

УДК 519.68:15:681.5

В. М. Гриняк

Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
Владивосток. Россия

Обеспечение безопасности движения судов на основе кластеризации параметров движения

Работа посвящена проблеме обеспечения безопасности движения судов на морских акваториях. Ставится задача оценки системы установления путей движения судов на основе кластеризации ретроспективных данных о траекториях их движения. Таким образом выделяются устоявшиеся, выработанные эксплуатационной практикой паттерны движения конкретной морской акватории. Эта информация может быть использована при управлении движением судов бортовыми и береговыми средствами, дополняя классические методы оценки риска, предупреждения опасного сближения и планирования безопасной траектории. Суда, нарушающие правила движения на акватории, могут не представлять непосредственной опасности, однако они способны создать трудноразрешимую опасную навигационную ситуацию через некоторое время. Отмечено, что для рассматриваемой задачи лучше всего подходят методы кластеризации, ориентированные на поиск центров кластеров при неизвестном их числе. Признаками объектов являются координаты, скорости и курсы. Это даёт возможность определять характерные значения курсов и скоростей на том или ином участке акватории и оценивать близость параметров движения судна к рекомендуемому. Подробно рассмотрены методы горной и субтрактивной кластеризации, делается выбор в пользу последнего. Предлагается декомпозиция исходной задачи: акватория разбивается на небольшие участки, кластеризация осуществляется для каждого участка отдельно, считая, что признаками объектов являются только скорости и курсы по отдельности или одновременно. Решение описанной задачи кластеризации возможно с использованием данных, предоставляемых сервисами Автоматической идентификационной системы (АИС), как актуальных, так и ретроспективных, доступных на открытых интернет-ресурсах.

Работа сопровождается результатами расчётов на реальных данных о движении судов в Сангарском проливе. Дается оценка соответствия параметров реального движения судов результатам кластеризации. Отмечается, что рассмотренный подход к кластерному анализу является также способом количественной оценки опасности схемы движения на акватории.

Гриняк Виктор Михайлович – д-р техн. наук, профессор кафедры информационных технологий и систем; e-mail: Viktor.Grinyak@vvsu.ru

Ключевые слова и словосочетания: безопасность судождения, планирование маршрута, система установления путей движения судов, кластеризация, АИС.

V.M. Grinyak

Vladivostok State University of Economics and Service

Vladivostok, Russia

Marine traffic control based on route clustering

This paper is about navigation safety of marine traffic at sea areas. In addition to traditional approach of danger situation detection based on vessels approaching, the current paper introduces another metrics de-rived from kinematic parameters of the vessel itself, to identify whether it follows patterns (rules) of the traffic at a certain sea area. Authors focused their efforts on analyzing existing traffic schemas in order to identify its danger level in general rather than scrutinizing on individual cases.

Along with the traditional approach of sea traffic schema identifications, proposed original method of automated identification of sea traffic schemes based on clustering of movement parameters using historical AIS data. The kinematic model with additional clustering of the objects at sea area is used. Clustering is built up on identification of "typical" objects with splitting maritime area into subsets of arias with similar movement patterns. For the clustering decomposition Mountain clustering and Subtraction clustering algorithms were considered. The model under research is built depending on the heading parameter and is applicable for both unidirectional and bidirectional traffic. The historical AIS data of sea traffic at Tsugaru strait is used for identifying traffic schema with the model designed under presented research.

The proposed model shows correct identification of the traffic schema, accurately identifies straight-line traffic clustering areas crossing likes traffic clustering areas and active maneuvering areas.

As a part of the work there are analyses of relevant research with emphasizes on superior differences such as automated identification of vessel movement types and quantitative measure of overall danger for the traffic scheme based on clustering analyses.

Study of proposed approach for safety measures on real navigation area proves its potential for future implementation in real applications to provide navigation schema for vessel navigators.

Keywords: navigation safety, route planning, ship track system, clustering, AIS.

Введение

Отраслевые представления о безопасном движении включают в себя три задачи, решаемые судоводителями и операторами береговых служб: оценку риска опасного сближения, предупреждение опасного сближения и планирование траектории безопасного движения [30]. Первая задача состоит в заблаговременном обнаружении возможности опасного сближения и предупреждении судоводителя о том, что существует риск столкновения с препятствием или сближения с ним на недопустимо малое расстояние [3; 29]. Вторая задача связана с маневрированием для ухода судна от опасного сближения, выработкой алгоритма действий судоводителя, позволяющих избежать опасного сближения с другими объектами [1; 2; 12]. Третья задача направлена на прогноз навигационной ситуации на основе текущей обстановки и расчёт планируемой траектории судна таким образом, чтобы обеспечить его движение на безопасной от других объектов дистанции [5; 24; 25].

