

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-7-16

THE PROBLEM OF FORECASTING VESSELS TRAJECTORIES IN THE WATER AREA

S. V. Smolentsev, D. V. Isakov, M. B. Solodovnichenko

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The problem of assessing the navigation situation in the water area is investigated in the paper. An important aspect of this problem is the making of correct predictions of all vessels movement in the water area. The prediction of the trajectory of vessel movement can be made using the route of this vessel and its mathematical model. The parameters of the mathematical model of a particular ship and its maneuvering characteristics can be obtained from the database according to the parameters of the ship type and dimensions. But to build the correct trajectory of the vessel's movement, it is necessary to know its route. If the vessel does not transmit its route by means of AIS system, then determining the route becomes a problem. In the absence of information about the vessel route, it is proposed to build it using indirect information. Based on the information about the water area from ECDIS, a navigation graph, representing all kinds of paths along which a vessel can move through this water area safely and legitimately, is built. Then, on the resulting graph for each specific vessel, a set of possible paths from its current position in the water area can be obtained. Each of the paths is assigned a weight (probability) of the ship movement along this path. In the future, these weights are recalculated and the paths with the maximum weight are used. In accordance with the proposed algorithm for each path, a route can be constructed as a sequence of waypoints. This route can be used to predict the trajectory of vessel movement in the water area. The approach proposed in the paper can be implemented in the system of ensuring the safety of navigation both on an unmanned vessel and in the vessel tracking management system.

Keywords: prediction of the vessel movement, route of the vessel, navigation graph, assessment of the navigation situation.

For citation:

Smolentsev, Sergey V., Dmitry V. Isakov, and Mikhail V. Solodovnichenko. "The problem of forecasting vessels trajectories in the water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.1 (2022): 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-7-16.

УДК 656.61.052

ПРОБЛЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ В АКВАТОРИИ

С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков, М. Б. Солодовниченко

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье исследована проблема оценки навигационной ситуации в акватории. Важным аспектом этой проблемы является построение корректных прогнозов движения всех судов в акватории. Отмечается, что прогноз траектории движения судна может быть построен с использованием маршрута этого судна и его математической модели. Параметры математической модели конкретного судна и его маневренные характеристики могут быть получены из базы данных по параметрам: тип судна — размерения, но для построения корректной траектории движения судна необходимо знать его маршрут. Если судно не передает свой маршрут средствами системы АИС, то его определение представляет значительную

сложность. В случае отсутствия информации о маршруте судна его предлагается строить с использованием косвенной информации. На основе информации об акватории из ЭКДИС строится навигационный граф, представляющий всевозможные пути, по которым судно может двигаться по данной акватории безопасно, не нарушая местные правила плавания. Затем на полученном графе для каждого конкретного судна может быть получено множество возможных путей из его текущего положения в акватории, каждому из которых назначается вес (вероятность) движения судна именно по этому маршруту. В дальнейшем эти веса пересчитываются и используются пути с максимальным значением. В соответствии с предложенным в работе алгоритмом для каждого пути может быть построен маршрут в виде последовательности точек. Этот маршрут и может быть использован для построения прогноза траектории движения судна в акватории. Предложенный в статье подход может быть реализован в системе обеспечения безопасности мореплавания как на безэкипажном судне, так и в системе СУДС.

Ключевые слова: прогноз движения судна, маршрут судна, навигационный граф, оценка навигационной ситуации.

Для цитирования:

Смоленцев С. В. Проблема прогнозирования траекторий движения судов в акватории / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков, М. Б. Солодовниченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-7-16.

Введение (Introduction)

Одной из основных задач при обеспечении безопасности мореплавания безэкипажных судов (БЭС) является оценка текущей навигационной обстановки, решение которой особенно актуально в районах интенсивного судоходства, узкостях и закрытых акваториях. Действия БЭС по маневрированию должны соответствовать требованиям «Международных правил предупреждения столкновения судов в море, 1972 г.» (далее — МППСС-72) [1]. Решению этих проблем посвящено множество работ, в частности проблема безопасного расхождения судов на основе МППСС-72 рассматривалась в работах [2]–[5]. Вопросы формализации МППСС-72 исследованы также в статье [6], в которой изучена проблема прогнозирования траекторий движения судов в заданной акватории. В качестве судна рассматривается судно-цель, проходящее по данной акватории.

