На правах рукописи

ГРИНЯК Виктор Михайлович

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КОЛЛЕКТИВНОГО ДВИЖЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ

Специальность: 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Владивосток – 2016

Работа выполнена на кафедре прикладной математики, механики, управления и программного обеспечения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный федеральный университет»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Девятисильный Александр Сергеевич

Официальные оппоненты: Амосов Олег Семёнович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленная электроника», ФГБОУ ВО Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Пащенко Фёдор Фёдорович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией «Интеллектуальные системы управления и моделирования», ФГБУН Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва

Фридман Александр Яковлевич, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования промышленно-природных комплексов, ФГБУН Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра Российской академии наук, г. Апатиты.

Ведущая организация: ФГБУН Институт прикладной математики Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток

Защита состоится «17» февраля 2017 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 005.007.01 при Институте автоматики и процессов управления ДВО РАН по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИАПУ ДВО РАН и на сайте http://www.iacp.dvo.ru/diss/dis4

Автореферат разослан «____» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 005.007.01, к.т.н. .Н. Петрунько

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. Безопасность движения транспорта является важнейшим аспектом организации перевозок и планирования работы транспортных узлов. Диссертация относится к области обеспечения навигационной безопасности движения морских судов; некоторые результаты могут быть применены на речном и воздушном транспорте.

В настоящее время оперативный контроль за навигационной безопасностью движения судов в акватории морских портов осуществляется специализированными предприятиями – системами управления движением судов (СУДС). Их основной функцией является диспетчеризация движения в заданном районе.

Функционирование СУДС связано с решением целого ряда специфических задач, обеспечивающих их целевое назначение. При этом функциональным ядром СУДС являются навигационные задачи, то есть задачи, связанные с определением координат (наблюдением) обслуживаемых объектов, анализом и планированием их траекторий, интерпретацией, визуализацией информации о движении объектов и выработкой диспетчерских решений. Именно этой стороне обеспечения навигационной безопасности движения судов посвящена диссертационная работа.

Движение морских судов имеет свою особую специфику, состоящую в том, что вся ответственность за судно лежит на судоводителе (капитане). Оператор СУДС также несет ответственность за инциденты, происходящие в его зоне контроля. Поэтому управление судном не может быть полностью автоматизированным (без участия человека), а известные общие методы автоматического управления индивидуальным и коллективным движением объектов неприменимы в судоводительской практике. С другой стороны, постоянный рост трафика, размеров и скоростей судов повышает нагрузку на судоводителей и операторов СУДС, у них остается всё меньше времени для принятия решений, что является побудительным мотивом автоматизации контроля навигационной обстановки с целью повышения безопасности движения. Таким образом, главной проблемой функционирования СУДС является необходимость обеспечения участия оператора в процессе обеспечения навигационной безопасности одновременно с высокой степенью автоматизации этого процесса. Это требует разработки специальных подходов и методов, обеспечивающих работу СУДС прежде всего, как системы поддержки принятия решений.

При обеспечении навигационной безопасности движения в условиях высокой интенсивности и неоднородности трафика возникает необходимость информационной поддержки процесса принятия решений. Обслуживающие в настоящее время работу портов нашей страны и за рубежом СУДС (например, навигационное оборудование фирм Transas, Kongsberg, OKI Electronics и др.) являются исключительно развитыми инструментами в аппаратной части, в задачах визуализации, в сервисных возможностях, реализуют мощные интерфейсы комплексирования различных навигационных средств. Вместе с тем, эти системы ориентированы на традиционные подходы к контролю навигационной обстановки,

степень автоматизации их навигационных функций в контексте поддержки принятия решений недостаточна. Диссертационная работа призвана восполнить этот пробел.

Степень разработанности темы. Предметом проведённого исследования является разработка фундаментальных основ и применение математического моделирования, численных методов и комплексов программ для решения научных и технических, фундаментальных и прикладных проблем (в данном случае – проблемы обеспечения навигационной безопасности движения морских судов). В результате проведённого исследования был создан комплекс новых математических моделей и соответствующих численных методов, реализованных в виде исследовательских программ-прототипов.

Проведённые исследования относятся к следующим областям:

- Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений.
- Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента;
- Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента;
- Разработка новых математических методов и алгоритмов проверки адекватности математических моделей объектов на основе данных натурного эксперимента.

В диссертации присутствуют оригинальные результаты одновременно из трех областей: математического моделирования, численных методов и комплексов программ. Таким образом, работа соответствует специальности 05.13.18 - математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Цели и задачи работы. Целью работы является разработка и исследование математических моделей и методов решения задач обеспечения навигационной безопасности коллективного движения морских судов в условиях высокой интенсивности движения, ориентированных на реализацию в береговых системах управления движением судов.

