

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ рОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«Дальневосточный федеральный университет»**

(ДВФУ)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ШКОЛА)**  **Департамент программной инженерии и искусственного интеллекта**  КИСЕЛЕВ ПАВЕЛ ВАДИМОВИЧ | | |
|  | |
| РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И РЕДАКТИРОВАНИЯ МЕТРИК ОЦЕНКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ. |
|  |

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

по дисциплине «Методы и технологии интеллектуализации программных систем» по образовательной программе подготовки бакалавров по направлению 09.03.04 «Программная инженерия» профиль «Программная инженерия»

|  |  |
| --- | --- |
| Регистрационный №\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  (подпись) (ФИО)  «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2025г. | Студент группы\_Б9122-09.03.04  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Киселев П.В.  (подпись)  Руководитель  Ст. Преподаватель ДПИиИИ  (должность, ученое звание)    \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Иваненко Ю.С.  (подпись) (ФИО)  Защищена с оценкой\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  «\_\_\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2025г. |

г. Владивосток

2025

Оглавление

[Введение 3](#_Toc212430669)

[2.1. Термины и понятия предметной области 5](#_Toc212430670)

[2.2. Анализ предметной области 8](#_Toc212430671)

[2.3. Задачи предметной области 9](#_Toc212430672)

[2.4. Анализ методов решения задач 9](#_Toc212430673)

[2.5. Построение онтологической модели 12](#_Toc212430674)

[2.5.1. Математическая модель 17](#_Toc212430675)

[2.6. Заключение 19](#_Toc212430676)

[Список литературы 20](#_Toc212430677)

Введение

Уже несколько столетий судоходство является самым эффективным способом перевозки грузов. С появлением стандартных контейнеров в середине прошлого века их значимость только увеличилась. Однако, вместе с ростом объёма грузопотоков растёт и потенциальная угроза возникновения нештатных ситуаций. Согласно исследованиям, больше всего аварий происходит в портах и прибережьях, а также в ограниченных водах и тесных водоёмах [1]. В последние годы наблюдается постоянный рост интенсивности трафика судов в акваториях морских портов и на подходах к ним. Так, в акваториях близ крупных портов Азии может одновременно находится до 3,5 тыс. судов, движение которых имеет характер разнонаправленных интенсивных судопотоков [4].

Для обеспечения безопасности движения судов используют специализированные технические средства — системы управления движением судов (СУДС) [2], которые начиная с 2000-х гг. используют Автоматическую идентификационную систему (АИС) [1,3]. Существующие подходы зачастую оказываются ограниченными в функциональности или требуют значительных временных затрат на их настройку и использование. Эта проблема обуславливает необходимость разработки специализированного программного обеспечения, способного решить задачу управления и анализа данных о движении судов.

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью создания программных решений, позволяющих автоматизировать процессы сбора, анализа и редактирования данных о морском трафике. Такие решения становятся основой для разработки стратегий оптимизации движения судов, предотвращения аварийных ситуаций и повышения пропускной способности портовой инфраструктуры.

Целью работы является разработка программного инструментария, обеспечивающего введение, обработку и редактирование метрик оценки интенсивности движения морских судов.

В рамках этой главы рассматриваются информационные объекты и задачи профессиональной деятельности, разрабатывается система терминов и формализуются параметры, характеризующие морской трафик и его особенности. Особое внимание уделяется ограничениям, зависимостям и правилам, необходимым для корректного анализа и моделирования реальных навигационных данных.

Задачи:

1. Выделить термины и понятия предметной области, определить задачи
2. Построить онтологическую и математичкую модель

**2.1. Термины и понятия предметной области**

**Системы управления движением судов (СУДС)** – современные автоматизированные системы, необходимые для повышения безопасности мореплавания, безопасности жизни на море и защиты окружающей среды от возможных негативных последствий судоходства, а также повышения эффективности навигации и грузоперевозок [7].

