

## Раздел 2 СУДОВОЖДЕНИЕ, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК 629.5.072

DOI: 10.34046/aumsuomt95/4

### АЛГОРИТМ РЕКОМЕНДАЦИИ ВЫБОРА УГЛА ПЕРЕКЛАДКИ РУЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ В УЗКОСТЯХ

*А.А. Антонов, аспирант*

*С.И. Кондратьев, доктор технических наук, профессор*

*Д.Е. Студеникин, кандидат технических наук, доцент*

В данной работе авторы предлагают алгоритм для систем поддержки принятия решений в области управления судном при прохождении узких участков акватории. Система основана на анализе данных о движении схожих по типу, размеру и водоизмещению судов в той же акватории. Основываясь на анализ этих данных удалось вывести предсказательную модель для каждого типа судна из смоделированных, которая смогла с высокой надежностью указывать угол перекладки руля в зависимости от координат судна.

**Ключевые слова:** системы поддержки принятия решений, маневрирование, контроль, исполнительная прокладка, угол перекладки.

In this paper, the authors propose an algorithm for decision support systems in the field of ship control during the passage of narrow sections of the water area. The system is based on the analysis of traffic data similar in type, size and displacement of ships in the same water area. Based on the analysis of these data, it was possible to derive a predictive model for each type of vessel from the simulated one, which was able to indicate with high reliability the rudder angle depending on the coordinates of the vessel.

**Keywords:** decision support systems, maneuvering, control, route plotting, rudder angle.

После принятия на уровне Международной морской организации концепции электронной навигации [1], перед лицом ученых и инженеров всего мира встал ряд проблем, называемых «проблемами электронной навигации». Решение многих из этих проблем лежит в области автоматизации управления движением корпуса судна и передачи командных функций автоматическим вычислительным системам и системам поддержки принятия решений. Роль же судоводителя-человека должна заключаться в наблюдении и контроле [1].

Так, одной из обозначенных проблем является проблема контроля исполнения предварительной прокладки. Несмотря на высокий уровень развития систем помощи судоводителю в таких комплексах, как ECDIS, в части выбора момента начала маневра и угла перекладки руля судоводитель чаще всего полагается на свой опыт и на принципы хорошей морской практики. Такой подход хоть и не часто, но приводит к ошибкам, которые, в свою очередь, приводят к авариям и катастрофам судов [2].

Важнейшими решения, принимаемыми во время исполнения прокладки, являются выбор маневра. На этот выбор влияет большое количество различных параметров, таких как скорость судна, близость опасностей, величина угла поворота и другие [4]. Судоводителю необходимо грамотно

сложить все эти факторы в голове и правильно выбрать момент начала маневра и угол перекладки. Не удивительно, что судоводители совершают ошибки, удерживая в уме столько параметров. Однако совокупность всех этих действий сводится к определению того, сможет ли судно совершить маневр в пределах имеющейся безопасной зоны или попасть в узкий водный коридор между опасностями.

#### Постановка задачи

Судно движется через узкий коридор. При этом известны координаты судна по спутниковым навигационным системам GPS/ГЛОНАСС, гирокомпасный курс, скорость и угол перекладки руля на каждый момент времени с дискретностью в одну секунду. Также известны координаты краев узких места коридора, через который будет двигаться судно.

Для определения правильности выполняемого маневра предлагается использовать систему поддержки принятия решений, основанную на анализе данных о маршрутах других судов в данной акватории.

Такая система позволит объединить и унифицировать информацию о правильных траекториях движения для различных судов в конкретном районе.

**Моделирование**

Для получения набора данных для разных судов авторы провели моделирование движения различных судов по узкому участку акватории. Для проведения эксперимента был выбран пролив Босфор. Сбор данных проводился на навигационных тренажерах Transas NaviSailor. Профессиональным морякам ставилась задача максимально

эффективно провести различные суда по проливу Босфор с севера на юг при различных погодных условиях. Данные о принимаемых ими решениях собирались на сервере. Для каждого судна эксперимент повторили 10 раз. Таким образом был получен набор экспериментальных «обучающих» маршрутов.