Для достижения поставленной цели в работе ставились и решались следующие **задачи**:

1. Исследование комплекса научных проблем, математических моделей и методов, связанных с организацией и функционированием современных систем обеспечения навигационной безопасности движения судов.
2. Разработка и исследование метода идентификации модели движения объекта по данным траекторных измерений.
3. Разработка и исследование моделей задачи оценки возможности опасного сближения судов на основе многозначной логики.
4. Разработка и исследование моделей задачи трёхкоординатного наблюдения движущегося объекта двухкоординатными измерителями.

5. Разработка моделей представления навигационной информации на рабочем месте оператора СУДС и судоводителя.
6. Верификация разработанных моделей и методов:
   - Разработка информационной системы сбора данных о движении судов на морских акваториях.
   - Разработка метода имитационного моделирования траекторий движения судов на морских акваториях.
   - Программная реализация разработанных моделей и методов, постановка вычислительных и натурных экспериментов.

Научная новизна. В работе предложен и исследован новый метод идентификации модели движения объекта на основе идей нечёткой логики, характеризующийся простотой и наглядностью, возможностью гибкой интуитивной настройки, низкой вычислительной сложностью, эффективностью при движении судна в условиях интенсивного трафика.

Разработана новая математическая модель оценки возможности опасного сближения судов на основе многозначной логики: дискретного типа (чёткая) и непрерывного типа (нечёткая), позволяющая упорядочить действия оператора СУДС и судоводителя в условиях высокой интенсивности движения.

Разработан новый метод представления (визуализации) информации об опасных и безопасных параметрах движения судна на основе многозначной логики, позволяющий оператору СУДС и судоводителю принять наиболее подходящее для конкретной обстановки решение по обеспечению навигационной безопасности коллективного движения судов (изменению параметров движения судна).

Разработана и исследована новая модель задачи трёхкоординатного наблюдения движущегося объекта двухкоордитнатными измерителями; предложен метод априорной оценки разрешимости задачи в условиях конечной точности модельных представлений; разработан и исследован соответствующий метод решения задачи распознавания воздушных объектов двухкоординатными измерителями, позволяющий выделять воздушные объекты, присутствующие над акваторией.

Предложен новый метод выделения первичного РЛС сигнала наблюдаемых объектов на фоне среды, основанный на адаптивном определении порога амплитуды и позволяющий максимально информативно представлять радиолокационную информацию в условиях интенсивных динамических помех (морское волнение, метеоусловия).

Разработана новая имитационная модель траектории движения судна, учитывающая особенности исходных данных, предоставляемых спутниковыми навигационными системами (GPS/ГЛОНАСС), и позволяющая ставить эксперименты по анализу навигационной обстановки с использованием реальных данных о движении судов на конкретной акватории.

Теоретическая значимость работы определяется тем, что удалось построить совокупность методологически связанных математических моделей для системы комплексируемых технических средств обеспечения навигационной

безопасности движения судов. В частности, разработан класс моделей и методов, ориентированных на обеспечение навигационных функций СУДС с использованием современных представлений теории управления, вычислительной линейной алгебры, методов оптимизации, нейроинформатики, нечётких систем.

Практическая значимость работы. Результаты диссертации направлены на решение задач обеспечения навигационной безопасности коллективного движения морских судов. Разработанный комплекс моделей, методов и алгоритмов представляет собой адекватный инструментарий для реализации в действующих современных береговых СУДС, позволяющий операторам СУДС и судоводителям принимать наиболее подходящие диспетчерские решения и обеспечивать безопасное движение судов на акватории в условиях высокой интенсивности движения и неопределенностей.

Разработанные в работе программные комплексы, в частности, система имитационного моделирования траекторий движения судов и система сбора данных о движении судов на морских акваториях служат базой для проведения научных исследований в области обеспечения навигационной безопасности коллективного движения судов. Они позволяют испытывать методы и алгоритмы как на моделируемых типичных траекториях, так и на реальных данных о трафике конкретной акватории.

Теоретические, методологические и практические результаты исследования представляют интерес для профильных научно-исследовательских коллективов, предприятий, обеспечивающих разработку, сопровождение и эксплуатацию современных СУДС и для администраций морских портов.

Результаты работы переданы для использования в Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, г. Владивосток, где используются в учебной и научной работе в области судовождения и эксплуатации водного транспорта, при планировании перспективных направлений работы учебно-методического центра конвенционной подготовки судоводителей. Кроме того, результаты работы используются Дальневосточным федеральным университетом, г. Владивосток в научно-исследовательской работе и в учебном процессе.

Методы диссертационного исследования. Проведённые исследования основываются на применении методов статистически оптимального оценивания, методов вычислительной линейной алгебры, методов оптимизации, методов нейроинформатики и систем нечёткой логики.

Положения, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие положения:

1. Концептуальная модель систем обеспечения навигационной безопасности коллективного движения судов – береговых систем управления движением судов (СУДС).
2. Метод идентификации модели движения объекта, основанный на идеях нечёткой логики и сформулированная на его основе модель задачи сопровождения траектории движущегося судна, основанная на мультимодельном подходе.

