

ПОДХОД И МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МОРСКИХ СУДОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ АИС

Добрица Вячеслав Порфирьевич,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия,
dobritsa@mail.ru

Зарубин Денис Михайлович,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия,
orion-589@yandex.ru

Зарубина Наталья Константиновна,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия,
nkzarubina@yandex.ru

Шиленков Егор Андреевич,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия,
ub3wcl@yandex.ru

Добросердов Дмитрий Гурьевич,
Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия,
steals149@inbox.ru

DOI: 10.36724/2072-8735-2021-15-10-38-43

Manuscript received 30 April 2021;
Accepted 17 June 2021

Ключевые слова: морской транспорт, система навигации, автоматическая идентификационная система, АИС, алгоритм

Обеспечение безопасности движения судов является приоритетной задачей развития морского транспорта. Ключевым элементом системы морской безопасности является система навигации, позволяющая в реальном времени получать информацию о местоположении судов, статусе их загрузки, скорости перемещения и рисках столкновения с другими судами. Перспективной платформой для создания такой системы навигации является автоматическая идентификационная система (АИС). Однако для превращения АИС в полноценную навигационную систему требуется решить ряд задач связанных с выработкой алгоритмов синхронизации АИС с глобальной навигационной системой, автоматической обработки сигналов, передаваемых АИС и оценки имеющихся рисков. Для решения вышеперечисленных задач, в данной статье предложена модель для разработки алгоритма определения местоположения морских судов на основе данных АИС и принятия решений о необходимости маневрирования в условиях близкого сближения судов. Показано, что для прогнозирования и автоматического предупреждения судов о потенциальных рисках удобно использовать оператор ранжирования конфликтов судов. При этом, в качестве исходных параметров для оценки рисков используются передаваемые АИС данные о размерах, взаимной скорости и ориентации сближающихся кораблей, а также размерах домена безопасности.

Информация об авторах:

Добрица Вячеслав Порфирьевич, Юго-Западный государственный университет, д.ф.-м.н. Кафедры информационной безопасности, г. Курск, Россия
Зарубин Денис Михайлович, Юго-Западный государственный университет, н.с. Центра перспективных исследований и разработок, г. Курск, Россия

Зарубина Наталья Константиновна, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

Шиленков Егор Андреевич, Юго-Западный государственный университет, к.т.н. директор Центра перспективных исследований и разработок, г. Курск, Россия

Добросердов Дмитрий Гурьевич, Юго-Западный государственный университет, н.с. Центра перспективных исследований и разработок, г. Курск, Россия

Для цитирования:

Добрица В.П., Зарубин Д.М., Зарубина Н.К., Шиленков Е.А., Добросердов Д.Г. Подход и модель определения координат морских судов на основе данных АИС // Т-Сотм: Телекоммуникации и транспорт. 2021. Том 15. №10. С. 38-43.

For citation:

Dobritsa V.P., Zarubin D.M., Zarubina N.K., Shilenkov E.A., Dobroserdov D.G. (2021) Approach and model for determining the coordinates of sea vessels based on AIS data. T-Comm, vol. 15, no. 10, pp. 38-43. (in Russian)

Введение

Морской транспорт играет важную роль в мировой экономической системе. Именно морским транспортом перевозится большая часть грузов по всему миру. При этом особо следует отметить важность морских путей сообщения для транспортировки наливных грузов (сырая нефть, нефтепродукты, сжиженный природный газ и химические продукты), контейнерных и пассажирских перевозок (автомобильно-пассажирские паромы и круизные пассажирские суда) [1,2]. В то же время использование морского транспорта сопряжено с очень большими финансовыми рисками и угрозой безопасности жизни людей. Действительно, хоть морские происшествия относительно редки, объемы грузов и людей, перевозимых современными судами, настолько велики, что в случае аварии личные, экономические и экологические потери могут быть огромными.

В общем потоке аварий происходящих с морскими надводными судами заземления, столкновения и пожары являются самыми частыми видами происшествий [3]. В частности, в местах с высокой посещаемостью (заливы, припортовые области и судоходные каналы) столкновения судов друг с другом в результате несчастного случая являются одними из самых частых видов аварий. Поэтому, наличие эффективных инструментов для сбора и анализа данных о существующих рисках, связанных с безопасностью морского транспорта различных типов, доступных как персоналу морского транспорта, так и прибрежным службам является чрезвычайно важным.