В последние годы имеет место постоянный рост интенсивности трафика в акваториях морских портов и на подходах к ним [32]. Ситуацию усложняет систематическое присутствие на акватории нетрадиционных транспортных средств, требующих особого внимания: буксируемых к месту назначения буровых платформ, судов военного и специального назначения, а в перспективе – высокоскоростных и высокоманевренных судов и беспилотных морских транспортных средств с их особой правовой и навигационной спецификой [13; 14; 28]. В таких условиях традиционных подходов становится недостаточно для эффективного управления коллективным движением судов. Это требует разработки новых методов и модельных представлений поддержки принятия решений, обеспечивающих работу бортовых и береговых систем управления движением.

Одним из элементов организации коллективного движения на море является система установления путей движения судов [15; 16]. Она представляет собой набор ограничений, накладываемых определённой схемой движения судов («правилами движения»), принятой на конкретной акватории. Задача выработки таких схем движения окончательно сформировалась в середине 50-х годов [17; 18; 19], когда на гражданском флоте была массово внедрена радиолокационная техника, дающая возможность достаточно точного определения местоположения судна. Целью системы установления путей движения судов является исключение неопределённостей или возможностей принятия ошибочных решений судоводителями. Оценка соблюдения требований системы установления путей («правил движения») способна дополнить традиционные инструменты обеспечения безопасности в условиях интенсивного движения. Суда, нарушающие правила движения на акватории, с точки зрения классических представлений могут не представлять опасности в настоящий момент, однако способны привести к трудноразрешимой опасной навигационной ситуации через некоторое время.

Определение схем движения может осуществляться как экспертным способом – с учётом географии акватории, особенностей трафика и различных практических аспектов судовождения, так и на основе наблюдений – путём выделения устоявшихся, выработанных эксплуатационной практикой паттернов движения конкретной морской акватории. Перспективным путём к реализации последнего подхода является анализ ретроспективных данных о трафике морских акваторий. В основу модельных представлений этой задачи может быть положена идея кластеризации параметров движения. Оценка возможности определения схем движения судов таким способом использования их для обеспечения безопасности движения и является целью настоящей статьи.

Основные модельные представления

Коллективное движение судов, как правило, характеризуется типичными значениями курса и скорости на тех или иных участках акватории [7; 8]. Например, на участках фарватеров, характерных для проливов или мелководья, суда идут строго определёнными курсами и соблюдают скоростной режим. В районах якорных стоянок значения курсов разнообразны и велика доля покоящихся судов. В районах рыбного промысла движение судов нерегулярно, хаотично и т.п. Таким образом, имеет место корреляция координат судна с курсом и скоростью.

С точки зрения задачи описания схемы движения на акватории для задания зависимости скоростей, курсов и координат удобно использовать модельные представления кластеризации [33].

В основу идеи кластеризации положено выделение подмножеств объектов (кластеров), близких друг к другу по своим характеристикам. Существует два типа кластеров: кластеры – области связности и кластеры – «сгустки». В первом случае выделяются подмножества объектов, «похожих» друг на друга и существенно отличающихся от остальных объектов множества. Во втором случае выделяются объекты с «самыми типичными» характеристиками, принимаемые за центры кластеров. Остальные объекты относят к соответствующим подмножествам, если они «похожи» на выделенные центры. В обоих случаях задача кластеризации решается на определённой метрике – функции, задающей степень близости («расстояние») между объектами [21; 22; 31].

В известной работе [32] описана задача кластеризации траекторий первого типа. Признаками объектов при кластеризации являлись координаты судов. При нахождении областей связности были выделены основные траектории движения судов в районе интенсивного судоходства. Это позволило определять аномально движущиеся суда, чей путь не был характерен для данной акватории (что представляло интерес, например, для правоохранительных органов). С точки зрения задач навигационной безопасности представляется целесообразной кластеризация траекторий второго типа. Она даёт возможность определять характерные значения курсов и скоростей на том или ином участке акватории и оценивать близость параметров движения судна к рекомендуемым.

Пусть каждое судно характеризуется географическими координатами, скоростью и курсом. Центральным элементом задачи кластеризации является определение метрики расстояния между объектами. Характерный размер кластера по курсу может составлять 5–10 градусов, по скорости – 2–3 метра в секунду. Определение характерных размеров кластера по координатам – нетривиальная задача. На акватории могут встречаться как участки длительного равномерного движения судов в несколько десятков километров, так и участки маневренного движения (поворота) размером в несколько сотен метров. Поэтому для некоторых приложений целесообразно прибегнуть к декомпозиции исходной задачи: разбить акваторию на небольшие (например, квадратные) участки размером от сотен метров до нескольких километров и осуществлять кластеризацию для каждого из участков отдельно, считая, что признаками объектов являются только скорости и курсы – по отдельности (одномерная кластеризация) или одновременно (двумерная кластеризация). Такое упрощение вполне соотносится с практической отраслевой спецификой задачи.

