

ZESZYTY NAUKOWE NR 9(81)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

INLAND SHIPPING 2005

Lech Kasyk

**Prawdopodobieństwo bezpiecznego minięcia się statków
na skrzyżowaniu wąskich torów wodnych**

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, domena, prawdopodobieństwo, skrzyżowanie

Z wykorzystaniem domeny statku na skrzyżowaniu przedstawiono sposób szacowania prawdopodobieństwa bezkolizyjnego minięcia się statków na skrzyżowaniu wąskich torów wodnych. Wyznaczono optymalną prędkość, przy której jednostka podporządkowana może bezpiecznie przejść skrzyżowanie za jednostką uprzywilejowaną, dokonując jak najmniejszej korekty parametrów ruchu.

**Probability of Safe Passing of Ships on the Intersection of
Narrow Fairways**

Key words: safety, domain, intersection, probability

This paper presents an idea of probability estimation of navigational safety on the intersection of narrow fairways. It is based on the concepts of the vessel's domain at the intersection. The optimal speed of the subordinate ship, which guarantees safe crossing through the intersection, has been determined.

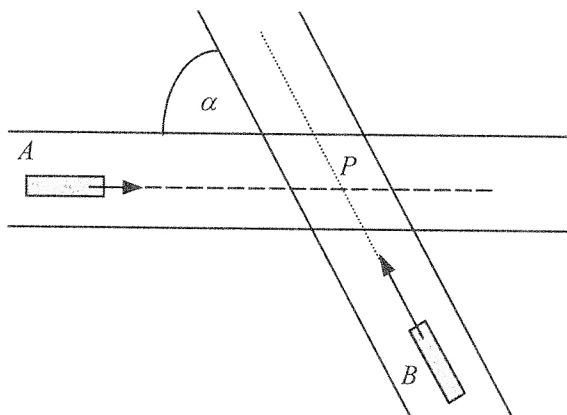
Wprowadzenie

Przejście przez skrzyżowanie wąskich torów wodnych jest manewrem, który niesie ze sobą pewne ryzyko zaistnienia sytuacji kolizyjnej z jednostką płynącą poprzecznie. Przy małym natężeniu ruchu to ryzyko jest niewielkie i na takich skrzyżowaniach jedynym i wystarczającym gwarantem bezpiecznego minięcia się statków na skrzyżowaniu jest wyszkolony i spostrzegawczy nawigator. W takim wypadku ekonomicznie nieuzasadnione jest prowadzenie szerszych badań dotyczących bezpieczeństwa żeglugi, czy też konstruowanie specjalnych systemów regulacji ruchu. Jednak w przypadku dużego natężenia ruchu lub przewozu ładunku niebezpiecznego ryzyko kolizji jest znacznie większe [1, 2]. Dodatkowym czynnikiem zwiększającym ryzyko nawigacyjne jest pogarszająca się kondycja współczesnego człowieka, który otoczony różnymi przyrządami nie musi i często nie polega na swoich zmysłach w takim stopniu, jak to było w przeszłości. W związku z tym, również na skrzyżowaniach wąskich torów wodnych, staje się konieczne dostarczenie nawigatorom narzędzi wspomagających bezpieczne wykonanie manewru przejścia przez skrzyżowanie. Takim narzędziem pozwalającym nawigatorowi ocenić ryzyko nawigacyjne podczas przejścia statku przez skrzyżowanie jest domena statku na skrzyżowaniu.

Schemat skrzyżowania

Wodne drogi śródlądowe oraz akweny portowe i podejścia do portów mają często charakter wąskich torów wodnych. Ruch na takich akwenach może odbywać się najczęściej w jedną stronę i takie założenie przyjęto w niniejszym artykule. Wąskie tory wodne mają tę charakterystyczną cechę, że możliwe na nich są tylko manewry w kierunku osi toru, czyli praktycznie manewry prędkością. Schemat analizowanego skrzyżowania przedstawia rysunek 1.

Na schemacie zaznaczono dwa tory wodne przecinające się pod kątem α . Punkt P jest miejscem przecięcia się osi tych torów, po których poruszają się statki. W sytuacji przedstawionej na rysunku 1, statek A musi ustąpić pierwszeństwa jednostce B , jeżeli jest ona w pobliżu skrzyżowania. Natomiast, jeżeli nawigator statku A dostrzeże statek B daleko od skrzyżowania (może to się dokonać za pomocą obserwacji wzrokowej lub radarowej), musi ocenić czy zdąży przejść przed dziobem jednostki B w przepisowej odległości czy nie.



