

КОРОВИН Никита Андреевич,

Аспирант ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова,

e-mail: nikita@nkorovin.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ ЗНБ НА УЧАСТКЕ КРОНШТАДТСКОГО ФАРВАТЕРА

Аннотация. Адаптивная мультифокальная зона навигационной безопасности (ЗНБ) имеет большой потенциал среди имеющихся ЗНБ в области судовождения. В статье рассматривается моделирование адаптивной ЗНБ на опасном для навигации участке. Анализируется математическая применимость и эффективность расположения фокусов ЗНБ. Научная новизна работы заключается в применении кубической сплайн-интерполяции для приближения моделирования к реальным условиям.

Ключевые слова: зона навигационной безопасности, управление движением, n-фокусный эллипс, адаптивная ЗНБ, автономное судовождение.

KOROVIN Nikita Andreevich,

Graduate student Admiral Makarov SUMIS

MODELING OF AN ADAPTIVE SHIP'S DOMAIN IN THE KRONSTADT FAIRWAY

Annotation. An adaptive multifocal ship domain holds significant potential among existing ship domains in the field of ship navigation. The article explores the modeling of an adaptive ship domain in a hazardous navigation area. It analyzes the mathematical applicability and effectiveness of the placement of an adaptive ship domain's focal points. The scientific novelty of the work lies in the application of cubic spline interpolation to approximate modeling to real-world conditions.

Key words: ship domain, marine traffic management, n-focal ellipse, adaptive ship's domain, autonomous navigation.

В в е д е н и е

Актуальность. Развитие автономного или частично автономного судовождения требует значительную модернизацию средств навигации. В первую очередь необходимо определить зону навигационной безопасности (ЗНБ), внутри которой должны быть исключены любые помехи для навигации и управляемый объект (судно) может безопасно следовать.

Основным направлением данного исследования является выявление преимуществ и недостатков имеющихся концепций, и на полученном опыте разработка уникальной модели, устраняющей имеющиеся дефекты конкретных ЗНБ. В исследовании [1] были рассмотрены концепции линейных, круговых и эллиптических ЗНБ. В работах [2, 3] предлагается использовать 4-х фокусный эллипс (1) в качестве адаптивной ЗНБ, где 2 фокуса являются статичными и формируют эллипс, описывающий габариты судна. Вторая пара фокусов

(рис. 1) изменяют свое положение в зависимости от внутренних и внешних факторов (вектор скорости судна, скорость дрейфа, течения и других).

$$\sum_{i=1}^N \sqrt{(x - x_{F_i})^2 + (y - y_{F_i})^2} = a_N + \sum \Delta d \quad (1)$$

где N – количество фокусов эллипса;

x, y – координаты точек эллиптической ЗНБ;

 x_{F_i}, y_{F_i} – координаты фокусных точек n-эллипса; $\sum \Delta d$ – сумма расстояний от всех фокусов.

Важно отметить, что правая часть выражения должна быть ограничена минимальной суммой расстояний от некоторой точки на контуре ЗНБ (x, y) до позиций n-фокусов [4], например, при задании ЗНБ 4-фокусным эллипсом, ограничение примет вид:

$$\sum \Delta d > 2\sqrt{(a+b)^2} \quad (2)$$

В текущей модели параметр $\sum \Delta d$ является суммой переменных, увеличивающих или уменьшающих размеры ЗНБ. В их числе: скорость судна, скорость дрейфа и течения, погрешность определения местоположения

судна, погрешность курсоуказателя и другие. Таким образом, одной из задач моделирование стал анализ соблюдения ограничения (2). Моделирование адаптивной ЗНБ Моделирование проводилось для первичной оценки применимости адаптивной ЗНБ, а также в рамках поиска потенциальных ошибок с точки зрения математического описания. В качестве локации выбран участок Кронштадтского

фарватера в акватории Финского залива города Санкт-Петербурга как сложный извилистый маршрут с ограничениями по глубине. Вдоль оси фарватера построена траектория движения судна методом кубической сплайн-интерполяции из 12-и точек. По обе стороны основной траектории разнесены еще две схожие, но не идентичные кривые, описывающие навигационные опасности кромки оси фарватера (рис. 1).



Рисунок 1. Ограничения навигационных опасностей и траектория пути

Задача интерполяции кубическими сплайнами [5] заключается в построении гладкой кривой (траектории), проходящей через все заданные точки с сохранением непрерывности. Между двумя соседними точками (x_i, y_i) и (x_{i+1}, y_{i+1}) строится кубический полином вида:

$$S_i(x) = a_i + b_i(x - x_i) + c_i(x - x_i)^2 + d_i(x - x_i)^3 \quad (3)$$

Каждый сегмент $S_i(x)$ определяется своими коэффициентами (a_i, b_i, c_i, d_i) . При этом задаются условия интерполяции:

$$S_i(x_i) = y_i, S_i(x_{i+1}) = y_{i+1} \quad (4)$$

$$S'_i(x_{i+1}) = S'_{i+1}(x_{i+1}) \quad (5)$$

$$S''_i(x_{i+1}) = S''_{i+1}(x_{i+1}) \quad (6)$$

$$S''(x_0) = 0, S'''(x_n) = 0 \quad (7)$$

Условия формируют систему линейных уравнений относительно коэффициентов a_i, b_i, c_i, d_i . Кубические сплайны минимизируют интеграл от квадрата второй производной, тем самым формируя сглаженную непрерывную кривую, проходящую через координаты каждой из заданных 12 точек.