3. Модель многоуровневой оценки возможности опасного сближения судов, основанная на разделении уровней опасности в зависимости от траекторных свойств движения сближающихся судов.
4. Модель задачи наблюдения воздушных объектов двухкоординатными измерителями, основанная как на четких, так и на нечетких представлениях и соответствующие численные методы оценки разрешимости и собственно решения задачи.
5. Метод выделения объектов на фоне среды в системах радиолокационного наблюдения, основанный на автоматизированном расчете порога амплитуды отражённого сигнала.
6. Программная реализация разработанных моделей и методов, результаты вычислительных и натурных экспериментов.

Степень достоверности результатов. Обоснованность и достоверность результатов работы обеспечивается корректным применением методов исследования и подтверждается вычислительными и натурными экспериментами, существующими закономерностями, а, также, сопоставлением с общепризнанными результатами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на международных и российских научных конференциях: Дальневосточная математическая школа-семинар имени ак. Е.В. Золотова (Владивосток, 1999, 2000, 2002); XXXII Summer School-Conference «Advanced Problems in Mechanics» (Санкт-Петербург, 2004); конференция «Интеллектуальный потенциал вузов – на развитие Дальневосточного региона России» (Владивосток, 2004, 2012); региональная научно-техническая конференция, посвящённая годовщине морского образования на Дальнем Востоке (Владивосток, 2000, 2005); региональная научно-техническая конференция творческой молодёжи Дальнего Востока (Владивосток, 2006); Sino-Russian Academic Conference (Shenyang, 2012); конференция «Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации» (Тольятти, 2012); научно-техническая конференция «Информационные системы и технологии» (Красноярск, 2012); межвузовская научно-практическая конференция студентов и аспирантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России» (Санкт-Петербург, 2013); конференция «Информационные технологии в управлении» (ИТУ) (Санкт-Петербург, 2012, 2014); конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС) (Санкт-Петербург, 2015).

По теме диссертации опубликовано 76 работ, среди которых 2 монографии, 33 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 6 переводных версий статей, проиндексированных в базах Scopus и Web of Science. Зарегистрировано 9 программных средств. Получено 6 патентов на изобретение.

Личный вклад автора. Все результаты, составляющие основное содержание диссертации, получены автором самостоятельно. В работах [17, 19, 21, 26, 38-40] автором созданы методы идентификации модели движения объекта, основанные на идеях нечёткой логики. В работах [4, 6, 13, 15, 16, 22, 23, 25, 27, 29, 30, 33, 43, 47] разработана модель многоуровневой оценки возможности опасного

сближения судов. В работах [18-20, 24, 28, 41] исследована модель задачи наблюдения воздушных объектов двухкоординатными измерителями. В работах [1-3, 5, 7-12, 14, 31, 32, 34-36, 44-46, 48] предложены программные архитектуры и программные реализации алгоритмов, построенных на основе предложенных методов.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы. Основной объём диссертации составляет 283 страницы, в том числе список литературы из 241 наименований, 105 рисунков, 23 таблицы. Диссертацию дополняют 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, положения, выносимые на защиту.

В первой главе даётся обзор комплекса научных проблем, связанных с обеспечением навигационной безопасности движения судов и функционированием соответствующих технических средств.

В настоящее время основным инструментом обеспечения навигационной безопасности движения в акваториях, прилегающих к морским портам, являются береговые системы управления движением судов (СУДС). Эти системы представляют собой совокупность средств обнаружения, измерения, передачи и обработки данных, а также анализа, интерпретации, визуализации информации и выработки управляющих решений. С точки зрения характера и уровня решаемых задач можно выделить 5 поколений СУДС.

СУДС 1 поколения характеризуются использованием типовых РЛС и отображением на рабочем месте оператора только первичной радиолокационной информации.

СУДС 2 поколения реализуют вторичную обработку радиолокационной информации с использованием простейших математических моделей, что даёт возможность обеспечить сопровождение траектории и отображение меток наблюдаемых объектов.

СУДС 3 поколения характеризует более высокий уровень реализуемых математических моделей, что даёт им возможность распознавать опасно сближающиеся суда. В настоящее время подавляющее большинство СУДС, работающих в портах Земного шара являются системами 3 поколения.

В условиях высокой интенсивности движения увеличивается психологическая нагрузка на операторов СУДС что существенно повышает вероятность принятия ошибочных диспетчерских решений. Это является побудительным мотивом дальнейшей автоматизации работы СУДС и разработки специфических математических моделей предупреждения опасного сближения судов. Такие СУДС можно отнести к 4 поколению; в настоящее время они существуют в виде исследовательских прототипов.