Rys. 1. Schemat skrzyżowania
 Fig. 1. Intersection diagram

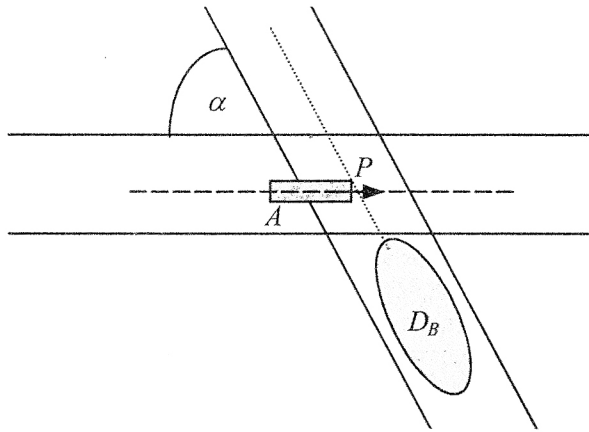
Domena statku na skrzyżowaniu

Autor we wcześniejszych swoich pracach [4, 5, 6, 7] przedstawił koncepcję domeny statku na skrzyżowaniu jako prawdopodobny obszar znalezienia się statku na skrzyżowaniu, wyznaczony na podstawie informacji z danego systemu regulacji ruchu, w chwili dokonywania oceny bezpieczeństwa minięcia się statków na skrzyżowaniu. W takim rozumieniu jest to odpowiednie narzędzie dla nawigatora, który ocenia szanse bezpiecznego przejścia przed dziobem zbliżającej się do skrzyżowania jednostki B. Nawigator jednostki A, znajdujący się w odległości d_A od skrzyżowania, ocenia pozycję jednostki B, czyli jej odległość od punktu P – d_B . Oczywiście dokonuje tego z określoną dokładnością – m_d . Szacuje również jej prędkość – v_B , z błędem – m_v oraz długość statku B – L_B z dokładnością – m_L . W związku z tym, w przewidywanym czasie dotarcia jednostki A do skrzyżowania (punkt P), przy założeniu, że oba statki poruszają się ze stałymi prędkościami – v_A i v_B , jednostka B będzie zajmować obszar zwany domeną na skrzyżowaniu (rys.2).

Domena statku B ma kształt elipsy o półosiach a i b [4, 5, 6], gdzie a oznacza półoś w kierunku osi toru. Półoś b jest równa szerokości pasa ruchu statku B [3, 4], co w wypadku wąskich torów wodnych równoznaczne może być z szerokością toru. Natomiast wartość półosi a wyraża się następującym wzorem:

$$a = \frac{1}{2}L_B + m_L + m_d + \frac{d_A}{v_A} \cdot m_v$$

▼
 ▼



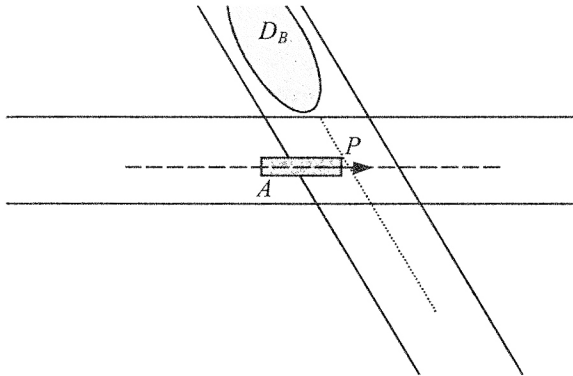
Rys. 2. Domena statku B
 Fig. 2. A domain of fairway unit B

Ocena bezpieczeństwa na skrzyżowaniu

W przewidywanym czasie dotarcia statku A do skrzyżowania, czoło domeny jednostki B znajdzie się w odległości $d = d_B - \frac{d_A}{v_A} v_B$ od punktu P. Jeśli

odległość d jest większa od dopuszczalnej odległości, przy jakiej statek A może przejść przed dziobem jednostki uprzywilejowanej B, oznacza to, że statki miną się bezpiecznie na skrzyżowaniu, bez wykonywania dodatkowych manewrów. Natomiast, jeżeli d będzie mniejsza od dopuszczalnej odległości, przy jakiej statek A może przejść przed dziobem jednostki uprzywilejowanej B, nawigator statku A musi zmniejszyć prędkość, by przepuścić statek B.