**Автоматическая идентификационная система (АИС)** – это автоматическая система идентификации и отслеживания морских судов, использующая радиосвязь (VHF) и навигационные данные на борту судов. Система передаёт сведения о судне: идентификатор, название, курс, скорость, положение и др., и позволяет другим судам и береговым станциям узнать о его нахождении и состоянии [8].

**Судно** – морское транспортное средство, движущееся по водной акватории. Суда делятся на гражданские и военные (корабли). Гражданские суда подразделяются на транспортные, промысловые, технические, вспомогательные и специальные; отдельную группу составляют прогулочные и спортивные суда. К транспортным судам относятся несамоходные – [баржи](https://bigenc.ru/c/barzha-f2dc5c) и самоходные – пассажирские, грузопассажирские, [буксирные суда](https://bigenc.ru/c/buksirnoe-sudno-bb80ed), толкачи, а также грузовые – наливные ([танкеры](https://bigenc.ru/c/tanker-283c81)) и [сухогрузные](https://bigenc.ru/c/sukhogruznoe-sudno-f3d151) суда; к техническим – [землесосные](https://bigenc.ru/c/zemlesosnyi-snariad-1e8eb0) и [землечерпательные](https://bigenc.ru/c/zemlecherpatel-nyi-snariad-25b00e) снаряды, грунтоотвозные шаланды, суда, обслуживающие обстановку пути, и др. Группа вспомогательных судов включает портовые буксиры, [спасатели](https://bigenc.ru/c/spasatel-noe-sudno-83cfcd), [ледоколы](https://bigenc.ru/c/ledokol-c11ee0), [плавучие доки](https://bigenc.ru/c/dok-6e2e14), [плавучие краны](https://bigenc.ru/c/plavuchii-kran-373605), дебаркадеры и другие [10].

**Траектория движения судна** – математическое описание перемещения судна по координатам во времени; используется для моделирования взаимного движения и поиска точек CPA [9].

**Опасное сближение** – ситуация, при которой расстояние между судами становится меньше допустимого. Частота наступления таких ситуаций используется как метрика безопасности движения [9].

**Коллективное движение** – ситуация, при которой на акватории присутствует более двух наблюдаемых объектов.

**Интенсивность движения морских судов** **–** один из фундаментальных показателей нагрузки акватории, определяющий уровень загруженности акватории и степень навигационной нагрузки. При анализе навигационной безопасности и планировании морского движения большое внимание уделяют не только количеству судов, но и качественным характеристикам движения — скорости, величине судов, стабильности траекторий, насыщенности потока и др. При высоких значениях интенсивности требуется чёткое регулирование маршрутов, система поддержки принятия решений и меры по безопасности судоходства [3,4].

Для отражения интенсивности движения в акватории вводится ряд метрик, характеризующих с разных сторон нагрузку трафика [3]:

* «Количество судов» — число судов, прошедших через определённый участок за единицу времени.
* «Скорость судов» — учитывает вклад движения с учётом скорости: суда, движущиеся быстрее, весомее в метрике.
* «Размер судов» — сумма длин судов, которые прошли через участок, с учётом крупных судов как более существенных.

**Спутниковая система GPS** – среднеорбитальная спутниковая система второго поколения, предназначенная для глобальной оперативной навигации. Обеспечивает точность 3–5 м [1].

**Спутниковая система ГЛОНАСС** – российский аналог GPS, система глобальной навигации, использующая 24 спутника на круговых орбитах для определения координат и скорости объекта [1].

**Локальные навигационные системы** – системы точного позиционирования или микроволновые радиомаячные портовые системы, применяемые в портах [7].

**Радиолокационная станция (РЛС) –** это специальное устройство, позволяющее генерировать и принимать радиолокационный эхо-сигнал [7].