С дальнейшим ростом трафика морских акваторий становится актуальной задача планирования траекторий безопасного коллективного движения, как с точки

зрения движения отдельных судов, так и с точки зрения схемы движения на акватории в целом. СУДС, реализующие математические модели такого рода можно отнести к перспективному 5 поколению.

Защищаемая работа посвящена разработке математических моделей, ориентированных на СУДС 3, 4 и 5 поколений.

Можно выделить три категории методов обеспечения навигационной безопасности движения судов: методы заблаговременного обнаружения возможности опасного сближения судов (оценки риска опасного сближения); методы маневрирования для ухода судна от опасного сближения (предупреждения опасного сближения); методы планирования траектории безопасного движения судна. В главе дается обзор существующих методов, делается вывод о том, что разработка новых моделей и методов решения задач обеспечения навигационной безопасности коллективного движения судов является актуальной задачей.

Вторая глава посвящена задаче идентификации модели движения объекта с помощью систем нечеткой логики. Исследуется применение разработанного метода для сопровождения траектории движущегося объекта.

Рассмотрим следующую модель движения объекта

$$\begin{aligned} x(t_{k+1}) &= x(t_k) + v_x(t_k)\tau + q_x(t_k), \\ y(t_{k+1}) &= y(t_k) + v_y(t_k)\tau + q_y(t_k) \end{aligned} \tag{1}$$

здесь k - идентификатор (порядковый номер) момента времени, $x(t_k), y(t_k)$ - координаты объекта в момент времени t_k; $v_x(t_k), v_y(t_k)$ - компоненты вектора скорости объекта, $q_x(t_k), q_y(t_k)$ - компоненты вектора случайных не моделируемых параметров движения, τ- период оценивания, так что $\tau = t_{k+1} - t_k$. В данном случае τ равен периоду вращения антенны РЛС.

Пусть измеряемыми параметрами являются декартовы координаты объекта. Тогда модель рассматриваемой задачи можно представить следующим дискретным матричным уравнением «состояние-измерение»

$$\begin{aligned} s(t_{k+1}) &= \Phi s(t_k) + q(t_k), \\ z(t_k) &= Hs(t_k) + \xi(t_k). \end{aligned} \tag{2}$$

Здесь $s(t_k) = (x(t_k), v_x(t_k), y(t_k), v_y(t_k))^{\mathrm{T}}$ - вектор состояния объекта, включающий его координаты и их производные (Т – символ транспонирования), $q(t_k)$ - вектор не моделируемых параметров, $z(t_k)$ - вектор измерений, $\xi(t_k)$ - вектор погрешностей измерений. Имея в виду (1), матричные коэффициенты Φ и H равны, соответственно

$$\Phi = \begin{Vmatrix} 1 & \tau & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \tau \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Vmatrix}, \; H = \begin{Vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{Vmatrix}.$$

Модель оценивания вектора состояния $s(t_k)$ по измерениям $z(t_k)$ может быть представлена следующим уравнением

$$\hat{s}(t_{k+1}) = \Phi\hat{s}(t_k) + K(z(t_k) - H\Phi\hat{s}(t_k)), \tag{3}$$

Здесь $\hat{s}(t_k)$ - оценка вектора состояния, K - матричный коэффициент.

Известно множество подходов к выбору матрицы K. В защищаемой работе выбор сделан в пользу $\alpha-\beta$ алгоритма, основное достоинство которого – простота реализации и низкая вычислительная сложность. В этом алгоритме для рассматриваемой задачи матрица K имеет вид:

$$K = \begin{Vmatrix} \alpha & 0 \\ \beta/\tau & 0 \\ 0 & \alpha \\ 0 & \beta/\tau \end{Vmatrix}. \tag{4}$$

При этом коэффициенты выбираются по следующему правилу:

$$\alpha_k = \frac{2(2k+1)}{(k+2)(k+1)},\ \beta_k = \frac{6}{(k+2)(k+1)},$$

где k- порядковый номер момента времени в формуле (3).

Пусть J - число измерений (и, соответственно, итераций), участвующих в оценке вектора состояния $s(t_k)$ итерационной процедурой (3), (4), так что $k = \overline{1, J}$. При увеличении J коэффициенты α и β асимптотически уменьшаются, так что $\alpha \to 0$, $\beta \to 0$, поэтому $\alpha-\beta$ алгоритм, реализованный с большим J будет успешно сопровождать объекты, движущиеся прямолинейно и равномерно, а для маневрирующих объектов погрешность оценки вектора состояния будет довольно высокой. Для преодоления этой проблемы в работе разработан метод, основанный на реализации нескольких $\alpha-\beta$ алгоритмов с различным числом измерений, участвующих в оценке. Выбор наиболее подходящего из них осуществляется с использованием идей систем нечеткой логики. Таким образом, идентифицируется наиболее достоверная модель движения объекта.