Для решения задачи кластеризации второго типа хорошо зарекомендовали себя алгоритмы горной и субтрактивной кластеризации, не требующие задания количества кластеров. Первый из них состоит в следующем. Пусть имеется множество из M объектов и матрица расстояний D_{ij} , задающая степень близости между объектами с индексами i и j . Примем, что возможными центрами кластеров являются сами объекты. Для каждого из них рассчитывается значе-

ние потенциала, показывающего возможность формирования кластера в его окрестности:

$$P_i = \sum_{j=1}^M \exp(-\alpha D_{ij}),$$

где M – число объектов,

α – число, характеризующее масштаб расстояний D_{ij} ,

$\exp()$ – оператор экспоненты.

На первом шаге алгоритма рассчитывают потенциал P_i каждого объекта и выбирают объект с наибольшим потенциалом; этот объект (пусть его индекс равен max_1) считают центром первого кластера. На втором шаге пересчитывают значения потенциалов всех объектов так, чтобы исключить влияние потенциала уже найденного кластера – от текущих значений потенциала P_i вычитают вклад центра найденного кластера по формуле:

$$P_i^{(2)} = P_i - P_{max_1} \exp(-\beta D_{i max_1}),$$

где β – число, характеризующее размер кластеров.

Центр второго кластера – это точка с индексом max_2 с максимальным значением потенциала $P_i^{(2)}$. Аналогично находятся центры всех следующих кластеров. Итерационная процедура пересчета потенциалов и выделения центров кластеров продолжается до тех пор, пока максимальное значение потенциала превышает некоторый заданный порог. Принадлежность точки к тому или иному кластеру определяется по расстоянию до центра этого кластера.

Метод субтрактивной кластеризации является модификацией горного алгоритма. После нахождения центра первого кластера из множества объектов исключаются объекты, принадлежащие первому кластеру, после чего процедура итеративно повторяется до тех пор, пока максимальное значение потенциала превышает заданный порог.

В рассматриваемой задаче имеется специфическая особенность данных по курсу судна. Возможно задание курса как на множестве $[0, 360^\circ)$, так и на множестве $[0, 180^\circ)$. В первом случае различаются суда, плывущие по фарватеру как «вперёд», так и «назад»; такой способ подходит для моделирования «двустороннего» движения. Во втором случае суда, движущиеся в противоположных направлениях, не различимы. Такое представление целесообразно, когда важно описать зоны пересечения судопотоков.

Решение описанной задачи кластеризации возможно с использованием данных, предоставляемых сервисами Автоматической идентификационной системы (АИС), как актуальных, так и ретроспективных, доступных на открытых интернет-ресурсах типа [26].

Результаты

Исследование проводилось на реальных данных о движении судов, собранных с ресурса [26] с помощью специально разработанной программной системы [6; 10]. Ниже показан пример данных для одной из рассмотренных акваторий –

Сангарского пролива. Были взяты данные о движении в течение одной недели, всего около 1,5 млн записей. Акватория разбивалась на квадратные участки со стороной 1 км. Кластеризация проводилась для каждого из участков, где число данных было больше 20. Признаками объектов считались курсы. Кластеризация проводилась только по курсам в силу особенностей имеющихся данных: движение в Сангарском проливе характеризуется стабильностью скоростей судов.

Метрика расстояния между объектами задавалась как разность их курсов, доопределённая с учётом периодичности значений угла. Курсы задавались на множестве $[0, 180^\circ)$. Количество значений курсов на некоторых участках акватории достигало 200.

Использовался метод субтрактивной кластеризации. Значения параметров метода подбирались таким образом, чтобы корректно идентифицировать кластеры эталонной выборки. В результате значение параметра α было выбрано соответствующим характерному радиусу кластера 16° ; объекты считались принадлежащими кластеру, если они лежали ближе, чем в 20° от его центра ($1,25\alpha$). Итерационная процедура поиска центров кластеров заканчивалась, если потенциал очередного кластера не превышал 10% потенциала первого кластера – оставшиеся кластеры считались незначимыми.

На рисунке 1 показаны данные о количестве найденных кластеров. Серым показаны участки акватории, где курсы судов образуют один кластер, тёмно-серым – два, светло-серым – три, чёрным – четыре. Участков с большим числом кластеров найдено не было.