**Акватория** – участок водной поверхности [7].

**Фарватер** – участок водной поверхности, где разрешено движение наблюдаемых объектов в том или ином направлении [7].

**Судоводитель** – лицо, осуществляющее непосредственное управление судном (капитан) [7].

**Наблюдаемый объект** – это транспортное средство (судно), попавшее в зону действия СУДС [7].

**2.2. Анализ предметной области**

Предметная область: интенсивность движения морских судов, что является показателем, определяющим уровень загруженности акватории. Подразделяется на несколько метрик, характеризующих движение с разных сторон: «количество судов», «скорость судов», «размер судов». Для его расчёта используются специальные инструменты и методы, такие как АИС. Он используется для построения безопасных маршрутов [3].

Работа специалистов этой предметной области связана с обработкой ретроспективных траекторных данных о навигационной обстановке от различных сенсоров. Это позволяет контролировать и планировать движения судов, а также сообщать об опасностях. Данные представляются в табличном виде и графически в сочетании с многослойными электронными картами. Далее осуществляется цифровая запись данных всей навигационной ситуации для их последующего воспроизведения. В дальнейшем эти данные используются для формирования и оптимизации схем движения маршрутов судов [7].

Термины, которыми оперирует специалист данной предметной области, представлены в разделе 2.1.

Пакет данных представляет собой файл, в котором данные об интенсивности движения судов представлены в табличном и графическом типах.

2.3. Задачи предметной области

Предметная область имеет 4 основные задачи:

* + 1. Обработка траекторных данных – получение информации о передвижении судов из АИС, радаров, спутников или портовых систем, и дальнейшее их преобразование, удаление дубликатов, фильтрация шумов, добавление дополнительной информации о типе судна, месте отбытия и прибытия.
    2. Формирование акватории – исследуемая акватория разбивается на полигональные участки (например, квадраты) для дальнейшего подсчёта в каждом из многоугольников, чтобы выявить загруженность локально, а не усреднено по всей акватории [5].
    3. Формирование метрик безопасности движения – на основе обработанных данных оценивается безопасность движения в определённой акватории. Будем рассматривать 5 метрик безопасности [5]:

Интенсивность движения – количество судов, проходящих через тот или ной участок за единицу времени.

Интенсивность плюс скорость движения – участки акватории, где скорость движения наиболее высока.

Интенсивность плюс размеры судна – участки акватории с самыми большими судами.

Стабильность параметров движения – вариативность скоростей и курсов движения на том или ином участке акватории.

Насыщенность трафика – плотность судов на акватории с точки зрения их возможности совершать манёвры.

* + 1. Визуализация обработанных данных.

2.4. Анализ методов решения задач

В рамках задачи об обработке данных собираются данные из АИС, спутниковых систем, радаров или портовых систем. Данные представляют собой параметры передвижения судов: координаты, скорость, курс, размеры судна, время. Далее данные очищаются от ошибок и дубликатов, устаревшие данных фильтруются [3].

Исследуемая акватория разбивается на полигональные участки равной площади (например, квадраты 0,5x0,5 км). Координаты судов из географических преобразуются в местные прямоугольные, после определяется, какие суда в какие прямоугольники попали [3, 5].

В дальнейшем для каждого участка разбитого интервала собираются данные всех судов, попавших в него, и вычисляются метрики безопасности, представляющие собой число [5]:

Интенсивность движения – сколько судов прошло через участок за единицу времени. Могут оцениваться как все суда, так и только суда определённых классов;

Интенсивность плюс скорость движения – вычисляется подобно предыдущей метрике, но каждому судну придаётся «вес» в зависимости от величины его скорости. Таким образом более скоростные суда будут вносить больший вклад в метрику;

Интенсивность плюс размеры судна – вычисляется аналогично предыдущей метрике, но только «вес» судна зависит от его длины;

Стабильность параметров движения – высчитывает вариативность курсов и скоростей на участке акватории. Может высчитываться разными способами:

Оценка среднего квадратичного отклонения вектора скоростей. Может оцениваться как векторная величина, так и набор скалярных величин. Высокое относительное значение величины говорит о «хаотичном» характере движения судов.