Изначально ожидалось что мониторинг и контроль за движением морского транспорта может осуществляться с высокой точностью только лишь за счет использования глобальной навигационной спутниковой (ГНС) системы. Однако на практике выяснилось что широкое использование ГНС систем в морской навигации проблематично из-за их уязвимости для случайных помех, приводящих к ошибкам в определении координат судов. Кроме того, использование для навигации только лишь одной ГНС системы несет в себе риски поскольку делает невозможным определение местоположения судна при намеренном нарушении сигнала ГНС или выходе из строя приемника. Поэтому, для обеспечения безопасности движения морских судов, возникла очевидная необходимость в разработке запасной навигационной системы на основе автоматической идентификационной системы (АИС) [4,5].

В настоящее время АИС – это международная, полностью автоматизированная система самоотчета, используемая для обмена информацией между судами и береговыми службами или между несколькими судами напрямую. Система АИС передает информацию о состоянии движения судна, его местоположении, скорости и статусе загрузки. Переданные данные могут быть получены в режиме практически реального времени другими судами или береговой системой управления движением судов (СУДС) [6].

Превращение АИС в навигационную систему - это сложный процесс, сопряженный с необходимостью решения ряда задач. Важнейшим из них является разработка алгоритмов обработки данных, поступающих на суда с помощью АИС, а также использование этих данных для определения местонахождения судов и оценки существующих рисков для их

безопасности. Целью данной работы является разработка модели для отработки алгоритма определения местоположения морских судов на основе данных АИС. Показано, что для прогнозирования и автоматического предупреждения судов о потенциальных рисках удобно использовать оператор ранжирования конфликтов судов. При этом, в качестве исходных параметров для оценки рисков используются передаваемые АИС данные о размерах, взаимной скорости и ориентации сближающихся кораблей, а также размерах домена безопасности.

Принцип действия АИС

Для создания алгоритма обработки данных АИС в целях навигации важно понимать основные принципы работы и особенности построения систем коммуникации морских судов на основе АИС. Согласно международной конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС) международной морской организации (ИМО), АИС обязательна для международных рейсовых судов с валовой вместимостью более 300 регистровых тонн, судов валовой вместимостью 500 регистровых тонн и более, не совершающих международные рейсы, а также для всех пассажирских судов [7]. Морские суда с меньшим водоизмещением и яхты также могут быть оборудованы АИС. Для всех типов судов передача данных АИС осуществляется с помощью радиоволн УКВ диапазона с частотной модуляцией (международные каналы связи AIS 1 с частотой 161,975 МГц и AIS 2 с частотой 162,025 МГц) в протоколе SOTDMA (от англ. Self Organising Time Division Multiple Access).

Изначально АИС создавалась лишь как система предотвращения столкновений. Однако, из-за простоты и удобства ее эксплуатации, в настоящий момент функционал системы существенно расширен и включает в себя следующие функции: избежание столкновений, морская безопасность и средства навигации, наблюдение и контроль судов рыболовного флота, отслеживание движения грузов, статистика и экономика, исследование морских течений, поиск и спасение, расследование происшествий и другие.

Стандартная система АИС на любом типе судна включает в себя следующие компоненты: УКВ передатчик, один или два УКВ приёмника, приёмник глобальной спутниковой навигации (GPS и/или ГЛОНАСС), модулятор/демодулятор на основе аналоговой-цифрового преобразователя, модуль управления на основе микроконтроллера и оборудование для ввода и вывода информации на элементы управления, см. рис.1. Работа станции АИС любого типа (как мобильной, так стационарной) должна быть жестко синхронизирована по времени с сигналом поступающим через встроенный приемник ГНС системы. Погрешность синхронизации не должна превышать 10 мкс. Однако, на практике из-за высокой скорости движения спутника относительно корабля, а также большого расстояния между ними, возникновение временных задержек, значительного доплеровского смещения и низкого соотношения сигнал-шум, создающего проблемы для правильного обнаружения сигнала АИС, является неизбежным. Тем не менее, при современном уровне технологии, влияние перечисленных проблем на надежность и качество обнаружения сигнала АИС может быть уменьшено за счет улучшения алгоритма синхронизации.

