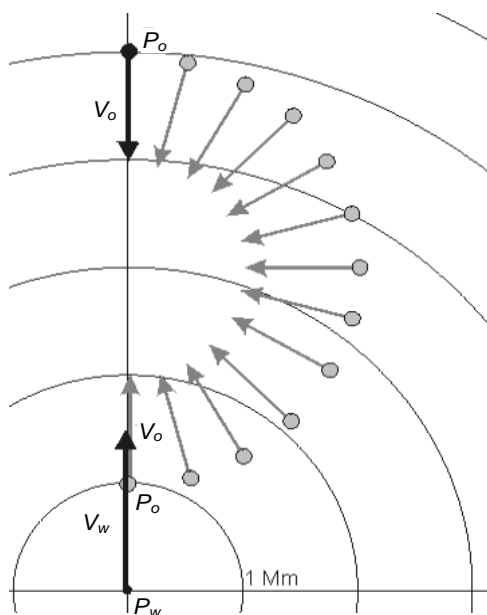
2. Założenia eksperymentu numerycznego

W celu ustalenia wpływu błędnej informacji o prędkości statku własnego na dokładność wyliczenia parametrów ruchu rzeczywistego obiektu zasymulowano szereg sytuacji spotkania dwóch statków. Założono stały kurs i prędkość statku własnego ($k_w = 000^\circ$, $V_w = 15$ w).

Wyznaczono błędy określenia parametrów ruchu rzeczywistego śledzonego statku o prędkości:

- większej od prędkości statku własnego ($V_o = 20$ w),
- równej prędkości statku własnego ($V_o = 15$ w),
- mniejszej od prędkości statku własnego ($V_o = 10$ w).

Dla założonej stałej prędkości obiektu (V_o) wyliczano początkową pozycję obiektu (P_o) dla kursu rzeczywistego obiektu (k_o) zmienianego co 15° , tak aby $CPA = 0$ Mm a $TCPA = 12$ min. W ten sposób uzyskano sytuacje, w których różnica między kursami statku własnego i obiektu (kąt α) zmienia się od 000° do 180° . Przykład symulowanych w trakcie eksperymentu scenariuszy dla wariantu, gdy $V_o < V_w$ przedstawiono na rysunku 2. Odpowiednio P_o oznacza pozycję obiektu, natomiast P_w – pozycję statku własnego.



Rys. 2. Przykład symulowanych sytuacji dla prędkości obiektu mniejszej od prędkości statku własnego ($V_w = 15$ w, $V_o = 10$ w)

Fig. 2. Simulated situation – example for target speed lower than own ship speed
($V_w = 15$ kn, $V_o = 10$ kn)

Następnie dla tak określonych sytuacji spotkania dwóch statków wyliczono rzeczywiste parametry ruchu obiektu, określane dla błędnie wprowadzonej prędkości statku własnego. Błąd prędkości dla wszystkich sytuacji był symulowany w granicach ± 10 węzłów w odstępnie 2,5 węzła.

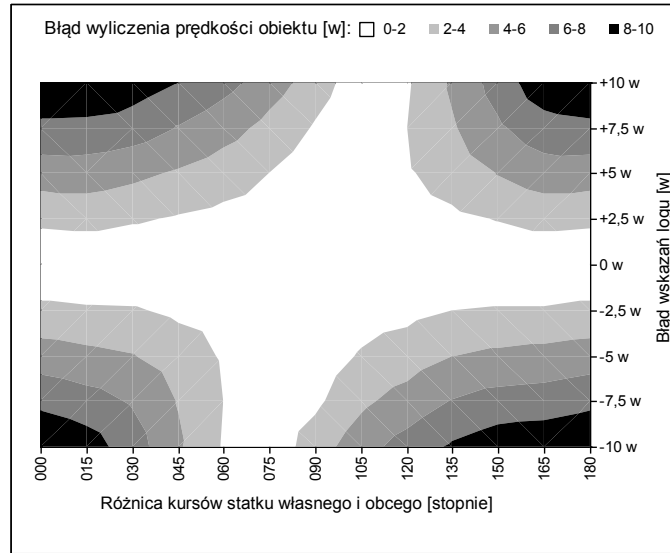
3. Analiza wyników i wnioski

W wyniku przeprowadzonych obliczeń, określono wielkości błędów popełnianych w trakcie estymacji ruchu obiektów w ARPA, spowodowanych błędną wartością wprowadzonej informacji o prędkości statku własnego. Jak już wspomniano, błąd taki ma istotne znaczenie przy określaniu kursu i prędkości rzeczywistej śledzonych obiektów.