Выявление кластеров – множество характерных значений скоростей и курсов судов.

Насыщенность трафика – метрика, вычисляющая возможность каждого отдельного судна совершать манёвры. Выбирается одно конкретное судно, называемое «Управляемым судном», остальные же считаются «Суднами-целями» – потенциальными опасностями. Используется уравнение движения, чтобы предсказать траектории судов в будущем, исходя из их текущих координат, скорости и курса. Для всех судов вычисляется DCPA – кратчайшее расстояние, на котором они сблизятся, если продолжат идти текущими курсами, и TCPA – время, через которое это сближение произойдёт. Сближение считается опасным, если DCPA меньше безопасной дистанции, а TCPA показывает, что суда сближаются. В дальнейшем проверяется, что будет, если «Управляемое судно» как-либо изменит курс – например, отклонится в сторону, увеличит скорость. Для каждого такого манёвра снова высчитываются значения DCPA и TCPA. После перебора тысячи таких вариантов считается «доля свободы» судна. Это же повторяется для каждого судна на участке и в итоге вычисляется средняя доля опасных манёвров.

После вычисления всех метрик, они визуализируются на карте. Чем больше загруженность участка, тем ярче он будет выделяться. Делаются выводы о наиболее загруженных участках акватории [3].

2.5. Построение онтологической модели

Для начала определим вспомогательные термины:

1. Вспомогательный термин «Секунда»: I[0, 59]

Целое положительное число от 0 до 59, соответствующее единице измерения времени «секунда».

1. Вспомогательный термин «Минута»: I[0, 59]

Целое положительное число от 0 до 59, соответствующее единице измерения времени «минута».

1. Вспомогательный термин «Час»: I[0, 23]

Целое положительное число от 0 до 23, соответствующее единице измерения времени «час».

1. Вспомогательный термин «День»: I[0, 31]

Целое положительное число от 0 до 31, соответствующее единице измерения времени «день».

1. Вспомогательный термин «Месяц»: I[0, 12]

Целое положительное число от 0 до 12, соответствующее единице измерения времени «месяц».

1. Вспомогательный термин «Год»: I[2020, 2099]

Целое положительное число, соответствующее единице измерения времени «год». В целях оптимизации его значение будет ограничено от 2020 до 2099.

1. Вспомогательный термин «Долгота»: R[0, 360)

Вещественное число от 0 до 360, соответствует реальной одноимённой единицы измерения.

1. Вспомогательный термин «Широта»: R[-90, 90)

Вещественное число от -90 до 90, соответствует реальной одноимённой единицы измерения.

**Онтологическая модель объекта «Судно»**

1. Сорт судно: {}N \ Ø

Термин «судно» является конечным непустым множеством судов.

1. Вспомогательный термин тип ≡ {гражданский, военный}

Термин «тип» описывает к какому типу принадлежит судно.

1. Вспомогательный термин специализация ≡ {транспортные, промысловые, технические, вспомогательные, другие}

Термин «специализация» описывает промысел корабля, если он гражданский.

1. Вспомогательный термин длина: R(0, 500)

Термин «длина» означает длину судна от носа до кормы.

1. Вспомогательный термин скорость: R[0, 200]

Вещественное число от 0 до 200, описывающее скорость корабля.

1. Сорт тип судна: судно → {} тип

Термин «тип судна» обозначает функцию, которая сопоставляет каждому судну тип.

1. Сорт специализация судна: судно → {} специализация

Термин «специализация судна» является функцией, сопоставляющей каждому судну его специализацию.

1. Сорт максимальная скорость: судно → {} скорость

Термин «максимальная скорость» представляет собой функцию, которая сопоставляет каждому судну значение скорости

1. Сорт текущая скорость: судно x год x месяц x день x час x минута x секунда → {} скорость

Термин «текущая скорость» является функцией, которая сопоставляет декартовое произведение судна с временем (состоящим из дня, месяца, года, часа, минусы и секунды) со скорость.