Габариты тестируемого объекта (судна) вписаны в прямоугольную область, которая в свою очередь вписана в 2-х фокусных эллипс, являющийся статичной частью 4-х фокусной адаптивной ЗНБ (рис. 2). Графическое отображение будет схожим и для адаптивной ЗНБ в случае, когда судно находится в состоянии покоя (погрешностями измерительных приборов пренебречь). Таким образом, динамические фокусы имеют те же координаты, что и статичные, графически отображая 2-х фокусный эллипс.

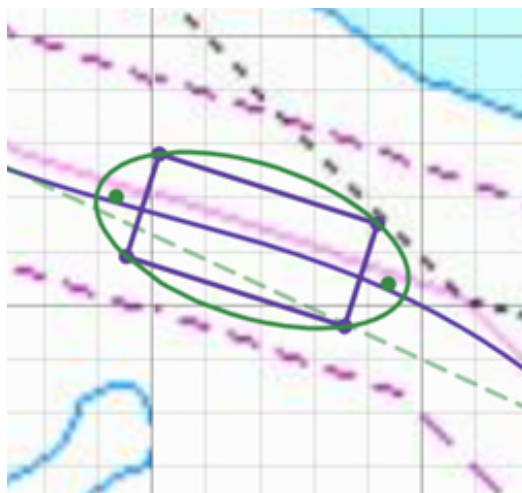


Рисунок 2. ЗНБ габаритов судна

К центральной траектории пути движения привязаны координаты движущегося по ней

судна. ЗНБ деформируется по мере движения и ограничивает опасные участки пути (рис. 3) 1 – статические фокусы ЗНБ, 2 – динамические фокусы ЗНБ.



Рисунок 3. Адаптивная ЗНБ в движении

На данном примере демонстрируются свойства адаптивности 4-х фокусной ЗНБ. Параметр угловой скорости задает вращение ЗНБ в сторону поворота. Если все изменяемые параметры приближаются или равны 0, то фокусы ЗНБ занимают положение статических фокусов, как представлено на рисунке 2.

Заключение

Ранее тестирование адаптивной n-фокусной ЗНБ проводилось в тестовом режиме, исключая реальные условия. Моделирование траектории

пути на участке Кроштадтского фарватера позволило доказать, что адаптивная ЗНБ способна ограничивать навигационные опасности и при этом соблюдает ключевые ограничения.

По результатам моделирования подтверждена эффективность модели 4-х фокусной адаптивной ЗНБ. На примере настоящего маршрута с достаточным количеством навигационных опасностей, наблюдается способность адаптивной 4-х фокусной зоны навигационной безопасности подстраиваться под переменные условия внешней и внутренней среды.

Список литературы:

[1] Коровин Н.А. Обобщенная форма ЗНБ Сборник научных статей. Национальная научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. 2023, - С. 178-181.

[2] Васьков А.С., МIRONENKO А.А. Модель мультифокального эллипса зоны навигационной безопасности судна // Научный журнал Морские интеллектуальные технологии. 2024. № 4 Т.1. С. 259-265.

[3] Васьков А.С., Гаращенко М.А. Идентификация параметров зон навигационной безопасности крупнотоннажных судов // Сборник научных статей Эксплуатация морского транспорта. 2017, №4 (85), С. 58-63.

[4] Sekino, Junpei. *N-ellipses and the minimum distance sum problem* // *American Mathematical Monthly* – 1999. – №. 106, – С. 193–202.

[5] Antonio Baeza, Dionisio F. Yáñez. *A note on some bounds between cubic spline interpolants depending on the boundary conditions: Application to a monotonicity property* // *Applied Numerical Mathematics*. — 2022. — №. 181. — С. 320-325.

Spisok literaturey:

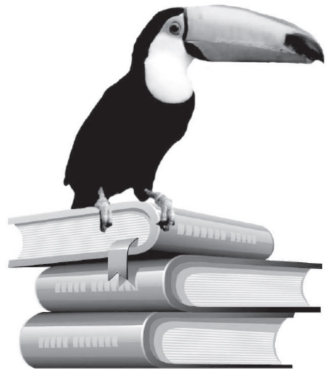
[1] Korovin N.A. *Obobshchennaia forma ZNB Sbornik nauchnykh statei. Natsional'naia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia professorsko-prepodavatel'skogo sostava FGBOU VO "GUMRF imeni admirala S. O. Makarova.* 2023, - S. 178-181.

[2] Vas'kov A.S., Mironenko A.A. *Model' mul'tifokal'nogo ellipsa zony navigatsionnoi bezopasnosti sudna* // *Nauchnyi zhurnal Morskie intellektual'nye tekhnologii.* 2024. № 4 Т.1. С. 259-265.

[3] Vas'kov A.S., Garashchenko M.A. *Identifikatsiia parametrov zon navigatsionnoi bezopasnosti krupnotonnazhnykh sudov* // *Sbornik nauchnykh statei Ekspluatatsiia morskogo transporta.* 2017, №4 (85), S. 58-63.

[4] Sekino, Junpei. *N-ellipses and the minimum distance sum problem* // *American Mathematical Monthly* – 1999. – №. 106, – S. 193–202.

[5] Antonio Baeza, Dionisio F. Yáñez. *A note on some bounds between cubic spline interpolants depending on the boundary conditions: Application to a monotonicity property* // *Applied Numerical Mathematics*. — 2022. — №. 181. — S. 320-325.



ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, Е-Library.