В процессе решения задачи оценки степени опасности навигационной ситуации и принятия решения по маневрированию с целью расхождения используются прогнозы траекторий движения судов в акватории. Кроме того, решение, которое принимается системой расхождения безэкипажного судна (БЭС), представляет собой новую траекторию движения судна, которая должна обеспечить его безопасное движение относительно навигационных опасностей и других судов в акватории. Для этого необходимо использовать надежные прогнозы траекторий движения всех судов в акватории. Траектория движения каждого конкретного судна может быть построена с использованием математической модели динамики судна, например, предложенной в работах [7], [8], а также следующих данных:

- параметров модели динамики данного судна;
- информации о гидро-, метео- и навигационных условиях;
- маршрута данного судна.

Параметры модели динамики каждого конкретного судна зависят от типа судна и его размеров. Они могут быть получены из базы данных (БД) моделей судов по данным, передаваемым судами по АИС (тип, размерения). Кроме того, параметры модели для реального судна зависят от его текущего состояния: загрузки, степени обрастания корпуса, крена, дифферента и др.

Информация о навигационных условиях, оказывающих влияние на движение судна (в частности глубинах), может быть получена от ЭКДИС. Информация о гидрометеоусловиях в акватории может быть получена от сети метеостанций, которые, как правило, располагаются на объектах береговых или плавучих СНО.

Планируемый маршрут движения судна в акватории может передаваться средствами АИС, однако в настоящее время данная функция практически не используется.

В случае наличия всей указанной ранее информации и адекватных математических моделей задача прогноза траекторий движения судов в акватории решается достаточно просто. При этом точность прогноза в значительной степени зависит от точности параметров модели динамики судна и адекватного учета гидрометеороусловий в акватории. Однако недостаток информации может привести к невозможности решения задачи прогнозирования траекторий движения судов. В частности, без информации о маршрутах движения судов даже при наличии всей остальной информации корректный прогноз их траекторий на значительный период времени невозможен. Далее рассматривается проблема прогнозирования траектории движения судна в случае, если оно не передает информацию о своем маршруте. В данном случае недостаток подобной информации необходимо компенсировать информацией из других источников.

В работах [9]–[12] для построения маршрутов судов в акватории предлагается использовать ретроспективные данные, полученные от системы АИС. Такой подход возможен в системах управления движением судов (СУДС), которые могут на основе данных от системы АИС, полученных за определенный период времени, строить модель трафика в зоне своей ответственности. Однако для БЭС, которые могут находиться в различных акваториях, необходимо учитывать текущую обстановку и суда, находящиеся в данный момент времени в районе плавания.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Рассмотрим косвенный метод построения маршрута судна, позволяющий строить маршруты судов на основе косвенных данных с использованием интеллектуального подхода. При этом маршруты судов прогнозируются в соответствии с действиями судоводителя в данной акватории. Отсутствие прямой информации о планируемом маршруте, которую можно было бы получить от судна, компенсируется следующей информацией из других источников:

- предположения о маршруте (пункт назначения по данным АИС);
- информация о районе плавания (от ЭКДИС).

Будем считать, что судно не перемещается хаотично в акватории, а следует по своему маршруту, неизвестному системе.

Основные предположения о маршруте судна:

- маршрут *безопасный*, т. е. не пересекает границ навигационных опасностей, запретных зон и ограничивающей изобаты;
- маршрут *легитимный*, т. е. не нарушает международных правил (в частности, правил МППСС-72) и местных правил плавания;
- маршрут *осмысленный*, т. е. проходит через акваторию между узлами входа / выхода;
- маршрут *оптимальный*, т. е. длина его минимальна.

Таким образом, маршрут может быть задан множеством точек, из которых начальная и конечная принадлежат узлам входа / выхода в акваторию. Причем последовательность отрезков, соединяющих эти точки, не пересекает границ навигационных опасностей и проходит через зоны, предназначенные для плавания в соответствующем направлении. Такой маршрут будем называть *стандартным*. Подобные маршруты привязываются к типу судна и его водоизмещению (размерениям).

Следует понимать, что в акватории кроме стандартных маршрутов, удовлетворяющих приведенным ранее предположениям, могут существовать нарушающие их маршруты, по которым могут курсировать некоторые специализированные суда (например, лоцманские, бункеровщики, буксиры, паромы, земснаряды, трубоукладчики, суда, занятые ловом рыбы, и т. п.). Необходимо, чтобы система могла различать суда, к которым можно применять стандартные маршруты, а к каким нет. Для этого можно использовать тип судна и его водоизмещение (размерения), передаваемые судами по АИС.