1. Сорт курс судна: судно → {} маршрут

Термин «курс судна» описывает функцию, которая сопоставляет судно с маршрутами.

**Онтологическая модель «Маршрут»**

1. Сорт маршрут: {}N \ Ø

Термин «маршрут» представляет собой конечное непустое множество маршрутов.

1. Сорт начальная точка: маршрут → широта x долгота

Термин «начальная точка» описывает функцию сопоставления маршрутов с декартовым произведением широты и долготы.

1. Сорт конечная точка: маршрут → широта x долгота

Термин «конечная точка» описывает функцию сопоставления маршрутов с декартовым произведением широты и долготы.

1. Сорт время отбытия: маршрут → день x месяц x год x час x минуса x секунда

Термин «время отбытия» представляет собой описание функции, сопоставляющей маршруту время его начала.

1. Сорт время прибытия: маршрут → день x месяц x год x час x минуса x секунда

Термин «время прибытия» представляет собой описание функции, сопоставляющей маршруту время его начала.

**Онтологическая модель «Акватория»**

1. Сорт акватория: {}N \ Ø

Термин «акватория» представляет собой конечное непустое множество акваторий.

1. Сорт координаты: акватория → широта x долгота

Термин «координаты» описывает функцию сопоставления судна с декартовым произведением широты и долготы. Это начальная точка координат.

1. Сорт ширина: акватория → R(0, 10 000]

Термин «ширина» означает функцию сопоставления акватории с шириной, которая в качестве значения принимает вещественные числа от нуля (невключительно) до 10 000.

1. Сорт высота: акватория → R(0, 10 000)

Термин «высота» означает функцию сопоставления акватории с высотой, которая в качестве значения принимает вещественные числа от нуля (невключительно) до 10 000.

**Онтологическая модель «Участок»**

1. Сорт участок: {}N \ Ø

Термин «участок» означает конечное непустое множество участков.

1. Сорт состав маршрутов: маршрут → {} участок

Термин «состав маршрутов» означает функцию сопоставления маршрута с конечным непустым множеством участков.

1. Сорт ширина: {} участок → R(0, 10 000]

Термин «ширина» означает функцию сопоставления участка с шириной, представляемой как вещественное число с диапазоном значений от нуля (невключительно) до 10 000.

1. Сорт высота: {} участок → R(0, 10 000)

Термин «высота» означает функцию сопоставления участка с шириной, представляемой как вещественное число с диапазоном значений от нуля (невключительно) до 10 000.

1. Сорт затронутые судна: участок → {} судна

Термин «затронутые судна» представляет собой функцию сопоставления участка с судами, оказавшиеся в нём.

**Ограничения**

Судно:

– Специализация присваивается судну только в том случае, если оно гражданское;

– Текущая скорость судна должна быть больше или равна максимальной скорости;

Маршрут:

– Начальная точка и конечная не должны совпадать;

– Время прибытия должно быть больше времени отбытия;

Участок:

– Для простоты вычислений участки будут прямоугольными;

– Ширина и высота одинаковы для всех участков, соответствующих одному определённому маршруту;

2.5.1. Математическая модель

Данные о движении судов представляются как множество кортежей вида:

{𝑆𝐼𝐷, 𝐿𝐴𝑇, 𝐿𝑂𝑁, SPEED, COURSE, 𝑇𝐼𝑀𝐸, 𝐴𝐺𝐸}, (1)

Где SID — идентификатор судна; LAT — географическая широта; LON — географическая долгота; SPEED — скорость движения; COURSE — курс; TIME — время поступления данных; AGE — возраст данных, определяющий фактический момент времени, которому они соответствуют. Кроме того, доступна дополнительная информация о каждом судне: тип, флаг, порт назначения и др. [3]

Вычисление интенсивности движения происходит на определённой локальной акватории. При этом акватория разбивается на полигональные участки (например, квадраты) и в дальнейшем вычисляется, сколько точек, соответствующих различным судам из множества кортежей (1) оказалось внутри того или иного многоугольника. Чтобы вычислять движение судна на акватории, нужно перейти от глобальных к прямоугольным координатам по следующей формуле (2):

R — средний радиус земли; и — широта и долгота точки, принимаемой за начало местной прямоугольной системы координат [5].