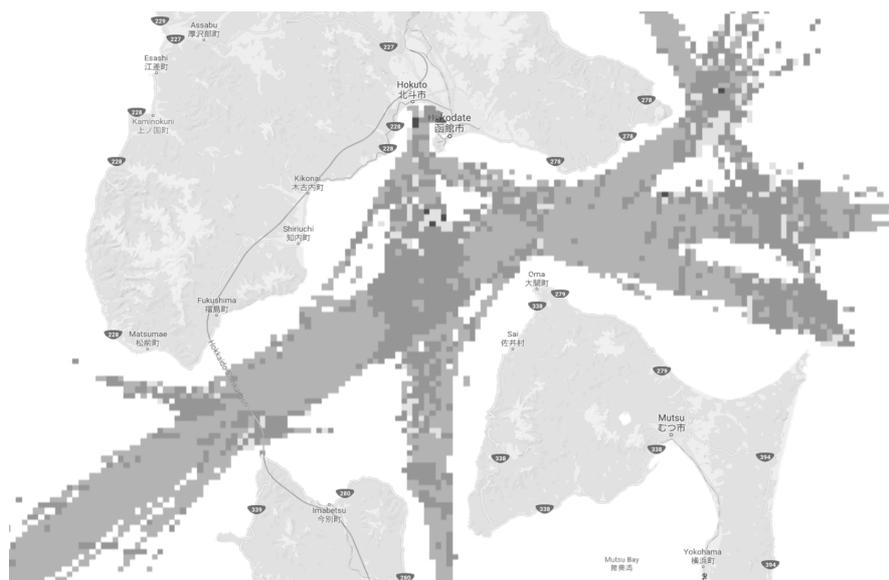


Рис. 1. Количество кластеров в данных о курсах судов

На рисунке 1 хорошо видны зоны регулярного движения судов с постоянными курсами – серые участки. Тёмно-серые участки – это области пересечения

двух судопотоков. Светло-серые и чёрные – зоны пересечения нескольких судопотоков и зоны нерегулярного хаотичного движения (в районе, прилегающем к порту Хакодате).

На рисунке 2 линиями показаны курсы, соответствующие первому (чёрные линии) и второму (серые линии) кластеру. Видно, что найденные значения курсов полностью соответствуют направлению движения реальных судопотоков.

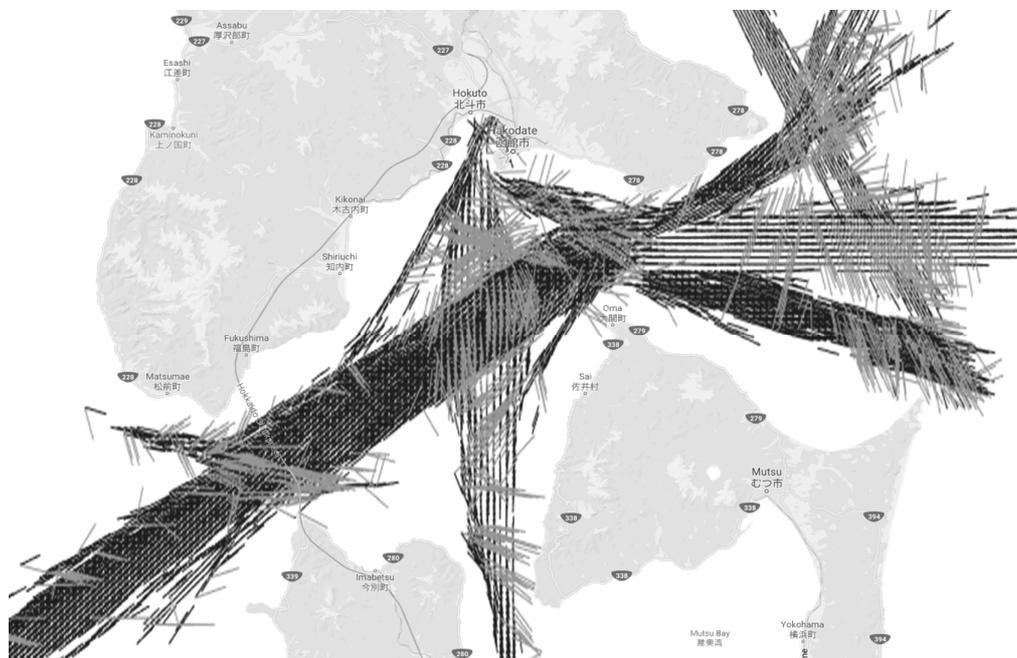


Рис. 2. Центры первого (чёрные) и второго (серые) кластеров в данных о курсах судов

Поддержка принятия решений при обеспечении безопасности движения судов с учётом решения обсуждаемой задачи оценки схем движения судов осуществляется следующим образом:

1. На основе ретроспективных данных о движении судов и рассмотренного алгоритма кластеризации производится оценка характерных значений курсов и/или скоростей судов на тех или иных участках выбранной акватории.

2. По результатам этапа 1 акватория делится на участки с регулируемым (там, где выделены характерные значения курсов и/или скоростей) и нерегулируемым движением. Формируется соответствующая база данных.

3. Для каждого судна, находящегося на наблюдаемой акватории, решается задача оценки риска опасного сближения с другими судами. Если такое опасное сближение возможно, то решается задача предупреждения опасного сближения. При этом имеются в виду ограничения, обусловленные результатами этапов 1 и 2.