Ключевой информацией, используемой для построения маршрутов, является *навигационная информация о районе плавания*, которую можно получить из ЭКДИС, в частности:

- узлы входа / выхода в акваторию;
- якорные стоянки;
- ограничивающая изобата;
- навигационные опасности;
- системы разделения движения (СРД);
- зоны, ограниченные или запретные для плавания;
- рекомендованные маршруты.

На основе данной информации в акватории могут быть выделены «коридоры», безопасно связывающие все узлы входа / выхода в данный район, районы входа / выхода в полосы СРД и якорные стоянки. В них будут входить полосы движения СРД и полосы вокруг рекомендованных маршрутов. Эти «коридоры» могут быть однонаправленными и двуполосными. Таким образом, в данной акватории на основе выделенных «коридоров» может быть построен связный направленный граф, представляющий собой всевозможные пути, по которым судно может двигаться по данной акватории безопасно и легитимно. Назовем такой граф *навигационным*.

Для одной акватории может быть построен набор навигационных графов для различных типов и размерений судов, поскольку для некоторых из них возможно наличие специальных маршрутов. Наличие некоторых «коридоров» и их ширина, а также маршрут могут зависеть от осадки судна. Далее будет рассмотрен один навигационный граф акватории для заданного типа судна и осадки. Все полученные результаты справедливы также для набора таких графов.

Результаты (Results)

Важным понятием в предлагаемой методике являются узлы входа в акваторию и выхода из нее. Это отрезки границы рассматриваемой акватории, через которые суда могут входить в эту акваторию и выходить из нее (рис. 1). Кроме того, в качестве узла входа / выхода можно рассматривать границу якорной стоянки. Как отмечалось ранее, любой стандартный маршрут должен быть осмысленным, т. е. начинаться и заканчиваться в одном из узлов входа/выхода в акваторию.

Для каждой пары вход / выход на навигационном графе может быть найдено оптимальное решение (задача нахождения оптимального пути на направленном графе), представляющее собой связанную последовательность «коридоров», проходящих от заданного входа к заданному выходу, минимизирующую их суммарную длину. Таким образом, для каждой акватории может быть получен навигационный граф, на основе которого построено множество оптимальных путей, связывающих любую пару узлов входа / выхода (рис. 2). Алгоритм построения множества оптимальных путей следующий:

1. Из ЭКДИС получают навигационную информацию о районе плавания.
2. На основе полученной информации строятся коридоры, связывающие узлы входа / выхода и узлы стыковки различных навигационных областей в районе плавания.
3. Строится навигационный граф, связывающий все коридоры в районе плавания. Каждое ребро графа может быть или однонаправленным, или двуполосным и иметь вес, равный протяженности соответствующего коридора.
4. На графе находят оптимальные пути, связывающие узлы входа / выхода друг с другом и минимизирующие суммарную протяженность коридоров, соответствующих данному пути.

При входе судна в акваторию для прогноза его траектории необходимо назначить этому судну некоторый путь, на основе которого можно получить непосредственно маршрут судна.

Алгоритм назначения пути судна:

1. По известным параметрам судна (типу, размерениям) из БД выбирается соответствующий навигационный граф.
2. Поскольку судно входит в акваторию через один из узлов входа / выхода, из навигационного графа выбирают множество возможных путей из этого узла во все остальные узлы входа / выхода (рис. 3).

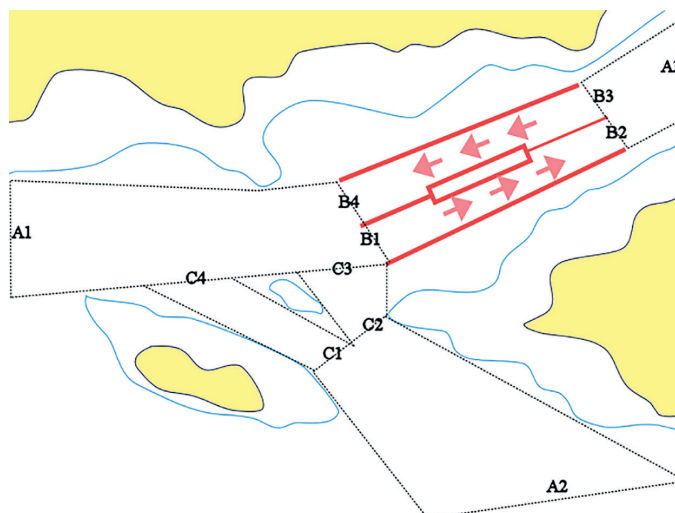


Рис. 1. Пример акватории с выделенными коридорами:
A1, A2, A3 — узлы входа / выхода,
B1–B4, C1–C4 — узлы-стыки коридоров