Пусть $\hat{s}_J(t_i)$ – оценка вектора состояния системы в момент времени t_i, полученная итерационным алгоритмом (3) при обработке J последних измерений. Если при этом задача одновременно решается при J, $J-1$, $J-2$, …, и, наконец, только при двух измерениях (минимально возможном их количестве), то тогда в момент времени t_i будем иметь кортеж векторов оценки

$$\hat{S}_J(t_i) = \{\hat{s}_2(t_i),\ \hat{s}_3(t_i),\ \hat{s}_4(t_i), \ldots,\ \hat{s}_J(t_i)\}. \tag{5}$$

Задача сопровождения траектории сводится, таким образом, к проблеме выбора вектора состояния из кортежа, порождаемого множеством моделей с различными значениями J.

Основным информативным признаком, характеризующим качество сопровождения, является величина невязки измерения, порождаемой той или иной моделью сопровождения.

Введем вектор $\delta z(t_{k+1}) = z(t_{k+1}) - H\hat{s}(t_{k+1})$, характеризующий невязку измерения при оценке вектора состояния уравнением (3), (4). Пусть $\|\delta z_J(t_i)\|$ – евклидова норма вектора невязки $\delta z(t_i)$, полученного в момент времени t_i при реализации итерационного алгоритма (3), (4), обрабатывающего J последних измерений. Тогда при оценке вектора состояния в каждый момент времени t_i наряду с кортежем векторов оценки (5) будем иметь кортеж норм векторов невязок

$$\delta_J(t_i) = \{\|\delta z_2(t_i)\|, \|\delta z_3(t_i)\|, \|\delta z_4(t_i)\|, \ldots, \|\delta z_J(t_i)\|\}. \qquad (6)$$

Для анализа качества сопровождения целесообразно перейти от (6) к кортежу относительных величин

$$\Delta_J(t_i) = \{L_2(t_i), L_3(t_i), L_4(t_i), \ldots, L_J(t_i)\}, \qquad (7)$$

где $L_j(t_i) = \dfrac{\|\delta z_j(t_i)\|}{\sigma}$, σ – норма вектора среднеквадратичного отклонения погрешности измерений $r(t_k)$ в системе (2).

В силу особенностей $\alpha - \beta$ алгоритма, если объект движется прямолинейно и равномерно, то качество сопровождения будет тем лучше, чем больше измерений участвует в оценке (т.е. чем больше значение J). При практическом решении задачи достаточно взять J не более 10. Если же объект маневрирует, то погрешность оценки вектора состояния (а, значит, и значение величины $L_j(t_i)$) будет минимальной при некотором «оптимальном» значении J, зависящем от погрешностей измерений $\xi(t_k)$, интервала времени τ и интенсивности маневрирования (то есть приведённых значений q_k), а при увеличении J будет недопустимо возрастать. При практическом решении задачи, имея в виду саму специфику и целевое назначение процедуры сопровождения траектории в СУДС, говорить о поиске оптимального J в смысле обеспечения минимума погрешности оценки вектора состояния нецелесообразно. Достаточно найти значения J, обеспечивающие *приемлемую* ошибку оценки вектора состояния (приемлемые J) с точки зрения устойчивости процесса по отношению к срыву сопровождения. При этом будет иметь место следующее положение: если значение J - приемлемо (то есть сопровождение по J последним измерениям – устойчиво), то и значение $J-1$ - приемлемо. Если значение J - неприемлемо (не обеспечивает устойчивого сопровождения), то и значение $J+1$ - неприемлемо.

Рассмотренные свойства $\alpha - \beta$ алгоритма лежат в основе выбора подходящего значения вектора состояния из кортежа (5).

Введем лингвистическую переменную $Q_j(t_i)$, $j = \overline{2, J}$ «Качество оценки вектора состояния алгоритмом (3), (4) в момент времени t_i по j последним измерениям» с термами «good» («хорошее») и «bad» («плохое»). Пусть термы имеют следующие функции принадлежности типа «дополнение», определённые на универсальном множестве $u \in [0,3]$:

$$\mu_{good}(\mathrm{u}) = 1 - \frac{1}{1+\exp(-\mathrm{a}_1(\mathrm{u}-\mathrm{c}_1))},$$
$$\mu_{bad}(\mathrm{u}) = \frac{1}{1+\exp(-\mathrm{a}_2(\mathrm{u}-\mathrm{c}_2))}, \quad (8)$$

где a_1, a_2, c_1, c_2 - настраиваемые параметры.

Известно два основных подхода к построению нечеткой системы логического вывода. Первый – машина типа Сугено – характеризуется системой правил с нечетким условием и четким выводом. У второго – машины типа Мамдани – и условие, и вывод нечеткие. Для выбора вектора состояния из кортежа (5) возможно применение нечетких систем обеих типов, здесь для краткости ограничимся описанием только первой из них.

