

Stanisław Kołaczyński

Akademia Marynarki Wojennej
Wydział Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego, Instytut Nawigacji i Hydrografii Morskiej
81-103 Gdynia, ul. J. Śmidowicza 69
e-mail: S.Kolaczynski@amw.gdynia.pl

ZAŁOŻENIA NAWIGACJI NOMINATYWNEJ

STRESZCZENIE

Współczesne urządzenia nawigacyjne i sterownicze pozwalają na odejście od loksodromicznego modelu w nawigacji morskiej na rzecz tras optymalnych w czasie i zapewniających wymagany poziom bezpieczeństwa. W artykule przedstawiono pojęcia opisujące założenia nawigacji nominatywnej w relacji do sytuacji nawigacyjnej na płaszczyźnie. Zdefiniowane pojęcia i ich oceny ilościowe mogą stanowić podstawę do ogólniejszych rozważań na temat nawigacji, pozwolą też na stworzenie założeń prowadzenia jednostki po dowolnej trasie, a tym samym na bieżącą optymalizację w aspekcie bezpieczeństwa ruchu itp.

Słowa kluczowe:

nawigacja, bezpieczeństwo, modelowanie ilościowe.

WSTĘP

Osiągnięcia techniczne w zakresie pozycjonowania i sterowania ruchem jednostki pozwalają na odejście od tradycyjnego prostoliniowego (loksodromicznego) modelu kierowania jego ruchem na rzecz optymalnych tras krzywoliniowych. Zresztą idea trasy prostoliniowej i tak nie była nigdy realizowana, choćby z uwagi na mysz-kowanie kadłuba czy zmiany kąta dryfu i kąta znosu jednostki.

Nawigacja jako proces kierowania ruchem jednostki w środowisku wymaga doskonalenia pojęć na bazie dwóch filarów — bezpieczeństwa i efektywności. Powstały stosunkowo nowe pojęcia opisujące założenia nawigacji nominatywnej

w relacji do sytuacji nawigacyjnej na płaszczyźnie. Wychodząc z konieczności zachowania bezpieczeństwa nawigacyjnego, określono zagrożenia i charakteryzujące je liczbowe współczynniki.

MARGINES BEZPIECZEŃSTWA NAWIGACYJNEGO

Zachowanie bezpieczeństwa nawigacyjnego wobec przeszkody nawigacyjnej polega na przejściu obok niej w odległości d nie mniejszej niż odległość bezpieczna d_B , wyznaczająca strefę bezpieczeństwa nawigacyjnego wokół przeszkody

$$d \geq d_B. \quad (1)$$

Różnica odległości przejścia i odległości bezpiecznej stanowi margines bezpieczeństwa nawigacyjnego

$$\eta = d - d_B. \quad (2)$$

Przyjęcie lokalnego układu współrzędnych biegunowych wraz z ustaleniem długości promienia, co stanowi odrębne ciekawe zagadnienie, pozwoli skupić się na wielkościach kątowych charakteryzujących ruch względny jednostki wobec innego obiektu. Na początek rozważmy kilka wskaźników dotyczących nawigacji względem obiektów nieruchomych.

SEKTOR NIEBEZPIECZNY

Zbliżając się w rejon przeszkody nawigacyjnej lub innego okrętu, należy określić szerokość kątową strefy niebezpieczeństwa — sektor niebezpieczny ε , zawierający zbiór niebezpiecznych kątów drogi nad dnem

$$\varepsilon = (-1)^b (NR_{bl} - NR_{dl}) \quad \varepsilon \in [000^\circ, 360^\circ], \quad (3)$$

gdzie:

NR_{bl} — namiar rzeczywisty na skraj strefy bezpieczeństwa bliższy planowanej ld_d ;

NR_{dl} — namiar rzeczywisty na skraj strefy bezpieczeństwa dalszy od planowanej ld_d ;

b — funkcja decyzyjna $b = \begin{cases} 1 & \text{gdy przeszkoda zostanie po prawej burcie} \\ 2 & \text{gdy przeszkoda zostanie po lewej burcie.} \end{cases}$

