

ANDRZEJ BANACHOWICZ*, PIOTR WOŁEJSZA**

OCENA DOKŁADNOŚCI OBLICZANIA PARAMETRÓW SPOTKANIA CPA I TCPA W MULTIAGENTOWYM SYSTEMIE WSPOMAGANIA NAWIGACYJNEGO PROCESU DECYZYJNEGO

CALCULATION ACCURACY OF CPA AND TCPA IN MADSS

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę dokładności obliczeń CPA (*Closest Point of Approach*) oraz TCPA (*Time to Closest Point of Approach*) wykonywanych przez multiagentowy system wspomaganie nawigacyjnego procesu decyzyjnego (MADSS – *Multiagents Decision Support System*). System ten oblicza parametry spotkania statków oraz wypracowuje nowe parametry ruchu statku własnego w celu rozminienia się z innymi obiektami na zadane CPA, wykorzystując komunikaty odebrane z systemu AIS (*Universal Ship-borne Automatic Identification System*). Dokładność i wiarygodność tak obliczanych parametrów nawigacyjnych kilkakrotnie przewyższa dokładność rozwiązań z systemu ARPA.

Słowa kluczowe: nawigacja, systemy antykolizyjne, systemy wspomaganie decyzji, systemy multiagentów

Abstract

The article presents an accuracy analysis of calculation of CPA (Closest Point of Approach) and TCPA (Time to Closest Point of Approach) made by a Multiagent Decision-Support System (MADSS). On the basis of messages received from Universal Ship-borne AIS system (Automatic Identification System) the system calculates the parameters of vessels' encounter and works out the parameters of own vessel's movement (course or speed), which lead to passing other objects according to a set CPA (Closest Point of Approach). Accuracy and reliability of parameters calculated by MADSS is few times higher than those received from ARPA (Automatic Radar Plotting Aids).

Keywords: navigation, anticollision systems, decision support systems, multiagents systems

* Dr hab. inż. Andrzej Banachowicz, Katedra Nawigacji, Wydział Nawigacyjny, Akademia Morska w Gdyni.

** Dr inż. Piotr Wołęjsza, Katedra Geoinformatyki, Wydział Nawigacyjny, Akademia Morska w Szczecinie.

1. Wstęp

Nawigację można zdefiniować jako proces kierowania statkiem po wyznaczonej drodze (trajektorii), stosownie do planu podróży i realizowanych zadań, przy nałożonych ograniczeniach ekonomicznych, czasowych, geometrycznych, hydrometeorologicznych, bezpieczeństwa i in. Proces ten można podzielić na pewne podprocesy (warstwy). Są to [1]:

- pozyskiwanie i przetwarzanie danych,
- planowanie nawigacyjne,
- określanie pozycji (aktualnego położenia względem planowanej trajektorii),
- określanie wektora prędkości statku,
- kontrola położenia (monitoring) względem niebezpieczeństw nawigacyjnych (innych statków, niebezpiecznej izobaty, odosobnionych niebezpieczeństw nawigacyjnych i in.),
- podejmowanie decyzji,
- sterowanie statkiem.

Jednym z zadań nawigacyjnego procesu decyzyjnego jest rozwiązywanie problemów antykolizyjnych. W pracy [5] zaproponowano rozwiązanie systemu antykolizyjnego opartego na systemie multiagentowym, wykorzystującym dane nawigacyjne pochodzące z AIS (*Universal Ship-borne Automatic Identification System*) statku własnego oraz statków obcych znajdujących się w zasięgu horyzontu radiowego VHF. Takie podejście pozwala na całkowitą automatyzację pozyskiwania, przetwarzania, analizy oraz wypracowania decyzji antykolizyjnej. Poniżej przedstawiono analizę dokładności parametrów spotkania (CPA – *Closest Point of Approach*, TCPA – *Time to Closest Point of Approach*) obliczanych w systemie wspomagania nawigacyjnego procesu decyzyjnego (MADSS – *Multiagents Decision Support System*). Odpowiednie wzory wyprowadzono przy założeniu liniowej aproksymacji poszczególnych funkcji nawigacyjnych [2]. W analizie wykorzystano również badania symulacyjne wykonane w laboratorium ECDIS Akademii Morskiej w Szczecinie.