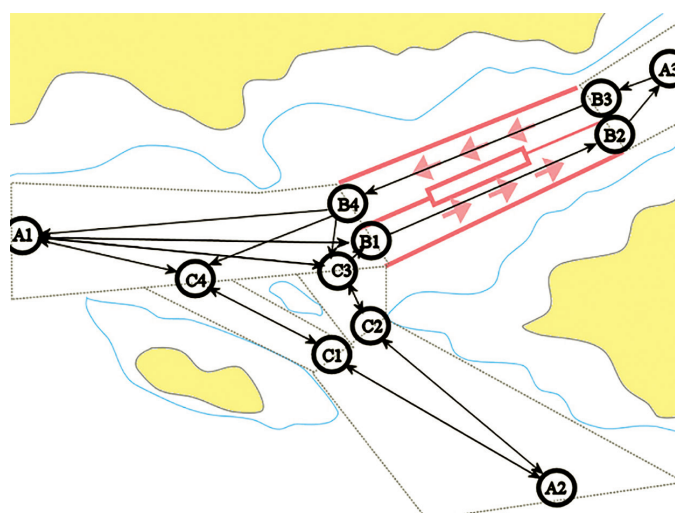


Рис. 2. Пример множества оптимальных путей на навигационном графе:

$A1 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow A2$
 $A1 \rightarrow B1 \rightarrow B2 \rightarrow A3$
 $A2 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow A1$
 $A2 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow B1 \rightarrow B2 \rightarrow A3$
 $A3 \rightarrow B3 \rightarrow B4 \rightarrow A1$
 $A3 \rightarrow B3 \rightarrow B4 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow A2$

3. Множество выбранных путей являются множеством гипотез о движении данного судна в пределах акватории. Этим гипотезам назначаются некоторые веса (например, вероятности). Первоначально веса назначаются в зависимости от параметров движения судна при входе в акваторию (направление движения судна). Например, для рис. 3, а в случае, если судно движется в направлении стыка C1, вес маршрута $A2 \rightarrow C1 \rightarrow C4 \rightarrow A1$ будет выше, чем вес маршрута $A2 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow B1 \rightarrow B2 \rightarrow A3$. Кроме того, начальное назначение весов маршрутов может зависеть от дополнительной информации. Например, если известно, что узел A3 ведет в порт, в котором отсутствует нефтеналивной терминал, то для судов типа «танкер» этот маршрут будет иметь меньший вес, чем веса альтернативных маршрутов. Либо, если, по данным АИС, порт назначения судна известен, то путь, ведущий в этом направлении, будет иметь максимальный вес.

4. При дальнейшем движении судна в акватории его траектория сравнивается с гипотезами и пересчитываются их веса. Например, для рис. 3, б при вхождении судна через узел $A3$ и движении между узлами $A3-B3-B4$ веса двух оптимальных путей: $A3 \rightarrow B3 \rightarrow B4 \rightarrow A1$; $A3 \rightarrow B3 \rightarrow B4 \rightarrow C3 \rightarrow C2 \rightarrow A2$, будут одинаковы (в случае отсутствия дополнительной информации). Вес возможного пути $A3 \rightarrow B3 \rightarrow B4 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow A2$ будет меньше (как неоптимального пути). Направление движения судна после стыка $B4$ позволяет пересчитать веса и выделить наиболее вероятный путь движения этого судна.