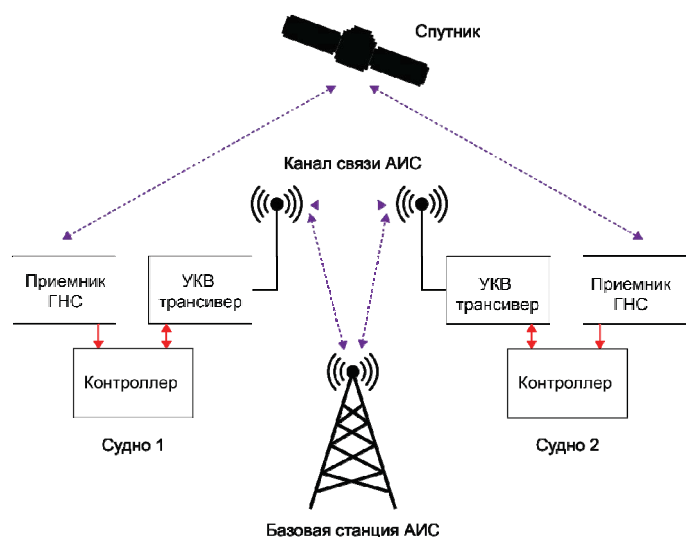


Рис. 1. Принцип действия АИС на примере взаимодействия двух судов

Здесь также стоит отметить о ряде существенных преимуществ АИС, выгодно отличающих ее от традиционных радиолокационных средств контроля за перемещением морских судов. В первую очередь, это увеличенная дальность обнаружения и оценки риска приближающегося корабля. В открытом море, дальность работы АИС определяется дальностью распространения УКВ, которая составляет порядка 20-30 миль. При этом дальность уверенного обнаружения и автоматического сопровождения приближающегося судна с помощью радиолокационных средств существенно меньше.

В зависимости от размеров судна и погодных условий дальность работы радиолокации варьируется в пределах 6-15 миль. Также, из-за способности УКВ огибать небольшие препятствия (например, в районах с пересеченной береговой линией, архипелагах, в узких проливах, фьордах и на реках), АИС позволяет получать информацию даже о тех судах которые находятся в «тени» для радиолокационных средств контроля за перемещением судов. Тут же добавим, что столь частые для радиолокационных средств помехи из-за отражения радиоволн от морской поверхности, осадков и соседних радаров практически не влияют на работу АИС.

Кроме того, погрешности информации передаваемой АИС не меняются при увеличении расстояния между судами и остаются неизменными в пределах всего рабочего диапазона. Также, эффективность использования АИС не снижается при использовании вблизи прибрежных объектов и в замкнутых водах. Наконец, к преимуществам АИС в целях предупреждения опасных сближения судов является возможность получения дополнительной информации о типе судна, статусе его движения, маршруте и порте назначения. В критической обстановке информация подобного рода полезна для правильной оценки ситуации и выбора наилучшего маневра расхождения.

Работа АИС осуществляется на одном частотном канале для всех абонентов одновременно. Для этого применяется метод множественного доступа с временным разделением каналов (TDMA - Time Division Multiplied Access). В связи с общей синхронизацией всех станций АИС по сигналам ГНС системы один кадр передачи - приема информации длитель-

ностью 60 секунд разбивается на 2250 временных интервалов (слотов). Каждая из станций использующих АИС для передачи своей информации выбирает один или несколько последовательных интервалов, которые не заняты другими станциями.

Помимо этого, передаваемые сообщения включают служебную информацию о временных интервалах, которые каждая станция АИС резервирует для передачи следующего сообщения. Таким образом, все станции, находящиеся в радиусе действия АИС автоматически взаимно синхронизируются, не мешая работе друг друга. Время передачи информации станциями АИС определяется типом станции и состоянием корабля (неподвижное, на ходу или маневрирующее) и для большинства движущихся судов варьируется от 10 до 2 секунд. Эта величина сопоставима с периодом радиолокационной информации, что позволяет использовать АИС для непрерывного отслеживания движения судов, аналогично тому как это делается с применением радиолокационной станции.

Моделирование движения морского транспорта

Как упоминалось выше, обнаружение сигнала АИС может происходить с задержками или сопровождаться помехами. Кроме того, следует учитывать ситуации когда система АИС может на время выходить из строя или принудительно отключаться (например, из соображений безопасности в водах где есть риск встречи с пиратскими суднами). Следовательно, для полноценного функционирования навигационных систем на основе АИС, помимо отображения информации о местоположении кораблей в реальном времени, должна быть также предусмотрена возможность хранения истории взаимного перемещения кораблей и прогнозирования их траектории и рисков взаимного сближения на основе сохраненных данных.