Таблица 1 - Используемые модели судов

Тип судна	Водоизмещение, т	Макс. скорость, уз.	Длина, м	Ширина, м	Осадка носом	Осадка кормой
Контейнеровоз	93130	27,1	279	40,4	14,0	14,0
Нефтяной танкер	77100	15,0	242,8	32,2	12,5	12,5
Контейнеровоз	41172	28,1	279	40,4	6,0	9,0
Река-море	4514	10,3	119,2	13,4	3,4	3,6
Нефтяной танкер	30645	16,0	242,8	32,2	5,5	7,0
VLCC	159584	15,0	261,3	48,3	16,5	16,9
VLCC	63430	16,3	261,3	48,3	5,9	9,0
Балкер	33089	14,0	182,9	22,6	10,1	10,7

Погодные условия:

- 1) Штиль, течение отсутствует.
- 2) Ветер силы 2 по шкале Баффорта, течение отсутствует.
- 3) Ветер силы 3 по шкале Баффорта, дождь, течение 1 уз.

Более сложные погодные условия не рассматривались в силу редкости навигации в данном районе в таких условиях.

На основе полученных данных с помощью метода многомерной линейной регрессии [5] для каждого судна была построена аппроксимированная линия пути, называемая эталоном.

На рисунке 1 красным цветом изображен усредненный маршрут - эталон, полученный путем анализа траекторий первой модели судна из таблицы 1, а зеленым - самые удаленные от него маршруты, выполненные судоводителями в ходе эксперимента.

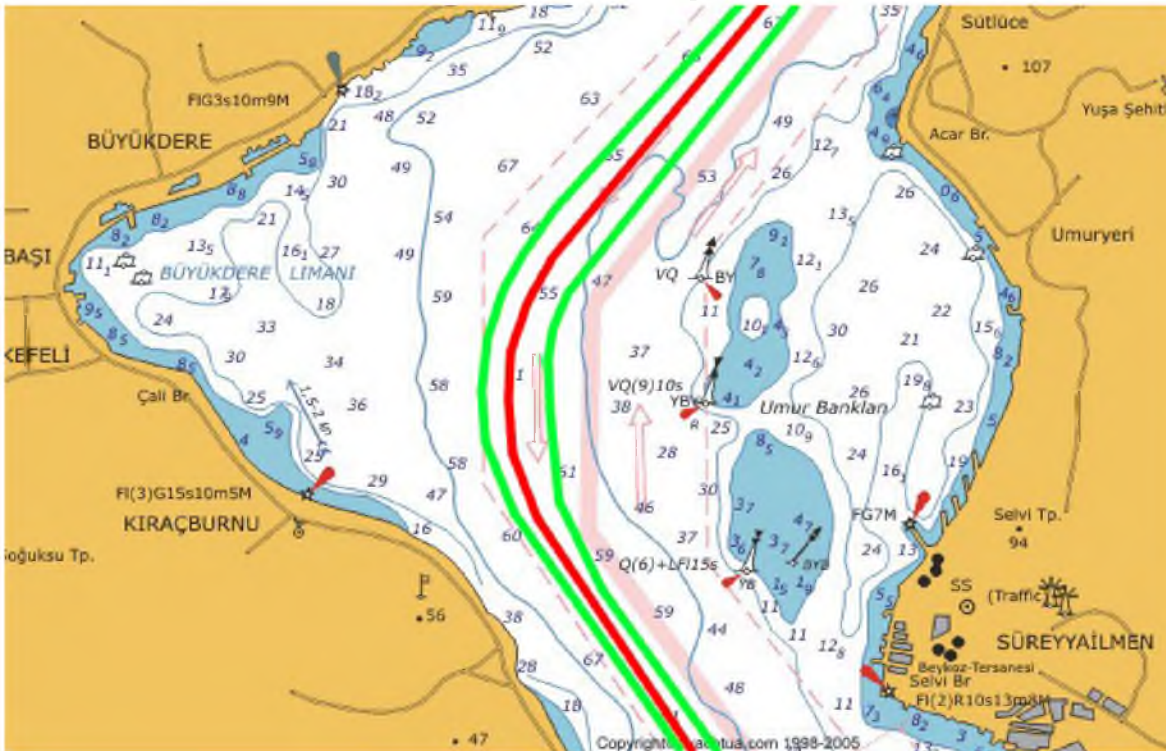


Рисунок 1 – красным цветом изображен эталонный маршрут, зеленым – самые удаленные от него маршруты, выполненные судоводителями в ходе эксперимента

Для целей создания системы поддержки принятия решений для судоводителей была построена предсказательная модель, которая, основываясь на имеющихся данных о местоположении судна, его скорости, размера и других параметрах, выдала оптимальные в условиях задачи команды по управлению корпусом судна для того, чтобы судно могло успешно совершить маневр и «уложиться» в имеющееся водное пространство.