4. Для каждого судна, находящегося на участках с регулируемым движением, решается задача оценки соответствия параметров движения результатам кластеризации на этапе 1. Если судно движется «не по правилам», то решается

задача планирования траектории безопасного движения с учетом ограничений, обусловленных результатами этапов 1 и 2.

На рисунке 3 показана оценка соответствия параметров реального движения судов результатам кластеризации. Считая, что возможные курсы судов заданы в соответствии с данными рис. 3, а отклонение от рекомендованного курса не должно превышать принятый размер кластера (20°), было проанализировано движение судов в течение одних суток, следующих за периодом исходных данных о движении. Серым показана область акватории, где курсы судов считаются установленными. Это зона, где задана и контролируется схема движения судов. Чёрным показаны точки, где было зафиксировано движение судов по курсам, не соответствующим установленным. Число таких судов, хотя бы раз «нарушивших» правила движения, по акватории составило около 15%, что подтверждает актуальность рассматриваемой задачи.

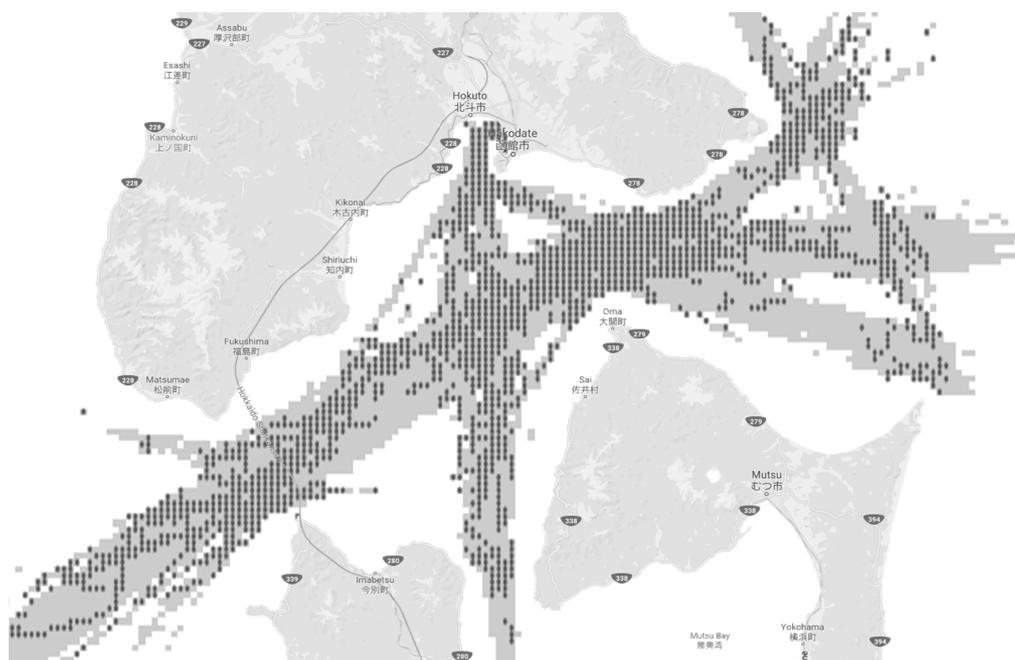


Рис. 3. Область с установленными курсами судов (серая) и точки «нарушения» правил движения (чёрные)

В завершение описания результатов исследования отметим, что в приведённом на рис. 1–3 примере кластеризация на данных о движении судов в течение одной недели уже оказывается достаточно репрезентативной. Однако для качественного решения задачи в реально эксплуатируемых системах следует увеличить объем выборки.

В последнее десятилетие явно отмечается повышенное внимание исследователей к задачам анализа данных о движении на акваториях. Заслуживает внимания работа [29], в которой предложена экспертная система оценки степени опас-

ности движения судов в ограниченных водах, основанная на вероятностных модельных представлениях.

С развитием технологий и сервисов Автоматической идентификационной системы, концепции е-навигации [20] и технологий облачных вычислений у исследователей появилась возможность работать с большими массивами данных о реальном движении судов. В этой области можно выделить статью [27]. В работе описаны данные, доступные через систему АИС, исследуются статистические характеристики траекторных данных о движении судов близ берегов Португалии. Предлагается вероятностная модель оценки риска опасного сближения судов и даётся оценка количества опасных ситуаций в рассматриваемом регионе. На основе анализа массивов данных о движении выделяются характерные навигационные ситуации «судно–судно». В этой части статья пересекается с работой отечественных авторов [11], где дан анализ системы экспертных представлений о коллективном движении судов на основе его разделения на базисные информационные конструкции, обладающие общностью и репрезентативностью характеристик; описаны характерные конфигурации (паттерны) опасных ситуаций различного типа (для двух, трёх и караванов судов). Однако, в отличие от работы [27], в статье [11] навигационные ситуации определяются априорно, из классических геометрических соображений.