TEORETYCZNY WSPÓŁCZYNNIK ZAGROŻENIA NAWIGACYJNEGO

Pojawiająca się przeszkoda nawigacyjna stwarza potencjalne niebezpieczeństwo, czyli zagrożenie dla nawigacji. Jako skalarną wielkość charakteryzującą potencjalny stopień (poziom) zagrożenia nawigacyjnego jednostki manewrującej w rejonie występowania przeszkód nawigacyjnych proponuje się przyjąć teoretyczny współczynnik zagrożenia nawigacyjnego (TWZN). Teoretyczny współczynnik zagrożenia nawigacyjnego Z jest ilorazem wartości sektora niebezpiecznego ε i sektora dopuszczalnych kątów drogi nad dnem

$$Z_t = \frac{\varepsilon}{360^\circ - \varepsilon} \quad Z_t \in [0, \infty]. \quad (4)$$

W przypadku występowania pojedynczej przeszkody nawigacyjnej wzór opisujący teoretyczny współczynnik zagrożenia nawigacyjnego za pomocą parametrów nawigacyjnych przybiera postać

$$Z_t = \frac{(-1)^b (NR_{bl} - NR_{dl})}{360^\circ - (-1)^b (NR_{bl} - NR_{dl})} \quad (5)$$

lub

$$Z_t = \frac{|NR_{bl} - NR_{dl}|}{360^\circ - |NR_{bl} - NR_{dl}|}. \quad (6)$$

Nieodzownym warunkiem dokonania prawidłowej oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego jest świadomość występowania wszystkich przeszkód nawigacyjnych występujących w rejonie manewrowania oraz znajomość ich danych wpływających na bezpieczeństwo przejścia:

$$Z_t = \frac{\sum_{j=1}^k \varepsilon_j}{360^\circ - \sum_{j=1}^k \varepsilon_j}, \quad (7)$$

gdzie:

k — liczba sektorów niebezpiecznych wszystkich przeszkód nawigacyjnych na horyzoncie;

ε_j — sektory niebezpieczne wszystkich przeszkód nawigacyjnych na horyzoncie.

SEKTOR BEZPIECZEŃSTWA NAWIGACYJNEGO

Różnica aktualnego kąta drogi nad dnem i kierunku rzeczywistego bliższego ramienia sektora niebezpiecznego stanowi sektor bezpieczeństwa nawigacyjnego μ

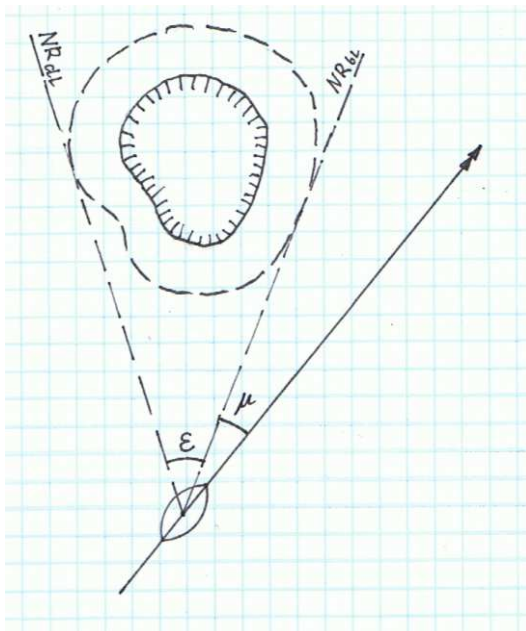
$$\mu = (-1)^b (KD_d - NR_{bl}) \quad \mu \in \left[-\frac{1}{2}\varepsilon, \frac{1}{2}(360^\circ - \varepsilon) \right]. \quad (8)$$

W praktyce ważną rolę odgrywa możliwość utrzymania należytej wartości sektora bezpieczeństwa nawigacyjnego. Decyduje o tym błąd sektora bezpieczeństwa nawigacyjnego $\Delta\mu$

$$\Delta\mu = \frac{\partial\mu}{\partial KD_d} \Delta KD_d + \frac{\partial\mu}{\partial NR_{bl}} \Delta NR_{bl} = (-1)^b (\Delta KD_d - \Delta NR_{bl}). \quad (9)$$

Maksymalny błąd sektora bezpieczeństwa nawigacyjnego wynosi

$$\Delta\mu = \mu + \frac{1}{2}\varepsilon. \quad (10)$$



Rys. 1. Ilustracja sektora niebezpiecznego ε i sektora bezpieczeństwa μ

Źródło: opracowanie własne.