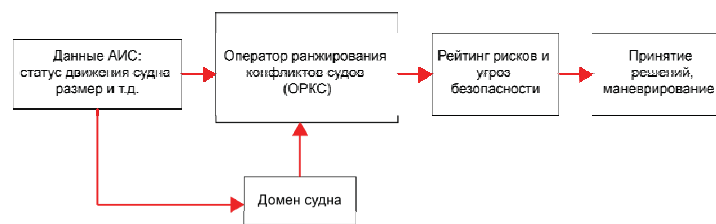


Рис. 2. Модель для разработки алгоритма определения местоположения морских судов на основе данных АИС и принятия решений в условиях близкого сближения

Как показано в работе [8], для прогнозирования и автоматического предупреждения судов о потенциальных рисках удобно использовать оператор ранжирования конфликтов судов (ОРКС). Основываясь на данных АИС, данный оператор позволяет производить оценку серьезности попарного столкновения судов и присваивать им рейтинг, позволяющий судить о величине риска того или иного сближения.

Обычно встречи судов с более высоким рейтингом представляют собой более опасные виды сближения, а встречи с более низким рейтингом - более безопасные. Мы предлагаем следующую концепцию обработки данных АИС для определения местоположения морских судов и оценки существующих рисков движению морского транспорта (см. рис. 2).

Данные АИС (статус судна, размер и скорость движения) в сочетании с информацией о характеристиках домена судна анализируются с использованием ОРКС. Далее, информация о местоположении судов, статусе их движения и рейтинг поступают на средства вывода информации и используются для принятия решений о целесообразности продолжения следования курсу или необходимости маневрирования.

Для построения ОРКС удобно пользоваться математической моделью движения морского транспорта, позволяющей описывать общие характеристики встреч «корабль-корабль». Практически все модели движения морского транспорта, используемые в настоящее время, строятся на общих принципах, отличаясь только подходом к моделированию движения отдельных судов [9]. Для целей данной работы мы будем использовать геометрическую модель, которая позволяет производить оценки рисков опасного сближения судов на основе статистических данных об интенсивности и распределении трафика. При этом, никакие отдельные движения судов не моделируются. Количество встреч судов рассчитывается исходя из условий, что все суда плывут по заданному маршруту, в соответствии с пространственным распределением по водному пути. У них нет возможности отклониться от этих стандартных маршрутов. Когда судно встречает препятствие, такое как другое судно или мелководье, оно также не реагирует. Примером практического использования геометрической модели, которая работает по принципам, описанным выше, является SAMSON – модель оценки безопасности для судоходства и шельфа в Северном море [9].

Функциональная форма математической модели для построения оператора ранжирования конфликтов судов может быть выведена из качественных соотношений между отдельными факторами, которые, имеют отношение к серьезности конфликта. В рамках данного исследования выделим следующие факторы:

1. Безопасное расстояние между двумя кораблями. Отметим, что определение данного расстояния как длины прямой, соединяющей центры кораблей в момент сближения было бы неверным. Скорее, безопасное расстояние между судами должно определяться как расстояние между границами областей очерченных вокруг каждого из кораблей.

2. Скорость изменения дистанции в ходе встречи. Данная величина определяется взаимной скоростью движения кораблей и дает представление о величине интервала времени, доступном для выполнения действий уклонения.

3. Взаимная ориентация двух кораблей. Это величина определяется разницей между их курсами и фактором, который объясняет разную интенсивность маневров уклонения.

4. Размер корабля. Поскольку область безопасности корабля зависит от его размеров, безопасное расстояние также косвенно определяется размерами корабля.

Далее остановимся более подробно на каждом из перечисленных факторов в отдельности.

Домен корабля. Учитывая специфику движения морского транспорта, задача определения местоположения судна по данным АИС сводится к определению координат не какой-либо отдельной точки, связанной с судном, а области вокруг него. Эта область, именуемая также домен судна, определяется как область вокруг морского судна, которую по соображениям безопасности штурман хотел бы держать свободной от других судов. Нарушение границ домена подразумева-

ет опасное сближение, которое несет угрозу столкновения. Поэтому правильный выбор формы и размера домена корабля в рамках используемой модели имеет важное значение для классификации морских столкновений с точки зрения их серьезности. В литературе описаны разные подходы для описания домена судна (см., например, [10]). Так, были предложены круглые, эллиптические и многоугольные домены. В данной статье будет рассмотрен эллиптический домен корабля. Несмотря на относительную простоту математического описания эллиптического домена, эффективность его использования для описания движения морских судов с помощью АИС была эмпирически подтверждена для случая открытых и прибрежных вод [8]. При дальнейшем рассмотрении, домен судна будет определяться как эллипс с большей осью вдоль длины судна и малой осью, перпендикулярной к корпусу корабля, как показано на рисунке 3.