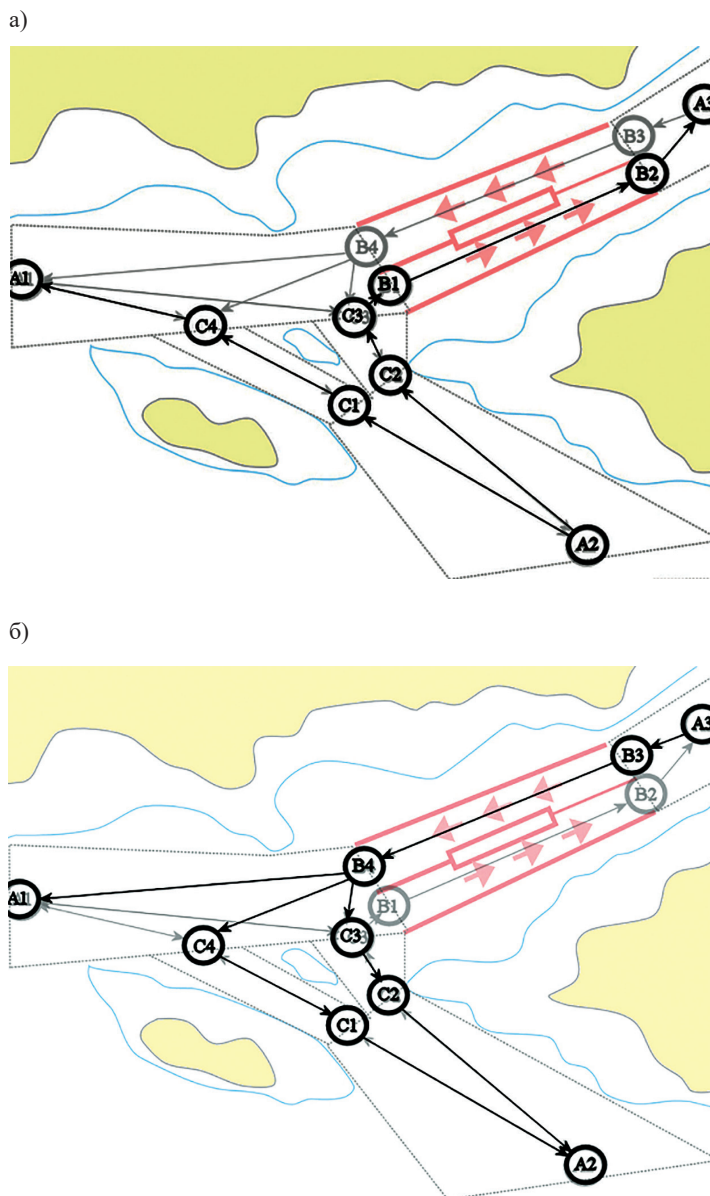


Рис. 3. Примеры возможных путей из узла $A2$ (а) и узла $A3$ (б)

Обсуждение (Discussion)

Прогноз пути судна, полученный с использованием методики, рассмотренной ранее, представляет собой путь на навигационном графе, которому соответствует связная последовательность коридоров в акватории. Для прогнозирования траектории движения судна необходимо построить маршрут судна — последовательность точек, соединенных отрезками, проходящими по этим коридорам. Узлы, соединяющие сходящиеся отрезки пути, представляют собой стыки коридоров между собой (рис. 4). Для получения собственно маршрута необходимо выбрать на этих отрезках точки, представляющие в совокупности маршрут судна.

Коридоры представляют собой области акватории, внутри которых судно может двигаться безопасно и легитимно. Форма коридора обычно представляет собой четырехугольник. Линии соединения коридоров между собой будем называть *стыками*. Осевой линией коридора будем называть прямую, проходящую через центры стыков с соседними коридорами.

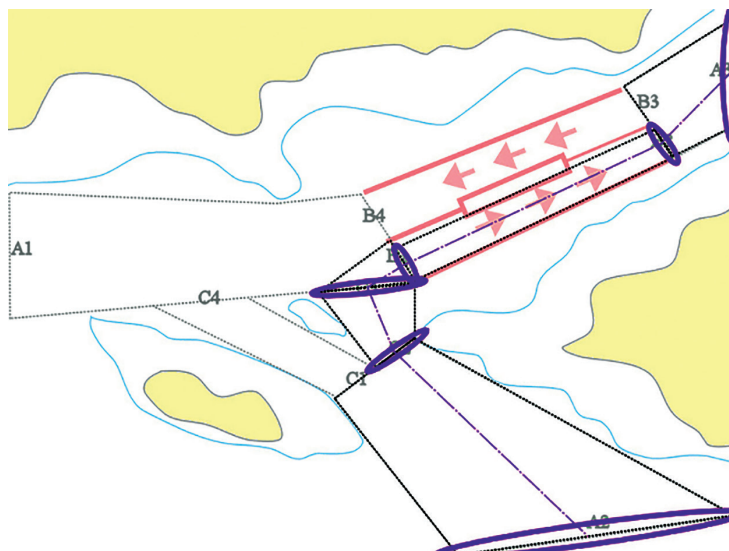


Рис. 4. Коридоры, стыки между ними, узлы входа / выхода и осевые линии коридоров

Для получения множества точек, представляющих маршрут судна, примем следующие предположения о движении судна внутри коридоров:

1. Внутри одного «коридора» движение судна происходит между его стыками с другими «коридорами» или узлом входа / выхода (для терминального «коридора») по прямой.
2. Если «коридор» двусторонний, то движение происходит правее его осевой линии.
3. Если «коридор» односторонний, то движение происходит ближе к его осевой линии.
4. Если для движения по следующему «коридору» необходимо повернуть на угол более 30° , то в случае, если это поворот вправо, маршрутная точка на стыке с ним смещается к правой границе стыка, в случае поворота влево, если оба «коридора» односторонние, маршрутная точка смещается к левой границе стыка, а если хоть один из них двусторонний — к осевой линии первого коридора справа.
5. Если «коридор» вдоль осевой линии имеет значительную протяженность (более четырех расстояний в поперечном направлении), то движение происходит преимущественно вдоль осевой линии.

6. Движение судна происходит таким образом, чтобы минимизировать количество поворотов.

На рис. 5 показан пример построения маршрута как множества маршрутных точек на основе следующей информации: начального положения судна и выбранного для него в соответствии с изложенным ранее подходом пути (последовательности движения внутри «коридоров»):

– точка 1 получена с использованием пп. 1 как пересечение известной линии движения судна со стыком C2;

- точка 2 получена с использованием пп. 2 и 4;
- точка 3 получена с использованием пп. 3 и 6;
- точка 4 получена с использованием пп. 3 и 5;
- точка 5 получена с использованием пп. 2 и 6.

Следует отметить, что поскольку маршрут судна является оценкой, основанной на неполной информации с использованием приведенных предположений, то он, конечно, не будет совпадать с неизвестным системе реальным маршрутом судна. Поэтому чем больше период прогноза

маршрута, тем менее точной является эта оценка. Таким образом, корректнее строить прогноз маршрута не как последовательность точек, определяющую ломаную линию, а как последовательность отрезков, задающую ширину полосы, в пределах которой может находиться прогнозируемый маршрут (рис. 6).