Метрика «насыщенность трафика» вычисляется для двух судов, условно называемых «управляемое» и «судно-цель». Представлены следующие уравнения движения судов (3):

x1(t), y1(t), x2(t), y2(t) – координаты первого и второго судна соответственно в момент времени t; SPEED1, COURSE1, SPEED2, COURSE2 – скорости и курсы первого и второго судна соответственно; , – моменты времени.

Расстояние между судами в момент времени t будет равно (4):

Решая уравнение = 0 относительно t, получа.тся tCPA –величина времени кратчайшего сближения судов и r(tCPA) – кратчайшее расстояние между судами. Если tCPA > и tCPA > – значит суда сближаются, а при r(tCPA), меньшим минимального допустимого расстояния между судами, движение считается опасным.

2.6. Заключение

Целью курсовой работы было построить онтологическую модель предметной области.

Цель достигнута. Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Были рассмотрена исследуемая предметная область.
2. Была построена онтологическая модель исследуемой предметной области.

Таким образом, выполненные задачи обеспечили теоретическую и практическую разработку для создания эффективной системы для планирования движения морских судов.

Список литературы

1. В.М. Гриняк. Как управляют движением на море [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://vvsu.ru/files/AFAD0E32-8AB0-465D-B65B-8A3AE45DB25A&ved=2ahUKEwi58uTg0pqLAxUnPxAIHUORH-gQFnoECBQQAQ&usg=AOvVaw2VphwHZc5pDRXx4legLSUu
2. Информационная система сбора данных трафика морской акватории (https://docs.yandex.ru/docs/view?url=ya-mail%3A%2F%2F188306759419429689%2F1.3&name=3\_%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%8F%D0%BA-%D0%93%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE-%D1%81%D0%B5%D1%80.2-08-2014-%D0%B2\_%D0%BD%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80.pdf&uid=1130000065038284&nosw=1)
3. Иваненко Ю.С. Метрики оценки интенсивности трафика морской акватории (<https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44819138_5612%1652.pdf>)
4. Гриняк В. М. Поддержка принятия решений при обеспечении безопасности движения судов на основе кластеризации траекторий / В. М. Гриняк, А. С. Девятисильный, Ю. С. Иваненко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. —Т. 12. — № 3. — С. 436–449. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-436-449. (<https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43959281_32285439.pdf>)
5. Гриняк В.М., Иваненко Ю.С., Шуленина А.В. Комплексная оценка опасности трафика морской акватории (<https://elibrary.ru/item.asp?id=42577682>)
6. Гринев В.М., Девятисильный А.С., Иваненко Ю.С. Поддержка принятия решений при обеспечении безопасности движения судов на основе кластеризации траекторий (<https://www.elibrary.ru/download/elibrary_43959281_99598672.pdf>)
7. Иваненко Ю.С. Разработка комплекса программ для анализа производительности обмена данными между процессами современных операционных систем
8. Nauticast. Automatic Identification Systems AIS (<https://www.nauticast.com/bv/cms/about_ais>)
9. Гриняк В.М., Иваненко Ю.С. Использование данных АИС для оценки опасности коллективного движения на морской акватории (<https://elibrary.ru/download/elibrary_30485254_63444039.pdf>)
10. Судно, Большая Российская Энциклопедия (https://bigenc.ru/c/sudno-4cb2f1)