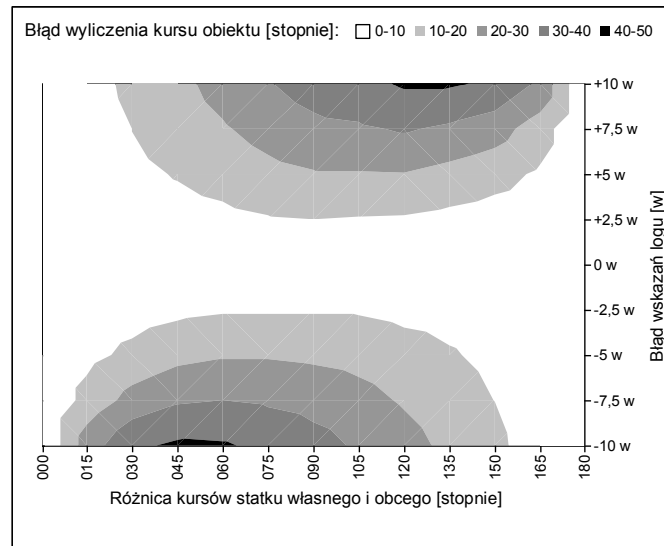
Zarejestrowane błędy wyliczenia parametrów ruchu rzeczywistego przedstawiają rysunki 3 do 8.

Należy jednak zauważyć, że o ile największe błędy wyliczenia prędkości (zgodnie z oczekiwaniami) są popełniane w przypadku obiektu poruszającego się jednakowym lub przeciwnym do statku własnego kursem, to (w zależności od błędu logu) minimalne błędy można zarejestrować dla różnych kątów przecięcia się kursów statków. Rozkład minimalnych błędów wyliczania prędkości rzeczywistej obiektu zależy zarówno od wielkości błędu logu, jak i wielkości kąta α , zawartego między kursami statku własnego i obiektu. Wraz ze wzrostem błędów logu rośnie także wartość kąta α , dla którego błędy określenia prędkości rzeczywistej obiektu osiągają najmniejsze wartości. Jeżeli $V_w = V_o$ różnica ta dochodzi do 15° , a gdy prędkość jest mniejsza o 5 w od prędkości statku własnego nawet do 30° .

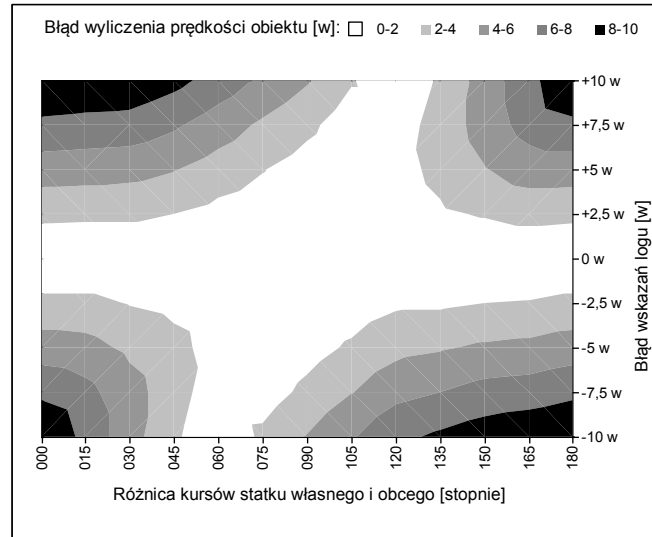
W przypadku błędów wyliczenia kursu rzeczywistego obiektu sytuacja jest bardziej skomplikowana. Maksymalne wartości błędu zostały zarejestrowane dla obiektu wolniejszego przy kącie przecięcia kursów wynoszącym 15° oraz 165° i dochodziły nawet do 90° , przy błędzie logu równym 10 węzłom. W przypadku równych prędkości obu statków ten sam błąd logu wywoływał maksymalne błędy wyliczenia kursu rzeczywistego obiektu o ok. 41° dla kątów przecięcia się kursów równym 45° i 135° . Dla statku szybszego od statku własnego wpływ błędów logu miał najmniejszy wpływ na błędne wyliczenie kursu rzeczywistego obiektu i zarejestrowane błędy wyniosły 30° dla różnicy kursów równej 60° oraz 120° . We wszystkich przypadkach błąd logu oczywiście nie wpływał ujemnie na wyliczenie kursu rzeczywistego obiektu dla statku poruszającego się tym samym oraz przeciwnym kursem, co statek własny.