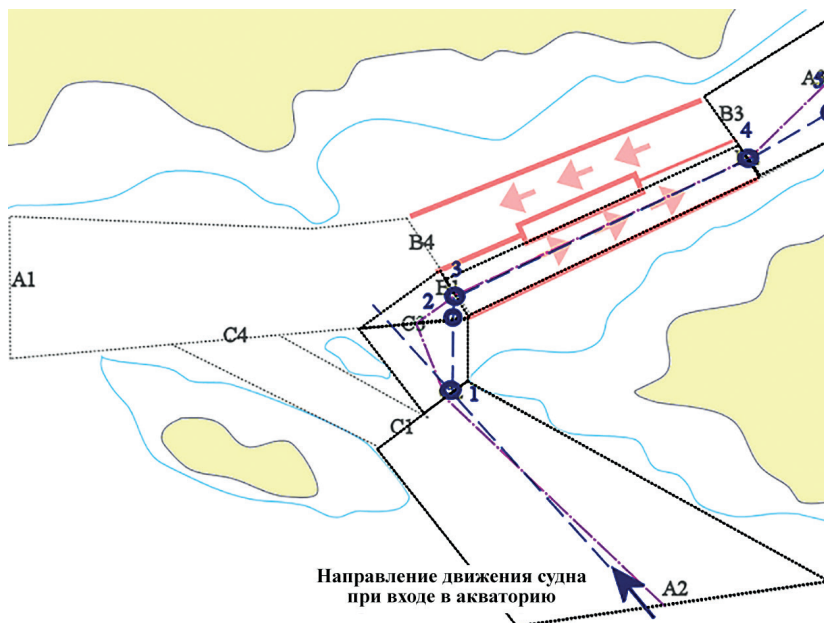


Рис. 5. Пример построения множества маршрутных точек

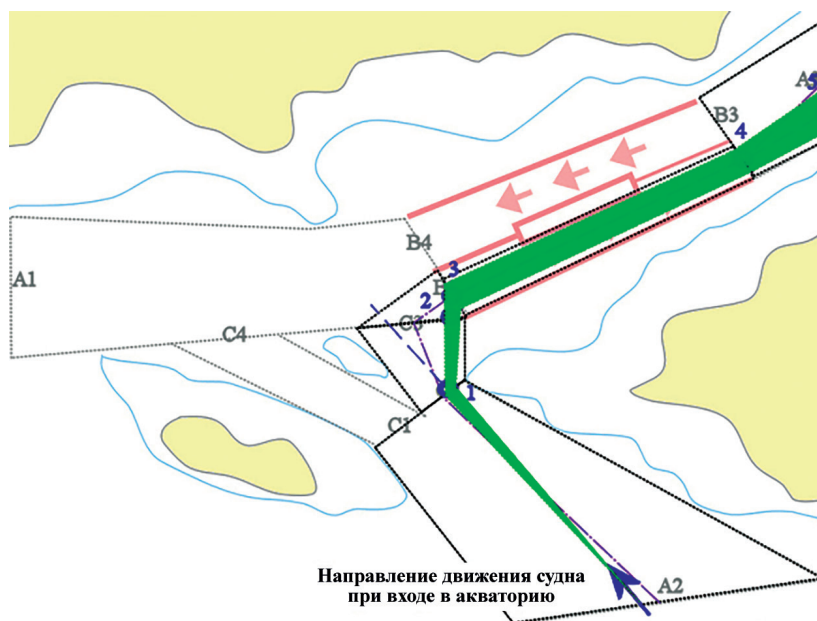


Рис. 6. Оценка маршрута как полосы возможного движения судна

Для решения задачи оценки безопасности необходимо использовать прогноз траектории движения судна как некоторой линии. В этом случае система должна принимать решения, выполненные следующим образом:

1. Строить оценку маршрута судна в соответствии с ранее приведенными принципами как последовательность отрезков, задающих полосу с переменной шириной.
2. Строить прогноз траектории движения судна для средней линии этого маршрута.

3. При оценке опасности данной траектории к значению дистанции опасного сближения добавлять половину ширины полосы прогноза маршрута в соответствующем месте. Тем самым будут учтены возможные отклонения реального маршрута от его прогноза.

Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Предложенный в данной работе подход позволяет строить маршрут судна-цели для использования его при построении прогноза движения этого судна.
2. Прогнозы движения всех судов в акватории необходимы для корректной оценки складывающейся навигационной ситуации.
3. Оценка маршрута судна-цели косвенным методом актуальна, поскольку несмотря на то, что в системе АИС предусмотрена функция передачи судами своих маршрутов, они этого не делают.
4. Предложенный подход может использоваться как в системах безопасного расхождения судов на безэкипажных судах, так и в системах управления СУДС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 г. (МППСС-72). — 5-е изд. — М.: Моркнига, 2011. — 142 с.
2. *Johansen T. A.* Ship collision avoidance and COLREGS compliance using simulation-based control behavior selection with predictive hazard assessment / T. A. Johansen, T. Perez, A. Cristofaro // IEEE transactions on intelligent transportation systems. — 2016. — Vol. 17. — Is. 12. — Pp. 3407–3422. DOI: 10.1109/TITS.2016.2551780.
3. *Woerner K. L.* Collision avoidance road test for colregs-constrained autonomous vehicles / K. L. Woerner, M. R. Benjamin, M. Novitzky, J. J. Leonard // OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey. — IEEE, 2016. — Pp. 1–6. DOI: 10.1109/OCEANS.2016.7761413.
4. *Смоленцев С. В.* Формализация задачи расхождения судов в море на основе теории мультиагентной системы / С. В. Смоленцев // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 2 (64). — С. 19–24.
5. *Каретников В. В.* К вопросу оценки рисков использования безэкипажных средств водного транспорта на участке акватории / В. В. Каретников, С. В. Козик, А. А. Буганец // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 6. — С. 987–1002. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002.
6. *Цымбал Н. Н.* Формализация МППСС-72 в части координации взаимодействия судов при расхождении / Н. Н. Цымбал, Р. Ю. Бужбецкий // Судовождение. — 2006. — № 12. — С. 124–129.
7. *Смоленцев С. В.* Моделирование движения судна на основе упрощенной кинематической модели / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1111–1121. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1111-1121.
8. *Смоленцев С. В.* Простая аналитическая модель движения судна / С. В. Смоленцев, Д. В. Исаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 7–21. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-7-21.
9. *Гриняк В. М.* Планирование маршрутов судов на основе кластеризации ретроспективных данных трафика акватории / В. М. Гриняк // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 61–78. DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2021-2/061-078.
10. *Гриняк В. М.* Оценка опасности трафика морской акватории по данным автоматической идентификационной системы / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, В. И. Люлько // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 4. — С. 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.
11. *Naus K.* Drafting route plan templates for ships on the basis of AIS historical data / K. Naus // The Journal of Navigation. — 2020. — Vol. 73. — Is. 3. — Pp. 726–745. DOI: 10.1017/S0373463319000948.
12. *Wang L.* Use of AIS data for performance evaluation of ship traffic with speed control / L. Wang, Y. Li, Z. Wan, Z. Yang, T. Wang, K. Guan, L. Fu // Ocean Engineering. — 2020. — Vol. 204. — Pp. 107259. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2020.107259.