Для построения математической модели авторы использовали метод модифицированный взвешенный метод  $n$  ближайших точек [3,5]. Целевое значение (угол перекладки руля  $\beta$ ) вычисляется как средневзвешенное значение угла перекладки для векторов состояния корпуса судна на линии, перпендикулярной эталону. Уравнение имеет вид:

$$\beta(u) = \frac{\sum_{i=0}^k y^i \|p(u, x_{i,u})\|}{\sum_{i=0}^k \|p(u, x_{i,u})\|}; \quad (\varphi_{x_{i,u}}, \lambda_{x_{i,u}}) \in \text{perpend}(\varphi_3, \lambda_3)$$

где:  $\beta$  – искомое значение перекладки руля,

$u$  – рассматриваемая точка, содержащая вектор параметров судна,

$x_{i,u}$  – рассматриваемая точка обучающего маршрута,

$y^i$  – целевое значение на  $x_{i,u}$ ,

$k$  – количество рассматриваемых обучающих маршрутов,

$p(u, x_{i,u})$  – расстояние от рассматриваемой точки до рассматриваемого обучающего маршрута,

$\varphi_3, \lambda_3$  – координаты точки эталона.

Рисунок 2 более наглядно объясняет концепцию.

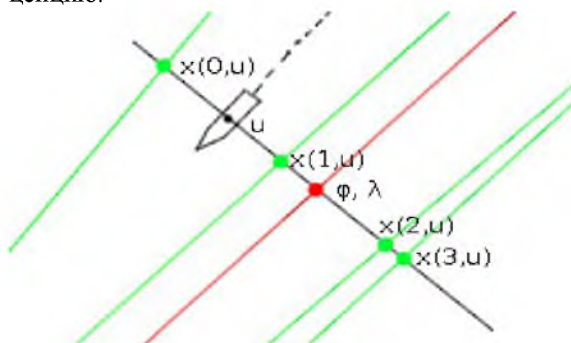


Рисунок 2 – Получение вектора точек обучающих маршрутов по перпендикуляру к эталону

На рисунке 2 буквой  $u$  обозначен вектор состояния судна, для которого принимается решение о маневре, зелеными линиями – обучающие маршруты, красной линией – эталонный маршрут, черной сплошной - перпендикуляр к эталону. Зеленые точки обозначают позиции на обучающих маршрутах, перпендикулярные эталону, а  $X$ -ами обозначены векторы состояний судов на

обучающих маршрутах в этих точках. Измеряя расстояния между векторами  $x$  и вектором  $u$  с помощью метрики, основанной на функции выживаемости [2], мы получаем вектор целевых значений, умноженных на нормированные коэффициенты,  $[x_{0,u}p_0, \dots, x_{k,u}p_k]$ , из которого дальше вычисляется взвешенное значение целевой переменной.

### Полученные результаты

Для каждого участка пути была выведены оптимальные по критериям безопасности и длины маршруты для каждого типа судна. Так же были получены безопасные коридоры, в которых свободно могут передвигаться схожие по типу суда. Таким образом удалось, фактически, получить коллекцию готовых исполнительных прокладок с корректными перекладками руля в каждой точке пути.

Полученные математические модели способны выдавать указания к маневрированию для схожего с моделью типа судна в зависимости от его позиции с тем, чтобы провести его в рамках полученного коридора и приблизить его траекторию к эталону.

### Проверка результатов

Для проверки результатов авторами был проведен эксперимент по проводке судна по тому же маршруту, руководствуясь указаниями предсказательной модели. Каждое судно из таблицы 1 удалось безопасно повести по маршруту, следуя указаниям модели.

Пример указаний, даваемых системой при прохождении участка показан на рисунке 3а, прокладка на тренажере при этом показана на рисунке 3б:

```
[02.04.20 18:53:34] 10 to port
[02.04.20 18:53:35] 12 to port
[02.04.20 18:53:36] 11 to port
[02.04.20 18:53:37] 10 to port
[02.04.20 18:53:38] 13 to port
[02.04.20 18:53:39] 15 to port
```

Рисунок 3а – пример указаний, даваемых системой

### Заключение

Такой подход позволяет гарантировать правильность исполнительной прокладки, не полагаясь на решения человека, которые могут быть не рациональны и подвержены ошибкам. Кроме того, такой способ позволяет выработать наиболее оптимальный по длине и безопасности маршрут и унифицировать ведение прокладки в одном и том же районе для разных судов.