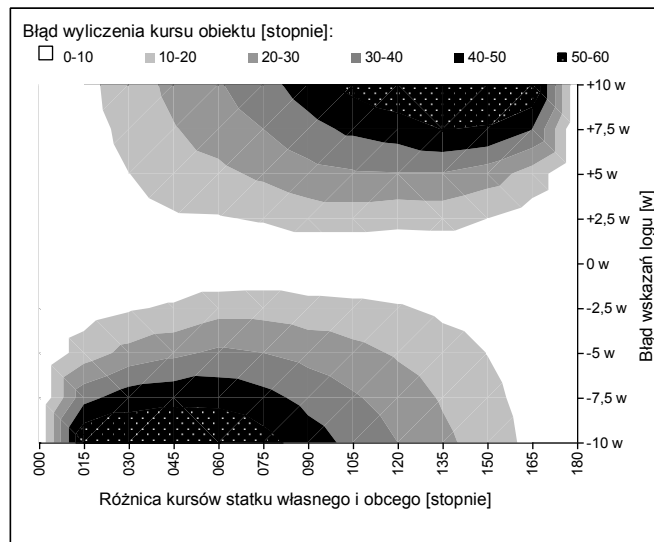
Rys. 3. Rozkład błędów estymacji prędkości rzeczywistej śledzonego obiektu w zależności od wielkości błędu logu oraz różnicy kursów obu jednostek ($V_w = 15$ w; $V_o = 15$ w)
Fig. 3. True speed estimation errors according to log errors and true ship courses difference ($V_w = 15$ kn; $V_o = 15$ kn)



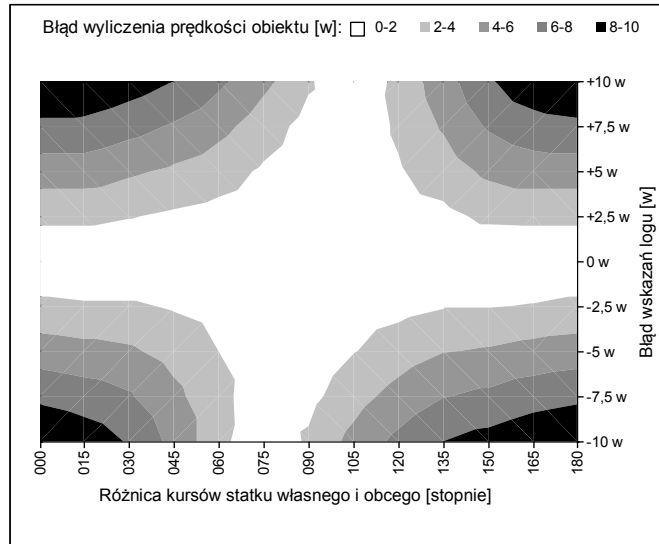
Rys. 4. Rozkład błędów estymacji kursu rzeczywistego śledzonego obiektu w zależności od wielkości błędu logu oraz różnicy kursów obu jednostek ($V_w = 15$ w; $V_o = 15$ w)
Fig. 4. True course estimation errors in relation to log errors and the difference between ships' true courses ($V_w = 15$ kn; $V_o = 15$ kn)