Пусть переменные $Q_j(t_i)$ обрабатываются машиной нечеткого вывода типа Сугено, на вход которой подается кортеж величин (7), а на выходе формируется числовое значение $m_{sug}(t_i)$ – номер вектора состояния, выбираемого из кортежа (5). Машина нечеткого вывода работает согласно системе правил, представленной в таблице 1.

Таблица 1 - Система правил машины нечеткого вывода типа Сугено

№	$Q_2(t_i)$	$Q_3(t_i)$	$Q_4(t_i)$	…	$Q_{J-2}(t_i)$	$Q_{J-1}(t_i)$	$Q_J(t_i)$	$m_{sug}(t_i)$
1	good	good	good	…	good	good	good	J
2	good	good	good	…	good	good	bad	$J-1$
3	good	good	good	…	good	bad	bad	$J-2$
…	…	…	…	…	…	…	…	…
$J-2$	good	good	bad	…	bad	bad	bad	3
$J-1$	good	bad	bad	…	bad	bad	bad	2
J	bad	bad	bad	…	bad	bad	bad	2

Настройка описанной системы состоит в задании максимального количества измерений J, параметров функций принадлежности a_1, a_2, c_1, c_2 и величины σ, характеризующей погрешность измерений. В представленной работе параметры функций принадлежности выбирались экспертным способом. Пусть $a_1 = a_2 = 5, c_1 = c_2 = 1.5$ (рисунок 1).

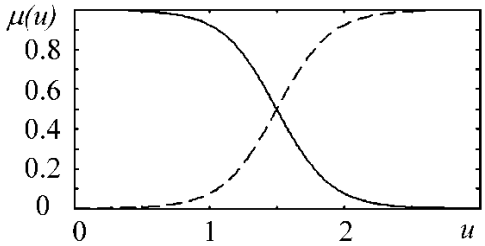

Рисунок 1 - Функции принадлежности термов «good» (сплошная линия) и «bad» (пунктир)

На рисунке 2 показана моделируемая траектория движения судна. Вначале судно движется прямолинейно и равномерно, а затем совершает манёвр – поворот с радиусом 300м (такие кинематические свойства вполне характерны для современных маломерных судов).

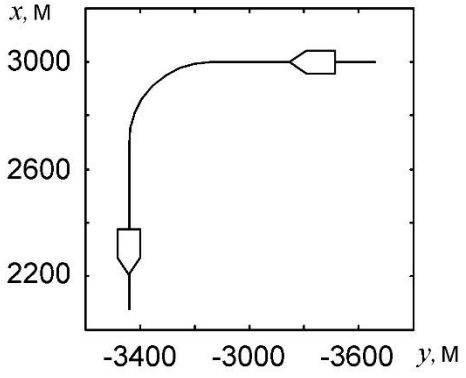

Рисунок 2 - Траектория движения судна

На рисунке 3 показан результат решения задачи сопровождения для судна, движущегося по изображенной траектории со скоростью 10 м/с (левая колонка рисунков) и 20 м/с (правая колонка рисунков).

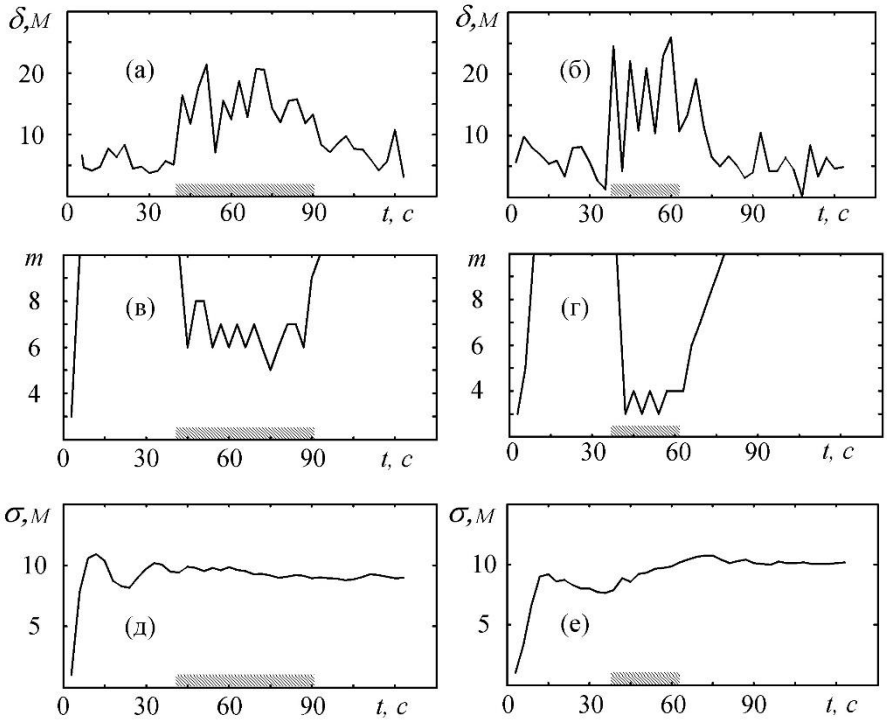

Рисунок 3 - Работа алгоритма сопровождения; штрихами по оси абсцисс показан участок маневрирования судна