В отличие от всех этих работ в настоящей статье даётся способ количественной оценки опасности схемы движения на акватории путём кластерного анализа. Способ раскрывает и ещё одну сторону комплексного и многозначного понятия «безопасность движения». Участки акваторий со стабильными параметрами траекторий потенциально менее опасны [9]. Данные, представленные на рис. 1, демонстрируют вариант оценки стабильности параметров движения на том или ином участке акватории. Важны число выявленных кластеров параметров движения, их «ширина», «разброс» величин относительно центров кластеров. Так, если выявлено 1–2 «узких» кластера по курсу, то это свидетельствует о регулярном, стабильном судопотоке на участке. Большое количество кластеров по курсу говорит о разнонаправленных пересекающихся судопотоках или нерегулярном движении. Например, данные рис. 1 говорят о том, что в акватории Сангарского пролива движение судов в основном безопасно, повышенное внимание требуется лишь при движении в области пересечения судопотоков в центре пролива и у его западного входа.

Заключение

В работе обоснован дополняющий классические представления подход к оценке безопасности движения судна: оценивать не только актуальный риск опасного сближения с другими судами, но и соответствие кинематических параметров движения допустимым значениям для данной точки акватории («правилам движения»). Это множество допустимых значений предлагается определять с помощью кластеризации данных о движении судов, включающих в себя географические координаты, скорость и курс судна, т.е. путём кластеризации оценивать параметры схемы движения на акватории. При решении задачи целесообразно прибегнуть к декомпозиции: разбить акваторию на небольшие участки

(от сотен метров до нескольких километров) и осуществлять кластеризацию для каждого участка отдельно, считая, что признаками объектов являются скорости и курсы по отдельности (одномерная кластеризация) или одновременно (двумерная кластеризация).

Перспективными методами кластеризации в рассматриваемой задаче являются алгоритмы, ориентированные на поиск центров кластеров без предварительного задания их количества (например, горный и субтрактивный). Источником данных для оценки параметров схемы движения на акватории могут служить сервисы Автоматической идентификационной системы. В работе показана возможность использования не только первичных данных АИС, но и их вариантов, доступных на специализированных интернет-ресурсах. Несмотря на некоторую «разреженность» этой версии данных, они достаточно адекватно представляют сводные особенности трафика.

Для кластеризации параметров траекторий необходимы данные о движении судов в течение нескольких суток. Так, для формирования рис. 1–3 были обработаны массивы из 1,5 млн записей. Для высоконагруженных акваторий характерны объёмы данных до 50 млн записей за неделю. Решение задачи в таких районах требует разработки специальных программных систем и алгоритмов на основе технологий суперкомпьютеров и больших данных.

1. Астреин В. В., Боран-Кешишьян А. Л. Базовая модель распределенной системы предупреждения столкновений судов // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова. – 2016. – № 1 (14). – С. 19–23.
2. Бурмака И. А., Пасечнюк С. С., Кулаков М. А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 2 (83). – С. 76–81.
3. Васьков А. С., Гаращенко М. А. Способы представления зоны навигационной безопасности судна // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 3 (84). – С. 38–44.
4. Васьков А. С., Грищенко А. А. Сопровождение параметров траектории движения судна // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – Т. 3, № 4 (46). – С. 77–82.
5. Вишневецкий С. А. Использование метода полей потенциалов для локального планировщика маршрута судна // Эксплуатация морского транспорта. – 2016. – № 3 (80). – С. 37–43.
6. Головченко Б. С., Гриняк В. М. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2014. – № 2 (24). – С. 156–162.
7. Гриняк В. М., Девятисильный А. С., Люлько В. И. Оценка опасности трафика морской акватории по данным Автоматической идентификационной системы // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – № 4. – С. 681–690. – DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.
8. Гриняк В. М., Девятисильный А. С., Шуленина А. В. Оценка эмоциональной нагрузки на судоводителей в условиях коллективного движения // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 640–651. – DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-640-651.
9. Гриняк В. М., Иваненко Ю. С., Шуленина А. В. Комплексная оценка опасности трафика морской акватории // Территория новых возможностей. Вестник Владивосток-