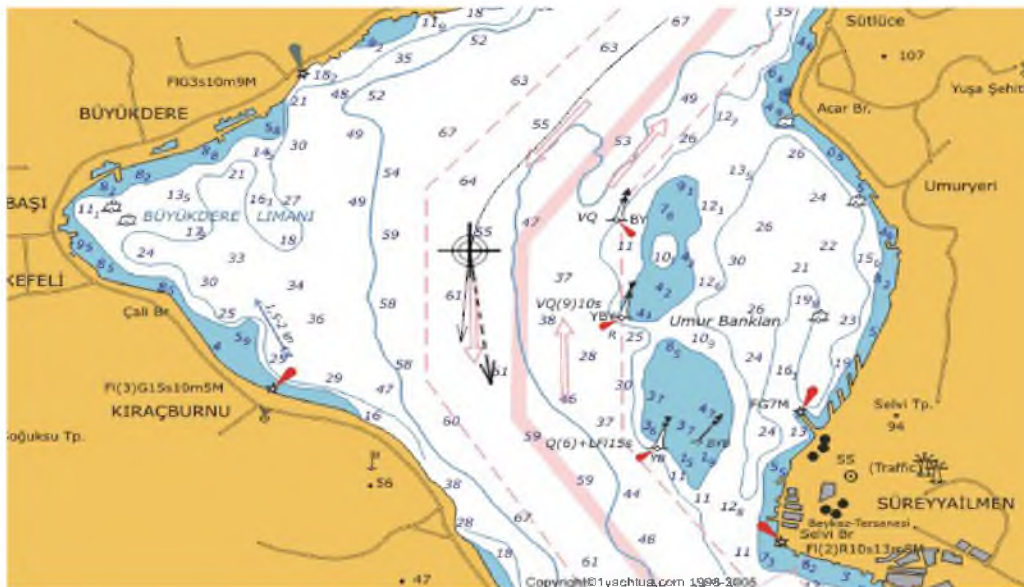


Рисунок 3б – прокладка на тренажере под руководством системы

Полученная в результате эксперимента математическая модель, по сути, является готовым способом генерации лоцманской проводкой, что может значительно упростить принятие решения во время маневрирования. Возможно, в будущем, с помощью таких систем удастся заменить живого лоцмана на мостике, так как даже при наличии лоцмана на борту решение по управлению судном принимает капитан.

Процесс сбора необходимого объема данных в реальных условиях также не представляет сложности для достаточно загруженного морского пути.

#### Литература

1. Стратегия развития и внедрения e-Навигации (Резолюция MSC 85/26/Add.1) E-NAVIGATION STRATEGY IMPLEMENTATION PLAN.
2. Антонов А.А., Студеникин Д.Е. Применение критериев различных способов оценки оптимальности при выборе маршрута: сборник докладов и тезисов конференции «Механизм сбалансированного развития транспортного комплекса юга России в условиях глобализации и санкций». – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2017.
3. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта / пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия–Телеком, 2010. – 520 с.
4. Студеникин Д.Е., Кондратьев С.И. Анализ предполагаемой траектории движения судна с учётом его маневренных возможностей // Естественные и технические науки. – 2013. – №5. – М.: Спутник +

5. Marz N., Warren A.J., (2015). Big Data Principles and Best Practices of Scalable Real-Time Data Systems. Manning Publications Co.
6. Кондратьев А.И. О необходимости внедрения беспилотных судов в торговый флот России [Текст] / А.И. Кондратьев, О.А. Худяков, А.Н. Попов // Транспортное дело России. – 2016. – № 6. – С. 138-140

#### REFERENCES

1. Resolution MSC 85/26 / Add.1 PLAN FOR THE IMPLEMENTATION OF AN ELECTRONIC NAVIGATION STRATEGY.
2. Antonov A.A., Studenikin D.E. Application of the criteria of various methods for assessing optimality when choosing a route, Novorossiysk: "The mechanism for the balanced development of the transport complex of the South of Russia in the context of globalization and sanctions" Collection of reports and abstracts of conferences, - GMU named after Adm. F.F.Ushakova, 2017.
3. L. Rutkovsky. Methods and technology of artificial intelligence / trans. from polish I.D. Rudinsky. - M.: Hot line - Telecom, 2010. -- 520 p.
4. Studenikin D.E., Kondratiev S.I. Analysis of the proposed trajectory of the vessel, taking into account its maneuvering capabilities, Natural and technical sciences No. 5, Moscow: Sputnik +, 2013
5. Marz N., Warren A.J., (2015). Big Data Principles and Best Practices of Scalable Real-Time Data Systems. Manning Publications Co.
6. Kondrat'ev A.I. O neobkhodimosti vnedreniya bespilotnyh sudov v torgovyy flot Rossii [Tekst] / A.I. Kondrat'ev, O.A. Hudyakov, A.N. Popov
7. // Transportnoe delo Rossii. 2016. № 6. S. 138-140