WSPÓŁCZYNNIK AKTUALNEGO ZAGROŻENIA NAWIGACYJNEGO

W praktyce zagrożenie jest tym większe, im bliżej przeszkody nawigacyjnej prowadzi *l.d.d.* Jako skalarną wielkość charakteryzującą rzeczywisty (faktyczny) stopień (poziom) zagrożenia nawigacyjnego jednostki manewrującej w rejonie występowania przeszkód nawigacyjnych proponuje się przyjąć współczynnik zagrożenia nawigacyjnego (WZN). Współczynnik zagrożenia nawigacyjnego N jest ilorazem wartości sektora niebezpiecznego ε i sektora innych dopuszczalnych kątów drogi nad dnem pomniejszonych o wartość sektora bezpieczeństwa nawigacyjnego μ

$$Z = \frac{\varepsilon}{360^\circ - (\mu + \varepsilon)} = \frac{\varepsilon}{360^\circ - \mu - \varepsilon} \quad Z \in [0, \infty]. \quad (11)$$

Analogicznie do opisu teoretycznego współczynnika zagrożenia nawigacyjnego

$$Z = \frac{(-1)^b (NR_{bl} - NR_{dl})}{360^\circ - (-1)^b (KD_d - NR_{dl})} \quad (12)$$

lub nawet

$$Z = \frac{|NR_{bl} - NR_{dl}|}{360^\circ - |KD_d - NR_{dl}|}. \quad (13)$$

TEORETYCZNY WSPÓŁCZYNNIK BEZPIECZEŃSTWA NAWIGACYJNEGO

Jako skalarną wielkość charakteryzującą potencjalny stopień (poziom) bezpieczeństwa jednostki manewrującej w rejonie występowania przeszkód nawigacyjnych proponuje się przyjąć teoretyczny współczynnik bezpieczeństwa nawigacyjnego (TWBN). Teoretyczny współczynnik bezpieczeństwa nawigacyjnego B jest ilorazem wartości sektora bezpieczeństwa nawigacyjnego μ i sektora innych dopuszczalnych kątów drogi nad dnem

$$B_t = \frac{\mu}{360^\circ - (\mu + \varepsilon)} = \frac{\mu}{360^\circ - \mu - \varepsilon} \quad B_t \in [-1, 1]. \quad (14)$$

W przypadku występowania pojedynczej przeszkody nawigacyjnej wzór opisujący teoretyczny współczynnik bezpieczeństwa nawigacyjnego za pomocą parametrów nawigacyjnych przybiera postać

$$B_t = \frac{(-1)^b (KD_d - NR_{bl})}{360^\circ - (-1)^b (KD_d - NR_{dl})} \quad (15)$$

lub

$$B_t = \frac{|KD_d - NR_{bl}|}{360^\circ - |KD_d - NR_{dl}|}. \quad (16)$$

Nieodzownym warunkiem dokonania prawidłowej oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego jest świadomość występowania wszystkich przeszkód nawigacyjnych

w rejonie manewrowania oraz znajomość ich danych wpływających na bezpieczeństwo przejścia

$$B_{i_1} = \frac{\mu_1}{360^\circ - \mu_1 - \sum_{j=1}^k \varepsilon_j}, \quad (17)$$

gdzie:

μ_1 — sektor bezpieczeństwa nawigacyjnego wobec przeszkody nawigacyjnej położonej najbliżej planowanej *l*dd;

K — liczba sektorów niebezpiecznych wszystkich przeszkód nawigacyjnych na horyzoncie;

ε_j — sektory niebezpieczne wszystkich przeszkód nawigacyjnych na horyzoncie.