- ского государственного университета экономики и сервиса. – 2020. – Т. 12, № 1. – С. 90–104. – DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/090-104
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018618729 Российская Федерация. Программа сбора траекторных данных о движении судов из открытых интернет источников / В. М. Гриняк, А.В. Шурыгин; заявитель и патенто-обладатель ВГУЭС; опубл. 19.07.2018.
 11. Дорожко В. М., Лебедева А. Н. Экспертные представления об основных ситуационных моделях коллективного движения судов // Проблемы управления. – 2006. – №4. – С. 43–49.
 12. Система интеллектуальной поддержки судоводителя при расхождении судов / С. П. Дмитриев, Н. В. Колесов, А. В. Осипов, Г. Н. Романычева // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2003. – №2. – С. 98–105.
 13. Принципы формирования противоаварийных алгоритмов амфибийных судов на воздушной подушке / В. Ю. Каминский, Д. А. Скороходов, С. Н. Турусов, А. В. Фёдоров // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – Т. 2, № 4 (46). – С. 39–45.
 14. Каретников В. В., Козик С. В., Буцанец А. А. К вопросу оценки рисков использования безэкипажных средств водного транспорта на участке акватории // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 6. – С. 987-1002. – DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002.
 15. Лентарёв А. А. Морские районы систем обеспечения безопасности мореплавания: учебное пособие. – Владивосток: Морской государственный университет, 2004. – 114 с.
 16. Лентарёв А. А. Основы теории управления движением судов. – Владивосток: Морской государственный университет, 2018. – 181 с.
 17. Общие положения об установлении путей движения судов, № 9036. – Издание ГУ-НиО МО СССР, 1987. – 32 с.
 18. Таратынов В. В. Целесообразность разделения морских путей // Морской флот. – 1969. – №9. – С. 19–20.
 19. Таратынов В. П. Судовождение в стесненных районах. – Москва: Транспорт, 1980. – 128 с.
 20. Титов А. В., Баракат Л., Хаизаран А. Состояние и перспективы реализации технологии е-навигации // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 621–630. – DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-621-630.
 21. Bishop C. M. Pattern recognition and machine learning. – New York: Springer Science Business Media, 2006. – 738 p.
 22. Bezdek J. C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. – Boston: Springer, 1981. – 256 p.
 23. Debnath A. K., Chin H. Ch. Navigational traffic conflict technique: a proactive approach to quantitative measurement of collision risks in port waters // Journal of Navigation. – 2010. – Vol.63, Is. 3. – P. 137-152. DOI: 10.1017/S0373463309990233.
 24. Lazarowska A. Ship's trajectory planning for collision avoidance at sea based on ant colony optimisation // Journal of Navigation. – 2015. – Vol. 68, Is. 2. – P. 291–307. – DOI: 10.1017/S0373463314000708.
 25. Intelligent ship steering system / A. Lebkowski, R. Smierzchalski, W. Gierusz, K. Dziedzicki // International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2008. – Vol. 2, Is. 1. – P. 63–68.
 26. MarineTraffic. Web. 1 Apr 2020. URL: <http://www.marinetraffic.com>

27. Silveira P., Teixeira A.P., Guedes Soares C. Use of AIS data to characterise marine traffic patterns and ship collision risk off the coast of Portugal // *Journal of Navigation*. – 2013. – Vol. 66, Is. 6. – P. 879–898. – DOI: 10.1017/S0373463313000519.
28. Szlapczyński R., Ghaemi H. Framework of an evolutionary multi-objective optimisation method for planning a safe trajectory for a marine autonomous surface ship // *Polish Maritime Research*. – 2019. – Vol. 26, Is. 4. – P. 69–79. – DOI: 10.2478/pomr-2019-0068
29. Szlapczynski R., Szlapczynska J. A target information display for visualising collision avoidance manoeuvres in various visibility conditions // *Journal of Navigation*. – 2015. – Vol. 68, Is. 06. – P. 1041–1055. – DOI: 10.1017/S0373463315000296.
30. Tam Ch. K., Bucknall R., Greig A. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters // *Journal of Navigation*. – 2009. – Vol. 62, Is. 3. – P. 455–476. DOI: 10.1017/S0373463308005134.
31. Yager R., Filev D. *Essentials of fuzzy modeling and control*. – New York: John Wiley & Sons, 1994. – 408 p.
32. Zhao L., Shi G. Maritime Anomaly Detection using Density-based Clustering and Recurrent Neural Network // *Journal of Navigation*. – 2019. – Vol. 72, Is. 4. – P. 894–916. DOI: 10.1017/S0373463319000031.
33. Maritime anomaly detection within coastal waters based on vessel trajectory clustering and naïve Bayes classifier / R. Zhen, Y. Jin, Q. Hu, Zh. Shao, N. Nikitakos // *Journal of Navigation*. – 2017. – Vol. 70, Is. 3 – P. 648–670. DOI: 10.1017/S0373463316000850.