REFERENCES

1. *International Rules of Preventing Collision at Sea: COLREGS*. 5 ed. M.: Morkniga, 2011.
2. Johansen, Tor Arne, Tristan Perez, and Andrea Cristofaro. "Ship collision avoidance and COLREGS compliance using simulation-based control behavior selection with predictive hazard assessment." *IEEE transactions on intelligent transportation systems* 17.12 (2016): 3407–3422. DOI: 10.1109/TITS.2016.2551780.
3. Woerner, Kyle L., Michael R. Benjamin, Michael Novitzky, and John J. Leonard. "Collision avoidance road test for colregs-constrained autonomous vehicles." *OCEANS 2016 MTS/IEEE Monterey*. IEEE, 2016. 1–6. DOI: 10.1109/OCEANS.2016.7761413.
4. Smolentsev, S. V. "Formalization of the ships' collision avoidance at sea on the basis of MAS theory." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(64) (2011): 19–24.
5. Karetnikov, Vladimir V., Sergey V. Kozik, and Artem A. Butsanets. "Risks assessment of applying unmanned means of water transport in the water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.6 (2019): 987–1002. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002.
6. Tsymbal, N. N., and R. Yu. Buzhetskii. "Formalizatsiya MPPSS-72 v chasti koordinatsii vzaimodeistviya sudov pri rashkhozhenii." *Sudovozhdenie* 12 (2006): 124–129.
7. Smolentsev, Sergey V., and Dmitry V. Isakov. "Simulation of ship movement based on a simplified kinematic model." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1111–1121. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1111-1121.
8. Smolentsev, Sergey V., and Dmitry V. Isakov. "A simple analytical model of ship movement." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 7–21. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-7-21.
9. Grinyak, V.M. "Vessel route planning based on traffic historical data clustering." *Vestnik VGUES* 13.2 (2021): 61–78. DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2021-2/061-078.
10. Grinyak, Victor M., Alexander S. Devyatisilnyi, and Victor I. Lulko. "Use of automatic identification system data for estimation of marine traffic safety." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.4 (2017): 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.
11. Naus, Krzysztof. "Drafting route plan templates for ships on the basis of AIS historical data." *The Journal of Navigation* 73.3 (2020): 726–745. DOI: 10.1017/S0373463319000948.
12. Likun Wang, Yang Li, Zheng Wan, Zaili Yang, Tong Wang, Keping Guan, and Lei Fu. "Use of AIS data for performance evaluation of ship traffic with speed control." *Ocean Engineering* 204 (2020): 107259. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2020.107259.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Смоленцев Сергей Викторович — доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: sswasily@mail.ru, SmolencevSV@gumrf.ru
Исаков Дмитрий Владимирович — доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_avt@gumrf.ru
Солодовниченко Михаил Борисович — кандидат технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: solodovnichenkomb@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Smolentsev, Sergey V. — Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035, Russian Federation
e-mail: sswasily@mail.ru, SmolencevSV@gumrf.ru
Isakov, Dmitry V. — associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035, Russian Federation
e-mail: kaf_avt@gumrf.ru
Solodovnichenko, Mikhail V. — PhD, professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035, Russian Federation
e-mail: solodovnichenkomb@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 10 декабря 2021 г.
Received: December 10, 2021.