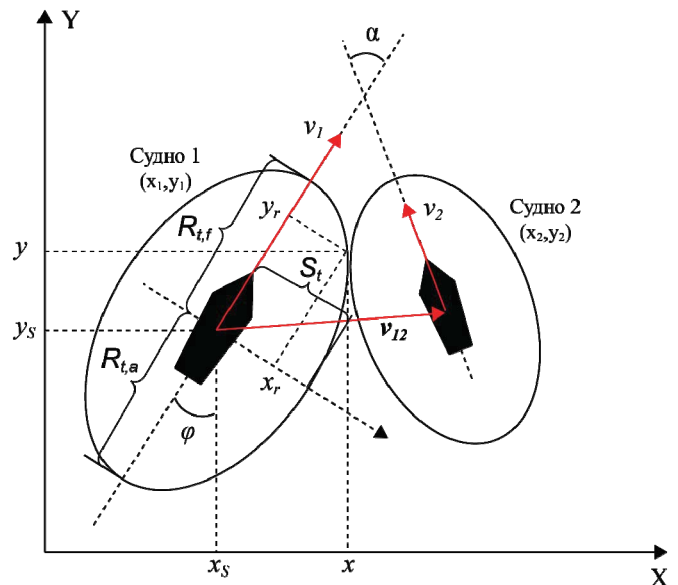


Рис. 3. Модель схождения двух кораблей различных размеров, движущихся со скоростями v_1 и v_2 . Хорошо видны эллиптические домены кораблей, относительная скорость v_{12} и взаимная ориентация кораблей (α)

Отметим, что выбранный домен является симметричным из чего следует что:

- 1) проход судна за кормой считается таким же опасным, как проход перед носом корабля;
- 2) при встрече кораблей самый большой корабль имеет самый большой домен.

Это означает, что при сближении двух судов различного размера для самого большого судна определенная ситуация может классифицироваться как опасная, тогда как для самого маленького судна та же ситуация может быть оценена как безопасная. Вышеупомянутые особенности эллиптического домена лишь подтверждают важность правильного выбора типа домена судна для корректного описания и классификации столкновений с точки зрения их серьезности. Однако, следует принимать во внимание также и тот факт что правильного описания одного лишь домена корабля недостаточно для оценки серьезности конфликтов. Как мы покажем далее, выбор формы и размера домена следует рассматривать наряду с другими ситуационными характеристиками.

Следуя методологии предложенной в [8,10], эллиптический домен судна можно описать математически следующим образом:

$$f_3(x, y) > 0, \text{ когда } (x, y) \text{ вне области домена,} \quad (1)$$

$$f_3(x, y) = 0, \text{ когда } (x, y) \text{ на границе домена,} \quad (2)$$

$$f_3(x, y) < 0, \text{ когда } (x, y) \text{ внутри области домена.} \quad (3)$$

Здесь $f_3(x, y)$ определяется как

$$f_3(x, y) = \left(\frac{x-x_0}{S_t}\right)^2 + \left(\frac{y-y_0}{R_{t,f}}\right)^2 - 1, \quad (4)$$

при условии $0 \leq \varphi_r \leq 90^\circ$ или $270 \leq \varphi_r \leq 360^\circ$

$$f_3(x, y) = \left(\frac{x-x_0}{S_t}\right)^2 + \left(\frac{y-y_0}{R_{t,a}}\right)^2 - 1, \quad (5)$$

при условии $90 \leq \varphi_r \leq 270^\circ$, где S_t – поперечный радиус домена, $R_{t,f}$ и $R_{t,a}$ – продольные радиусы домена в носовой и кормовой частях домена.