Здесь t - время, прошедшее от начала сопровождения траектории, δ - длина вектора погрешности оценивания положения судна по мере его движения (рисунки 3а и 3б). В данном случае величина δ дает представление о ширине строба, необходимого

для устойчивого сопровождения объекта. Так, при скорости судна 10 м/с погрешность оценки положения судна на прямолинейном участке траектории (интервал времени [0, 45] секунд и [90, 120] секунд) составляет 10-12 метров, а на участке маневра (интервал времени [45, 90] секунд, заштрихованная область оси абсцисс) – не более 22м. При скорости судна 20 м/с погрешность оценки положения судна на прямолинейном участке – 10-12 метров, на участке маневрирования – не более 27 метров. Такие значения лишь незначительно превышают характерные геометрические размеры маломерного судна; это означает, что строб с радиусом, например, 30 метров, дает возможность устойчиво сопровождать траекторию судна в насыщенном судопотоке даже при его интенсивном маневрировании.

Рисунки 3в и 3г показывают значение величины m (m - номер вектора в кортеже (5), по сути - количество измерений в выбранном нечёткой системой для окончательной оценки $\alpha-\beta$ фильтре) по мере движения судна. Видно, что на прямолинейной траектории алгоритм устойчиво работает при максимальном $m=10$, что соответствует минимальным значениям коэффициентов α и β, а при маневре (заштрихованный участок оси абсцисс) количество измерений, участвующих в оценке параметров движения судна уменьшается до 5-6 (скорость движения судна – 10 м/с, рисунок 3в) и 3-4 (скорость движения судна – 20 м/с, рисунок 3г). Замечательное свойство алгоритма - быстрая реакция на изменение характера движения судна (начало и окончание маневрирования) – даже при высокой скорости движения изменение величины m с максимального до минимального (и наоборот) происходит не более чем за 10 секунд (участок [65, 75] секунд на рисунок 3г). Это определяет высокую устойчивость процедуры сопровождения траектории по отношению к срыву.

Рисунки 3д и 3е дают значение оценки величины σ, используемой при работе алгоритма. Видно, что по прошествии приблизительно 1 минуты (что соответствует 20 измерениям) значение σ становится достаточно стабильным и корректно отражает среднеквадратичную погрешность измерений координат (в данном случае - около 10 метров).

В целом качество решения задачи сопровождения оказывается вполне приемлемым для практики. Помимо задачи сопровождения траектории, разработанный новый подход к обнаружению маневра с помощью аппарата нечеткой логики удобен для поддержки вербального принятия решений операторами СУДС и судоводителями (этот аспект применения метода рассматривается в 3 главе работы).

Третья глава работы посвящена задаче оценки риска опасного сближения судов. Рассмотренные модели задачи ориентированы главным образом на внешнее наблюдение береговыми системами управления движением судов.

Особенностью рассмотренных моделей задачи является расширенная трактовка понятия «опасная ситуация»: в отличие от традиционного двухуровневого подхода к оценке риска опасного сближения типа «опасный / безопасный» в работе уделяется внимание многоуровневой оценке типа «очень опасный / опасный / почти безопасный / безопасный». С учетом особенностей внешнего наблюдения движения судов в качестве критерия разделения вербальных

уровней опасности предлагается степень маневренности траектории движения судна. При этом предложены как дискретные (чёткие), так и непрерывные (нечёткие) варианты модели принятия решения о степени опасности сложившейся навигационной ситуации. Некоторые из рассмотренных нечётких моделей связаны, в свою очередь, с нечёткой моделью обнаружителя манёвра, рассмотренной в главе 2.

Практика судовождения показывает, что маневрирующие и не маневрирующие суда с точки зрения безопасности коллективного движения имеют принципиальные различия. Во-первых, при внешнем наблюдении полностью достоверный прогноз траектории маневрирующего объекта невозможен. Во-вторых, на практике маневрирование судна, как правило, свидетельствует о попытке судоводителя придать движению безопасный характер и о его контроле над ситуацией. Поэтому для маневрирующего объекта вербальный уровень опасности заведомо ниже, чем для не маневрирующего. Это даёт возможность учитывать тип навигационной ситуации с точки зрения маневрирования судов и выделять различные уровни опасности, что позволяет оператору СУДС действовать согласно установленного приоритета (например, в случаях, когда одновременно присутствуют несколько тревожных сигналов, принимать решения по наиболее опасным из них).