2. Błąd parametrów spotkania statków

Parametrami spotkania statków są: odległość minimalna (CPA) oraz czas osiągnięcia odległości minimalnej (TCPA). Rozwiązując zadanie manewru antykolizyjnego, obliczamy te parametry wraz z ich dokładnością wg następującego schematu:

– CPA

$$CPA = \frac{X \cdot |V_{w(Y)}| - Y \cdot |V_{w(X)}|}{V_w} \quad (1)$$

gdzie:

- X, Y – odległości pomiędzy statkami wzdłuż osi x i y ,
- V_w – szybkość względna,
- $V_{w(X)}, V_{w(Y)}$ – składowe szybkości względnej,

– TCPA

$$\text{TCPA} = \frac{\sqrt{R^2 - \text{CPA}^2}}{V_w} \quad (2)$$

gdzie R to odległość pomiędzy statkami,

– błąd CPA

$$\sigma_{\text{CPA}} = \frac{\sqrt{V_w^2 \sigma_X^2 + (R^2 + \text{CPA}^2) \sigma_V^2}}{V_w} \quad (3)$$

gdzie:

σ_X – błąd określenia współrzędnych,

σ_V – błąd określenia szybkości,

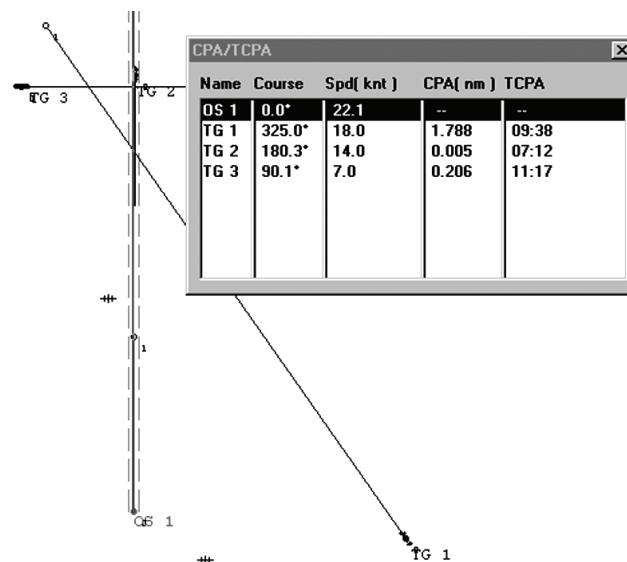
– błąd TCPA

$$\sigma_{\text{TCPA}} = \frac{\sqrt{V_w^2 \sigma_X^2 + (5R^2 - 4\text{CPA}^2) \sigma_V^2}}{V_w^2} \quad (4)$$

3. Przykłady analizy dokładności CPA i TCPA

3.1. Symulacja sytuacji kolizyjnej

Na rysunku 1 przedstawiono sytuację spotkania statków. Obiekty OS1, TG1 i TG2 są to statki o napędzie mechanicznym w drodze. Natomiast TG3 jest statkiem nieodpowiada-



Rys. 1. Sytuacja kolizyjna statków
Fig. 1. Collision situation

jącym za swoje ruchy. W tabeli zamieszczonej na rysunku przedstawiono parametry ruchu wszystkich jednostek (kursy i szybkości) oraz parametry spotkania statków (CPA i TCPA) obliczone względem statku własnego (badania symulacyjne wykonane na symulatorze NaviTrainer firmy Transas Marine) [5].

W tabeli 1 zamieszczono obliczone odległości i namiary rzeczywiste pomiędzy statkiem własnym (OS – *Own Ship*) a obcymi (TG – *Target*).

Tabela 1

Odległości i namiary rzeczywiste pomiędzy statkami

Statek obcy	Odległość [m]	Namiar rzeczywisty [°]
TG1	5024,9	095,7
TG2	8000,0	0,0
TG3	8271,0	345,3

Poniższe przykłady ilustrują przebieg analizy dokładności obliczania parametrów spotkania statków w multiagentowym systemie antykolizyjnym.

3.2. Sytuacja spotkania statku własnego OS1 ze statkiem TG1

Zakładamy minimalną odległość $CPA_{LIMIT} = 1$ mila morska. Błąd określenia współrzędnych (X lub Y) przyjmujemy równy $\sigma_{X(Y)} = 10$ m, a błąd szybkości statku $\sigma_V = 0,0026$ m/s [3, 4]. Obliczamy kolejno:

$$\text{– CPA: } CPA = \frac{X \cdot |V_{w(Y)}| - Y \cdot |V_{w(X)}|}{V_w} = 1,77 \text{ mili morskiej,}$$

$$\text{– TCPA: } TCPA = \frac{\sqrt{R^2 - CPA^2}}{V_w} = 8 \text{ min,}$$

$$\text{– błąd CPA: } \sigma_{CPA} = \frac{\sqrt{V_w^2 \sigma_X^2 + (R^2 + CPA^2) \sigma_V^2}}{V_w} = 0,012 \text{ mili morskiej,}$$

$$\text{– błąd TCPA: } \sigma_{TCPA} = \frac{\sqrt{V_w^2 \sigma_X^2 + (5R^2 - 4CPA^2) \sigma_V^2}}{V_w^2} = 0,07 \text{ min.}$$

Cel TG1 jest bezpieczny.