WSPÓŁCZYNNIK AKTUALNEGO BEZPIECZEŃSTWA NAWIGACYJNEGO

Jako skalarną wielkość charakteryzującą rzeczywisty (faktyczny) stopień (poziom) bezpieczeństwa jednostki manewrującej w rejonie występowania przeszkód nawigacyjnych proponuje się przyjąć współczynnik bezpieczeństwa nawigacyjnego (WBN). Współczynnik bezpieczeństwa nawigacyjnego B jest ilorazem wartości sektora bezpieczeństwa nawigacyjnego μ pomniejszonego o błąd jego wartości $\Delta\mu$ i sektora innych dopuszczalnych kątów drogi nad dnem

$$B = \frac{\mu - \Delta\mu}{360^\circ - (\mu + \varepsilon)} = \frac{\mu - \Delta\mu}{360^\circ - \mu - \varepsilon} \quad B \in [-1, 1]. \quad (18)$$

Przejście okrętu obok przeszkody nawigacyjnej z dodatnią wartością współczynnika bezpieczeństwa nawigacyjnego $B > 0$ jest bezpieczne, z zerową wartością współczynnika bezpieczeństwa $B = 0$ jest ryzykowne. Natomiast ujemna wartość współczynnika bezpieczeństwa $B < 0$ świadczy o niebezpieczeństwie.

Jak z powyższego wynika, warunkiem zachowania bezpieczeństwa nawigacyjnego jest utrzymanie nieujemnej wartości współczynnika B

$$B \geq 0.$$

Na wartość współczynnika bezpieczeństwa nawigacji mogą wywierać wpływ nie tylko błędy spowodowane na przykład niedokładnościami pomiarów nawigacyjnych, obliczeń, utrzymania kursu okrętu itp. powstałymi w trakcie normalnej żeglugi. Załamanie się wartości współczynnika bezpieczeństwa nawigacyjnego μ może powstać także w wyniku zaistnienia błędu grubego w wyznaczeniu kursu okrętu własnego w stronę przeszkody nawigacyjnej, zmiany elementów ruchu okrętu kierunkowego, awarii wskaźników kursu, urządzeń sterowych lub napędowych albo celowej działalności nawigatora, na przykład przy wykonaniu manewru na bezpośrednie zbliżenie.

Analogicznie do opisu teoretycznego współczynnika bezpieczeństwa nawigacyjnego

$$B = \frac{(-1)^b [(KD_d - \Delta KD_d) - (NR_{bl} - \Delta NR_{bl})]}{360^\circ - (-1)^b (KD_d - NR_{dl})} \quad (19)$$

lub

$$B = \frac{|KD_d - NR_{bl}| - (|\Delta KD_d| + |\Delta NR_{bl}|)}{360^\circ - |KD_d - NR_{dl}|} \quad (20)$$

Ocena jakości prowadzonej nawigacji

Różnica między współczynnikiem bezpieczeństwa nawigacyjnego i teoretycznym współczynnikiem bezpieczeństwa nawigacyjnego obrazuje aktualny poziom jakości prowadzonej nawigacji:

$$\Delta B = B - B_t = \frac{\mu - \Delta\mu}{360^\circ - \mu - \varepsilon} - \frac{\mu}{360^\circ - \mu - \varepsilon} = -\frac{\Delta\mu}{360^\circ - \mu - \varepsilon}; \quad (21)$$

$$\Delta B = -\frac{(-1)^b (\Delta KD_d - \Delta NR_{bl})}{360^\circ - (-1)^b (KD_d - NR_{dl})}; \quad (22)$$

$$\Delta B = \frac{|\Delta KD_d| + |\Delta NR_{bl}|}{360^\circ - |KD_d - NR_{dl}|} \quad (23)$$

Defekt współczynnika nawigacyjnego

Teoretyczny największy błąd, jaki może popełnić nawigator przy omijaniu przeszkody nawigacyjnej, niech nosi nazwę defektu bezpieczeństwa nawigacyjnego D . Defekt bezpieczeństwa nawigacyjnego (DBN) jest ilorzem sumy maksymalnej wartości błędu sektora bezpiecznego i sektora innych dopuszczalnych kątów drogi nad dnem

$$D = \frac{\mu + \frac{1}{2}\varepsilon}{360^\circ - \mu - \varepsilon}. \quad (24)$$