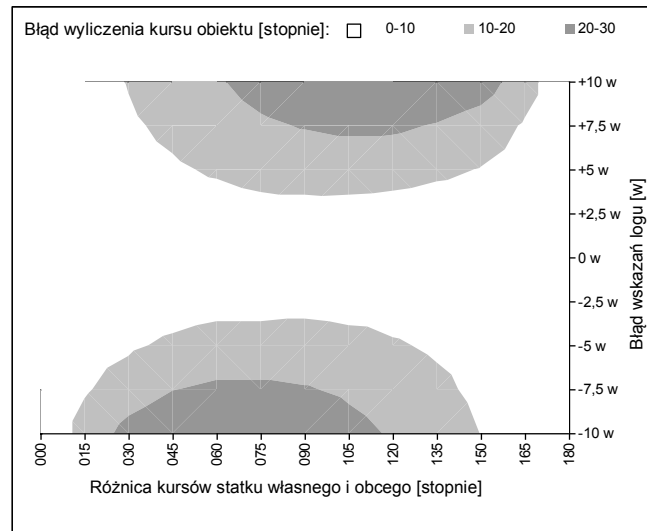
Rys. 5. Rozkład błędów estymacji prędkości rzeczywistej śledzonego obiektu w zależności od wielkości błędu logu oraz różnicy kursów obu jednostek ($V_w = 15$ w; $V_o = 10$ w)
 Fig. 5. True speed estimation errors in relation to log errors and the difference between ships' true courses ($V_w = 15$ kn; $V_o = 10$ kn)



Rys. 6. Rozkład błędów estymacji kursu rzeczywistego śledzonego obiektu w zależności od wielkości błędu logu oraz różnicy kursów obu jednostek ($V_w = 15$ w; $V_o = 10$ w)
 Fig. 6. True course estimation errors in relation to log errors and the difference between ships' true courses ($V_w = 15$ kn; $V_o = 10$ kn)



Rys. 7. Rozkład błędów estymacji prędkości rzeczywistej śledzonego obiektu w zależności od wielkości błędu logu oraz różnicy kursów obu jednostek ($V_w = 15$ w; $V_o = 20$ w)
 Fig. 7. True speed estimation errors in relation to log errors and the difference between ships' true courses ($V_w = 15$ kn; $V_o = 20$ kn)



Rys. 8. Rozkład błędów estymacji kursu rzeczywistego śledzonego obiektu w zależności od wielkości błędu logu oraz różnicy kursów obu jednostek ($V_w = 15$ w; $V_o = 20$ w)
 Fig. 8. True course estimation errors in relation to log errors and the difference between ships' true courses ($V_w = 15$ kn; $V_o = 20$ kn)

W zakończeniu należy podkreślić ujemny wpływ błędnie pracującego logu na dokładność pracy ARPA. Zawsze błędnie są wyliczane parametry ruchu rzeczywistego śledzonych obiektów, a popełniane błędy zależą zarówno od wielkości błędów logu, różnicy prędkości statku własnego i obiektu oraz różnicy kursów obu jednostek. Największy wpływ na błędne wyliczanie danych daje się zauważyć dla statków wolniejszych, poruszających się z małą prędkością rzeczywistą. Przy dużych błędach logu prezentowany wektor rzeczywisty takich jednostek może znacznie różnić się od wektora właściwego, co może doprowadzić do błędnej interpretacji informacji oraz podjęcia niewłaściwych manewrów.

Przeprowadzony eksperyment nie uwzględniał różnorodności stosowanych w praktyce przez producentów algorytmów estymacji. Celem artykułu było bowiem przedstawienie istoty problemu wpływu błędnej informacji o prędkości statku własnego na dokładność wyliczenia parametrów ruchu rzeczywistego śledzonego obiektu. Trzeba więc brać pod uwagę to, iż wyliczone błędy mogą różnić się nieznacznie od rejestrowanych dla urządzeń rzeczywistych, z zachowaniem jednak ogólnych tendencji ich zależności od wzajemnych relacji kursów i prędkości statku własnego i obiektu.

Literatura

1. Bole A.G., Dineley W.O., *Radar and ARPA Manual*, CIL, East Kilbride 1992.
2. IMO Resolution A.823(19).
3. Juszkiewicz W., *ARPA, radar z automatycznym śledzeniem echa*, WSM, Szczecin 1995.
4. Wawruch R., *ARPA zasada działania i wykorzystania*, WSM, Gdynia 1998.
5. Kantak T., Stateczny A., Urbański J., *Podstawy automatyzacji nawigacji*, WSMW, Gdynia 1988.
6. Lisowski J., *Okrętowe systemy antykolizyjne*, WM, Gdańsk 1981.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2004 r.

Recenzenci

dr inż. Ryszard Wawruch, prof. AM
prof. dr hab. inż. Andrzej Stateczny

Adres Autora

dr inż. Wiesław Juszkiewicz
Akademia Morska w Szczecinie, Instytut Inżynierii Ruchu Morskiego
ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, wjusz@wsm.szczecin.pl