При этом

$$\varphi_r = \arccos \frac{y_r}{\sqrt{x_r^2 + y_r^2}}, \text{ когда } x_r \geq 0, \quad (6)$$

$$\varphi_r = 360^\circ - \arccos \frac{y_r}{\sqrt{x_r^2 + y_r^2}}, \text{ когда } x_r < 0, \quad (7)$$

$$x_r = (x - x_0)\cos\varphi - (y - y_0)\sin\varphi, \quad (8)$$

$$y_r = (x - x_0)\sin\varphi + (y - y_0)\cos\varphi. \quad (9)$$

Наконец,

$$x_0 = x_s + d_c \sin(\varphi + 90^\circ) \quad (10)$$

$$y_0 = y + d_c \cos(\varphi + 90^\circ). \quad (11)$$

Учитывая, что расстояние между судами само по себе полностью не описывает сложности встречи, его следует использовать вместе с другими параметрами. Однако считается, что серьезность столкновения уменьшается с увеличением расстояния между двумя кораблями.

Кроме того, расстояние следует определять не просто как расстояние между центрами двух столкнувшихся кораблей, а как расстояние от наблюдаемого корабля до границы области безопасности наблюдающего корабля. Это связано с тем, что штурманы держат большее расстояние между судами разного размера. В математической модели это соотношение учитывается тем, что ОРКС обратен пропорционален расстоянию между сближающимися кораблями.

Относительная скорость кораблей. Наряду с расстоянием между судами, скорость взаимного сближения судов (v_{12}) также является важным фактором, который следует учитывать для оценки риска при возможном столкновении. Как показано на рисунке 3, она рассчитывается на основе фактической скорости двух кораблей и их истинного курса.

Взаимная ориентация кораблей. Взаимная ориентация судов может быть описана с помощью величины и полярности фазы. Величина фазы, обозначенной как α на рисунке 3, меняется в диапазоне $[-\pi, \pi]$. При этом, отрицательное значение фазы указывает на то, что встреча не представляет интереса для мореплавателей, поскольку корабли находятся далеко друг от друга. Напротив, положительное значение фазы означает, что корабли приближаются друг к другу.

Заключение

В статье рассмотрены особенности работы автоматической системы идентификации (АИС), проведен анализ ее достоинств и недостатков, а также дана оценка перспектив использования АИС в навигационных целях. Предложена модель для разработки алгоритма определения местоположения морских судов на основе данных АИС и принятия решений о необходимости маневрирования в условиях близкого сближения судов.

Показано, что для прогнозирования и автоматического предупреждения судов о потенциальных рисках удобно использовать оператор ранжирования конфликтов судов, который позволяет судить о рисках движению судов на основе данных о размерах, взаимной скорости и ориентации сближающихся кораблей, а также размерах домена безопасности.

Литература

1. Zhang C., Bin, J., Wang, W., Peng, X., Wang, R., Halldearn, R., Liu, Z. AIS data driven general vessel destination prediction: A random forest based approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2020. Vol. 118, 102729.
2. Дорошко В. М., Лебедева А. Н. Экспертные представления об основных ситуационных моделях коллективного движения судов. *Проблемы управления*. 2006. №4. С. 43-49.
3. Gao, M., Shi, G.-Y., Jiao Liu, J. Ship encounter azimuth map division based on automatic identification system data and support vector classification. *Ocean Engineering*. 2020. Vol. 213, 107636.
4. Zhang, L., Meng, Q., Xiao, Z., Fu, X. A novel ship trajectory reconstruction approach using AIS data. *Ocean Engineering*. 2018. Vol. 159, P. 165-174.
5. Гриняк В.М. Обеспечение безопасности движения судов на основе кластеризации параметров движения. Территория новых возможностей. *Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса*. 2020. Т.12, № 2. С. 135–147.
6. Головченко Б.С., Гриняк В.М. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2014. Вып. 2, С. 156-162.
7. Mazzarella, F., Vespe, M., Damalas, D., G. Osio, G. Discovering vessel activities at sea using AIS data: Mapping of fishing footprints. 17th International Conference on Information Fusion (FUSION), Salamanca, Spain, 2014. P. 1-7.
8. Zhang, W., Goerlandt, F., Kujala, K., Wang, Y. An advanced method for detecting possible near miss ship collisions from AIS data. *Ocean Engineering*. 2016. Vol. 124, P. 141-156.
9. de Boer, T. Application of AIS data in a nautical traffic model. *Delft University of Technology*. 2010. 95 p.
10. Wang, N., Meng, X., Xu, Q., Wang, Z. A Unified Analytical Framework for Ship Domains. *Journal of Navigation*. 62, 2009. P. 643-655.