WSPÓŁCZYNNIK AKTUALNEGO NIEBEZPIECZEŃSTWA NAWIGACYJNEGO

Komplementarnie do pojęcia współczynnika bezpieczeństwa nawigacyjnego B należy przyjąć wielkość współczynnika niebezpieczeństwa nawigacyjnego. Z uwagi na przeciwstawność pojęć bezpieczeństwa i niebezpieczeństwa, współczynnik niebezpieczeństwa nawigacyjnego N niech będzie wielkością dopełniającą współczynnik bezpieczeństwa nawigacyjnego B do jedności

$$N = 1 - B. \quad (25)$$

Warunkiem zachowania bezpieczeństwa nawigacyjnego jest utrzymanie ujemnej wartości współczynnika N .

$$N < 0.$$

Narastanie niebezpieczeństwa nawigacyjnego

Zmiany stopnia bezpieczeństwa nawigacyjnego jednostki w ruchu po akwenie, na którym występują przeszkody charakteryzuje narastanie niebezpieczeństwa nawigacyjnego Z . Dla oceny stopnia zagrożenia nawigacyjnego proponuje się przyjąć wartość pierwszej pochodnej współczynnika niebezpieczeństwa nawigacyjnego N względem czasu t

$$Z' = \frac{dN}{dt} = \frac{d(1-B)}{dt} = -\frac{dB}{dt}. \quad (26)$$

Sytuacja, którą charakteryzuje ujemna wartość współczynnika narastania niebezpieczeństwa nawigacyjnego $Z' < 0$, nosi nazwę stabilnej nawigacyjnie. Jeśli wartość $Z' \approx 0$, to sytuacja jest niestabilna nawigacyjnie. Przy $Z' > 0$ powstaje sytuacja zagrożenia nawigacyjnego.

ZAKOŃCZENIE

Przedstawione założenia mogą stanowić pojęcia wyjściowe do dalszej formalizacji opisu procesu nawigacji, zwłaszcza w jej najistotniejszej, nominatywnej treści. Ciekawe rezultaty można osiągnąć, badając między innymi optymalizację odległości horyzontu zdarzeń, wzajemne zależności przedstawionych parametrów, zmiany tych elementów w czasie, manewrowanie względem obiektów ruchomych czy też poszukiwanie trajektorii o zadanych parametrach bezpieczeństwa. Będą one przedmiotem kolejnych artykułów.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kołaczyński S., *Cechy nawigacji jako dyscypliny nauk technicznych*, „Geodezja i Kartografia”, 1987, t. XXXVI, s. 283–289.
- [2] Kołaczyński S., *Ilość informacji zawarta we współrzędnych geograficznych*, WSMW, Gdynia 1987.
- [3] Kołaczyński S., *Modele wielomianowe sytuacji zagrożenia kolizyjnego*, Konferencja Morska „Aspekty bezpieczeństwa nawodnego i podwodnego oraz lotów nad morzem”, DMW, Gdynia 2000.
- [4] Kołaczyński S., *Nawigacja jako dyscyplina nauk technicznych*, AMW, Gdynia 1986.
- [5] Kołaczyński S., *Założenia metodyczne określania ilości informacji geodezyjno-kartograficznej zawartej w pozycji okrętu*, [w:] *Rola nawigacji w zabezpieczeniu działalności ludzkiej na morzu*, cz. 1, VI Konferencja Naukowo-Techniczna, AMW, Gdynia 1988, s. 174–181.

ASSUMPTIONS FOR NOMINATIVE NAVIGATION

ABSTRACT

Modern navigation equipment and controls allow you to move away from the rhumb line model for marine navigation routes in optimal time and provide the required level of safety. This paper presents the concept of describing the assumptions for nominative navigation in relation to navigational situation on plane. The concepts defined and their quantitative assessment may give rise to more general considerations concerning navigation. They can also be used to work out assumptions related to driving on any road, and thus to currently optimize it in terms of traffic safety, etc.

Keywords:

navigation, safety, quantitative modeling.