Транслитерация

1. Astrein V. V., Boran-Keshish'yan A. L. Bazovaya model' raspredelennoj sistemy preduprezhdeniya stolknovenij sudov // *Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F. F. Ushakova*. – 2016. – № 1 (14). – S. 19–23.
2. Burmaka I. A., Pasechnyuk S. S., Kulakov M. A. Ispol'zovanie oblastej opasnyh kursov i opasnyh skorostej dlya vybora manevra raskhozhdeniya // *Ekspluataciya morskogo transporta*. – 2017. – № 2 (83). – S. 76–81.
3. Vas'kov A. S., Garashchenko M. A. Sposoby predstavleniya zony navigacionnoj bezopasnosti sudna // *Ekspluataciya morskogo transporta*. – 2017. – № 3 (84). – S. 38–44.
4. Vas'kov A. S., Grishchenko A. A. Soprovozhdenie parametrov traektorii dvizheniya sudna // *Morskije intellektual'nye tekhnologii*. – 2019. – T. 3, № 4 (46). – S. 77–82.
5. Vishneveckij S. A. Ispol'zovanie metoda polej potencialov dlya lokal'nogo planirovshchika marshruta sudna // *Ekspluataciya morskogo transporta*. – 2016. – № 3 (80). – S. 37–43.
6. Golovchenko B. S., Grinyak V. M. Informacionnaya sistema sbora dannyh o dvizhenii sudov na morskoj akvatorii // *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. – 2014. – № 2 (24). – S. 156–162.
7. Grinyak V. M., Devyatisil'nyj A. S., Lyul'ko V. I. Ocenka opasnosti trafika morskoy akvatorii po dannym Avtomaticheskoy identifikacionnoj sistemy // *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*. – 2017. – № 4. – S. 681–690. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-4-681-690.
8. Grinyak V. M., Devyatisil'nyj A. S., SHulenina A. V. Ocenka emocional'noj nagruzki na sudovoditelej v usloviyah kollektivnogo dvizheniya // *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova*. – 2019. – T. 11, № 4. – S. 640–651. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-640-651.
9. Grinyak V. M., Ivanenko YU. S., SHulenina A. V. Kompleksnaya ocenka opasnosti trafika morskoy akvatorii // *Territoriya novyh vozmozhnostej. Vestnik Vladivostokskogo gosudarstvennogo universiteta*. – 2019. – № 1. – S. 10–15.

- darstvennogo universiteta ekonomiki i servisa. – 2020. – Т. 12, № 1. – С. 90–104. DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2020-1/090-104
10. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM 2018618729 Rossijskaya Federaciya. Programma sbora traektornyh dannyh o dvizhenii sudov iz otkrytyh internet istochnikov / V. M. Grinyak, A.V. Shurygin; zayavitel' i patentoobladatel' VGUES; opubl. 19.07.2018.
 11. Dorozhko V. M., Lebedeva A. N. Ekspertnye predstavleniya ob osnovnyh situacionnyh modelyakh kollektivnogo dvizheniya sudov // Problemy upravleniya. – 2006. – №4. – С. 43–49.
 12. Sistema intellektual'noj podderzhki sudovoditelya pri raskhozhdenii sudov / S. P. Dmitriev, N.V. Kolesov, A.V. Osipov, G.N. Romanycheva // Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya. – 2003. – №2. – С. 98–105.
 13. Principy formirovaniya protivovarijnyh algoritmov amfibijnyh sudov na vozduшной podushke / V. Yu. Kaminskij, D. A. Skorohodov, S. N. Turusov, A. V. Fyodorov // Morskie intellektual'nye tekhnologii. – 2019. – Т. 2, № 4 (46). – С. 39–45.
 14. Karetnikov V. V., Kozik S. V., Bucanec A. A. K voprosu ocenki riskov ispol'zovaniya bezekipaznyh sredstv vodnogo transporta na uchastke akvatorii // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova. – 2019. – Т. 11, № 6. – С. 987–1002. – DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-987-1002.
 15. Lentaryov A. A. Morskie rajony sistem obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya: uchebnoe posobie. – Vladivostok: Morskoj gosudarstvennyj universitet, 2004. – 114 s.
 16. Lentaryov A. A. Osnovy teorii upravleniya dvizheniem sudov. – Vladivostok: Morskoj gosudarstvennyj universitet, 2018. – 181 s.
 17. Obshchie polozheniya ob ustanovlenii putej dvizheniya sudov, № 9036. – Izdanie GUNiO MO SSSR, 1987. – 32 s.
 18. Taratynov V.V. Celesoobraznost' razdeleniya morskikh putej // Morskoj flot. – 1969. – № 9. – С. 19–20.
 19. Taratynov V. P. Sudovozhdenie v stesnennyh rajonah. – Moskva: Transport, 1980. – 128 s.
 20. Titov A. V., Barakat L., Haizaran A. Sostoyanie i perspektivy realizacii tekhnologii e-navigacii // Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova. – 2019. – Т. 11, № 4. – С. 621–630. – DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-621-630.

© В.М. Гриняк, 2020

Для цитирования: 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.

For citation: Grinyak V.M. Marine traffic control based on route clustering, *The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University of Economics and Service*, 2020, Vol. 12, № 2, pp. 135–147.

DOI dx.doi.org/10.24866/VVSU/2073-3984/2020-2/135-147

Дата поступления: 13.04.2020.