APPROACH AND MODEL FOR DETERMINING THE COORDINATES OF SEA VESSELS BASED ON AIS DATA

Vyacheslav P. Dobritsa, South-West State University, Kursk, Russia, dobritsa@mail.ru

Denis M. Zarubin, South-West State University, Kursk, Russia, orion-589@yandex.ru

Natalia K. Zarubina, South-West State University, Kursk, Russia, nkzarubina@yandex.ru

Egor A. Shilenkov, South-Western State University, Kursk, Russia, ub3wcl@yandex.ru

Dmitry G. Dobroserdov, South-West State University, Kursk, Russia, steals149@inbox.ru

Abstract

Ensuring the safety of vessel traffic is of high priority for the development of maritime transport. One of the key elements of the maritime security system is the navigation system, which provides real-time information about the location of vessels, their loading status, speed and the risk of collisions with other vessels. A promising platform for creating such a navigation system is the automatic identification system (AIS). However, to turn the AIS into a reliable navigation system, it is necessary to solve a number of problems associated with the development of algorithms for synchronizing the AIS with the global navigation system, automatic processing of signals transmitted by the AIS and assessing the existing risks. To solve the above problems, this article proposes a model for developing an algorithm for determining the position of sea vessels based on AIS data and making decisions on the need for maneuvering in conditions of close proximity of vessels. It is shown that it is convenient to use the operator for ranking the conflicts of ships to predict and automatically warn ships about potential risks. At the same time, the data transmitted by the AIS on the sizes, mutual speed and orientation of approaching vessels, as well as the size of the ship domain, are used as the initial parameters for assessing the risks.

Keywords: sea transport, navigation system, automatic identification system, AIS, algorithm.

References

1. Zhang C., Bin, J., Wang, W., Peng, X., Wang, R., Haldearn, R., Liu, Z. (2020). AIS data driven general vessel destination prediction: A random forest based approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Vol. 118, 102729.
2. Dorozhko V. M., Lebedeva A. N. (2006). Expert views on the main situational models of the collective movement of ships. *Management problems*. No. 4. pp. 43-49. Gao, M., Shi, G.-Y., Jiao Liu, J. (2020). Ship encounter azimuth map division based on automatic identification system data and support vector classification. *Ocean Engineering*. Vol. 213, 107636.
3. Zhang, L., Meng, Q., Xiao, Z., Fu, X. (2018). A novel ship trajectory reconstruction approach using AIS data. *Ocean Engineering*. Vol. 159, P. 165-174.
4. Grinyak V. M. (2020). Ensuring the safety of ship traffic based on the clustering of traffic parameters. The territory of new opportunities. *Bulletin of the Vladivostok State University of Economics and Service*, vol. 12, no. 2, pp. 135-147.
5. Golovchenko B. S., Grinyak V. M. (2014). Information system for collecting data on the movement of ships in the marine area. *Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov*. Issue 2, pp. 156-162.
6. Mazzarella, F., Vespe, M., Damalas, D., G. Osio, G. (2014). Discovering vessel activities at sea using AIS data: Mapping of fishing footprints. *17th International Conference on Information Fusion (FUSION)*, Salamanca, Spain, P. 1-7.
7. Zhang, W., Goerlandt, F., Kujala, K., Wang, Y. (2016). An advanced method for detecting possible near miss ship collisions from AIS data. *Ocean Engineering*. Vol. 124, P. 141-156.
8. de Boer, T. (2010) Application of AIS data in a nautical traffic model. Delft University of Technology. 95 p.
9. Wang, N., Meng, X., Xu, Q., Wang, Z. (2009). A Unified Analytical Framework for Ship Domains. *Journal of Navigation*. 62, P. 643-655.

Information about authors:

Vyacheslav P. Dobritsa, South-West State University, Dr. of Physico-mathematical Sciences Information Security Department, Kursk, Russia

Denis M. Zarubin, South-West State University, Research Officer Center for Advanced Research and Development, Kursk, Russia

Natalia K. Zarubina, South-West State University, Research Officer Center for Advanced Research and Development, Kursk, Russia

Egor A. Shilenkov, South-Western State University, Ph.D. Director of the Center for Advanced Research and Development, Kursk, Russia

Dmitry G. Dobroserdov, South-West State University, Research Officer Center for Advanced Research and Development, Kursk, Russia