3.3. Sytuacja spotkania statku własnego OS1 ze statkiem TG2

Przyjmujemy takie same założenia jak w punkcie 3.2. Obliczamy kolejno:

$$\text{– CPA: } CPA = \frac{X \cdot |V_{w(Y)}| - Y \cdot |V_{w(X)}|}{V_w} = 0 \text{ mili morskiej,}$$

$$\text{– TCPA: } TCPA = \frac{\sqrt{R^2 - CPA^2}}{V_w} = 7,2 \text{ min,}$$

$$\text{– błąd CPA: } \sigma_{CPA} = \frac{\sqrt{V_w^2 \sigma_X^2 + (R^2 + CPA^2) \sigma_V^2}}{V_w} = 0,008 \text{ mili morskiej,}$$

$$\text{– błąd TCPA: } \sigma_{\text{TCPA}} = \frac{\sqrt{V_w^2 \sigma_X^2 + (5R^2 - 4\text{CPA}^2) \sigma_V^2}}{V_w^2} = 0,02 \text{ min.}$$

Obliczone CPA jest mniejsze od założonego, należy wykonać manewr antykolizyjny względem TG2.

3.4. Sytuacja spotkania statku własnego OS1 ze statkiem TG3

Przyjmujemy takie same założenia jak w punkcie 3.2. Obliczamy kolejno:

$$\text{– CPA: } \text{CPA} = \frac{X \cdot |V_{w(Y)}| - Y \cdot |V_{w(X)}|}{V_w} = 0,23 \text{ mili morskiej,}$$

$$\text{– TCPA: } \text{TCPA} = \frac{\sqrt{R^2 - \text{CPA}^2}}{V_w} = 11,6 \text{ min,}$$

$$\text{– błąd CPA: } \sigma_{\text{CPA}} = \frac{\sqrt{V_w^2 \sigma_X^2 + (R^2 + \text{CPA}^2) \sigma_V^2}}{V_w} = 0,011 \text{ mili morskiej,}$$

$$\text{– błąd TCPA: } \sigma_{\text{TCPA}} = \frac{\sqrt{V_w^2 \sigma_X^2 + (5R^2 - 4\text{CPA}^2) \sigma_V^2}}{V_w^2} = 0,06 \text{ min.}$$

W tym przypadku również obliczone CPA jest mniejsze od założonego, należy wykonać manewr antykolizyjny względem TG3.

W tabeli 2 przedstawiono zbiorcze wyniki obliczeń dokładność CPA i TCPA.

Tabela 2

Dokładności określania CPA i TCPA

Statek obcy	σ_{CPA} [m]	σ_{TCPA} [m]
TG1	21,89	0,07
TG2	14,95	0,02
TG3	20,54	0,06

4. Wnioski

Otrzymane w wyniku obliczeń w MADSS błędy określenia CPA oraz TCPA są znikomo małe w odniesieniu do wymiarów statków, CPA i TCPA, a co jest również ważne – także w odniesieniu do dokładności parametrów wypracowywanych w ARPA (radiolokacyjnych systemach antykolizyjnych). Z tego powodu błędy te nie mają istotnego wpływu na wypracowanie i wykonanie manewru antykolizyjnego. Natomiast należy uwzględnić je przy obliczaniu parametrów manewru „ostatniej chwili” (przy małych odległościach porównywalnych z wymiarami statków).

Na podstawie przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski szczegółowe:

- błąd obliczanych CPA jest rzędu 0,01 mili morskiej (ok. 20 m),
- błąd obliczanych TCPA jest mniejszy od 0,1 min (6 s).

Tak wysoka dokładność obliczanych parametrów spotkania statków wynika z dużej dokładności stosowanych w systemie urządzeń nawigacyjnych (DGPS, log i żyrokompas) oraz z możliwości otrzymywania pomiarów nawigacyjnych w sposób prawie ciągły, co nie jest możliwe w klasycznych systemach antykolizyjnych.

Literatura

- [1] Banachowicz A., *Planowanie podróży w ECDIS*, XV Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji na Wydziałach Niegeodezyjnych „Metody Geodezji, Fotogrametrii i Teledetekcji dla Inżynierii Środowiska i Budownictwa”, Warszawa, 25–26 września 2000.
- [2] Banachowicz A., *Uogólnione prawo przenoszenia błędów losowych*, Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni, nr 18, Gdynia 2006.
- [3] Banachowicz A., Banachowicz G., Uriasz J., Wolski A., *Relative Accuracy of DGPS*, European Navigation Conference, Manchester, UK, 7–10 May 2006.
- [4] Krajczyński E., *Logi morskie*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1980.
- [5] Wołęjsza P., *Multiagentowy system wspomagania nawigacyjnego procesu decyzyjnego*, praca doktorska, Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2008.