Może również wystąpić taka sytuacja, w której w przewidywanym czasie dotarcia statku A do skrzyżowania, cała domena jednostki B znajdzie się już za punktem P. Również w tej sytuacji statki miną się bezpiecznie na skrzyżowaniu, bez wykonywania dodatkowych manewrów. W przypadku, gdy statek A musi przepuścić statek B, można wykorzystać domenę jednostki B do określenia odpowiedniej zmiany prędkości jednostki A, tak by statki minęły się bezpiecznie na skrzyżowaniu, a jednocześnie nie było zbędnych przestoju. Żeby sytuacja taka nastąpiła, prędkość statku A ma być taka, by w przewidywanym czasie dotarcia statku A do punktu P, cała domena jednostki B znalazła się już za skrzyżowaniem (rysunek 3).



Rys. 3. Domena statku B znajdująca się już poza skrzyżowaniem
 Fig. 3. A domain of fairway unit B is beyond the intersection

Sytuacja przedstawiona na rysunku 3 nastąpi wtedy, gdy od chwili przedstawionej na rysunku 1, jednostka B pokona odległość:

$$d_B + L_B + m_L + m_d + \frac{1}{2} \cdot T_A$$

z prędkością v_B , a jednostka A pokona odległość d_A z prędkością v_{OPT} . Symbol T_A oznacza szerokość toru, po którym porusza się statek A. Stąd prędkość optymalna dla jednostki A wynosi:

$$v_{OPT} = \frac{v_B \cdot d_A}{d_B + L_B + m_L + m_d + \frac{1}{2} \cdot T_A}$$

Prawdopodobieństwo uniknięcia sytuacji kolizyjnej na skrzyżowaniu

Stwierdzenie z poprzedniego rozdziału, że statki miną się bezpiecznie jest związane z pewnym poziomem ufności. Wewnątrz wyznaczonej domeny, statek może znajdować się w każdym punkcie z określonym prawdopodobieństwem $(1-\alpha)$. Jest to poziom ufności, z jakim wyznaczono pozycję statku B, jego prędkość i wielkość. Również dotarcie jednostki A do punktu P nie jest ściśle określone, gdyż podczas ruchu następują pewne wahania prędkości spowodowane działaniem takich czynników, jak: prąd, wiatr itp. Stąd prawdopodobieństwo, że statek A znajdzie się na skrzyżowaniu w czasie d_A/v_A nie jest równe 1 i wynosi $(1-\beta)$. Dlatego w omówionych przypadkach analiza bezpiecznego minięcia się statków na skrzyżowaniu jest dokonywana z prawdopodobieństwem:

$$P = (1-\alpha) \cdot (1-\beta)$$

Wnioski

W artykule przedstawiono koncepcję oceny bezpieczeństwa manewru przejścia przez skrzyżowanie wąskich torów wodnych, wykorzystując pojęcie domeny statku na skrzyżowaniu. Nawigator statku, mając takie narzędzie oceny bezpieczeństwa ruchu na skrzyżowaniu może, w odpowiedniej odległości od skrzyżowania, wykonać manewr, aby uniknąć prawdopodobnej sytuacji kolizyjnej z jednostką płynącą poprzecznie i jednocześnie zminimalizować straty czasu i paliwa spowodowane koniecznością udzielenia pierwszeństwa jednostce uprzywilejowanej.

Literatura

1. Galor W., *Prawdopodobieństwo awarii nawigacyjnej przy ocenie ryzyka nawigacyjnego*, Materiały konferencyjne. Konferencja Okrętownictwo i Oceanotechnika "Niezawodność i Bezpieczeństwo Systemów Transportowych". Politechnika Szczecińska, Szczecin 2002.
2. Gućma S., *Inżynieria Ruchu Morskiego*, Wyd. Okrętownictwo i Żegluga, Gdańsk 2001.
3. Gućma S., *Optymalizacja parametrów dróg wodnych*, Zeszyty Naukowe WSM nr 53, Szczecin 1997.
4. Kasyk L., *Domeny statków na skrzyżowaniu przeprawy promowej z torem wodnym w różnych systemach regulacji ruchu*, Materiały z Międzynarodowej Konferencji Bezpieczeństwa i Niezawodności „KONBiN 2001”, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Szczyrk 2001.
5. Kasyk L., *Probability model of a ferry crossing*, Materiały z VIII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Inżynieria Ruchu Morskiego, Instytut Nawigacji Morskiej WSM w Szczecinie, WSM, Szczecin 1999.
6. Kasyk L., *Wykorzystanie domeny eliptycznej do analizy ruchu statków na przeprawie promowej przecinającej tor wodny pod danym kątem*, Zeszyty Naukowe WSM nr 55, Szczecin 1998.
7. Kasyk L., *Wykorzystanie pojęcia domeny w analizie ruchu statków na przeprawie promowej*, Zeszyty Naukowe WSM nr 53, Szczecin 1997.

Wpłynęło do redakcji w grudniu 2005 r.