Рассмотренные в работе подходы к построению многоуровневой модели оценки риска опасного сближения позволяют выделять от 3 до 4 дискретных уровней опасности. Для представления уровня опасности ситуации непрерывной величиной оказываются продуктивными идеи систем нечёткой логики: некоторые параметры моделей интерпретируются лингвистическими переменными с соответствующим набором термов, а чёткие системы правил при принятии решений заменяются нечеткими. Фаззификация не только расширяет множество уровней опасности до континуального, но и даёт потенциальную возможность учесть при настройке параметров системы особенности движения и характерную навигационную обстановку конкретной акватории.

Всего в диссертации рассмотрено 9 моделей задачи оценки риска опасного сближения судов. Здесь для краткости подробно опишем один из разработанных подходов - модель, основанную на геометрической интерпретации относительного движения судов.

Пусть измеряемыми параметрами являются декартовы координаты объекта. Рассмотрим два судна с координатами $x^{(1)}$, $y^{(1)}$ и $x^{(2)}$, $y^{(2)}$ и скоростями $v_x^{(1)}$, $v_y^{(1)}$ и $v_x^{(2)}$, $v_y^{(2)}$. Будем описывать их коллективное движение набором величин $(r_x, r_y, v, \eta_v, w_v)^{\mathrm{T}}$ - вектором состояния коллективного движения двух судов, где $r_x = x^{(2)} - x^{(1)}$, $r_y = y^{(2)} - y^{(1)}$ - координаты вектора относительного положения судов, $v = \sqrt{(v_x^{(1)} - v_x^{(2)})^2 + (v_y^{(1)} - v_y^{(2)})^2}$ - скорость относительного движения

судов, η_v - направление вектора скорости относительного движения судов, $w_v = d\eta_v / dt$ - скорость изменения угла η_v (рисунок 4).

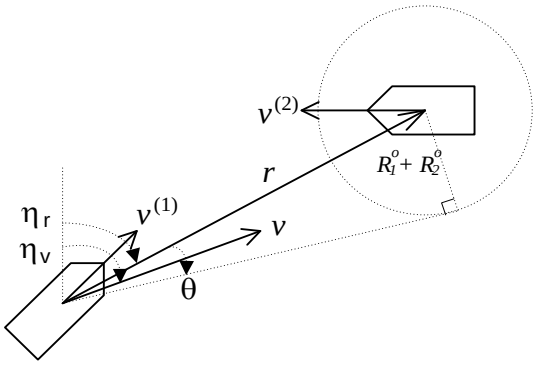

Рисунок 4 - Модель относительного движения пары «судно-судно»

Примем следующие модельные представления об эволюции вектора состояния коллективного движения:

$$\begin{gathered}\dot{r}_x(t) = -v\sin(\eta_v(t_0) + w_v(t - t_0)),\\ \dot{r}_y(t) = -v\cos(\eta_v(t_0) + w_v(t - t_0)),\\ \dot{v} = 0,\\ \dot{\eta}_v = w_v,\\ \dot{w}_v = 0.\end{gathered} \tag{9}$$

С учётом будем иметь в виду следующие уравнения измерений:

$$\begin{gathered}z_{rx}(t_k) = z_x^{(2)}(t_k) - z_x^{(1)}(t_k) = r_x(t_k) + \xi_{rx}(t_k),\\ z_{ry}(t_k) = z_y^{(2)}(t_k) - z_y^{(1)}(t_k) = r_y(t_k) + \xi_{ry}(t_k),\\ k = \overline{1, N}.\end{gathered} \tag{10}$$

Здесь $z_x^{(1)}(t_k)$, $z_y^{(1)}(t_k)$ - измерения координат первого судна, $z_x^{(2)}(t_k)$, $z_y^{(2)}(t_k)$ - измерения координат второго судна; $z_{rx}(t_k)$, $z_{ry}(t_k)$ - измерения соответствующих проекций вектора относительного положения судов, полученные в момент времени t_k; $\xi_{rx}(t_k)$, $\xi_{ry}(t_k)$ - приведённые случайные ошибки измерений; N – число измерений.

Целью решения системы уравнений (9), (10) является оценка вектора состояния коллективного движения двух судов $\hat{s}(t) = (\hat{r}_x(t), \hat{r}_y(t), \hat{v}(t), \hat{\eta}_v(t), \hat{w}_v(t))^{\mathrm{T}}$. Совокупность величин $(r_x, r_y, v, \eta_v, w_v)^{\mathrm{T}}$ свидетельствует о потенциально опасном движении двух судов в случае выполнения следующих двух неформальных условий:

- направление вектора скорости относительного движения судов близко к направлению вектора *r*;
- величина w_v близка к скорости изменения направления вектора *r*;
- время, оставшееся до сближения, меньше критического.

Определим корабельный домен в виде круга S_i° радиуса R_i°, очерченного вокруг условной точки – центра судна. Будем трактовать этот домен как зону, вторжение в которую интерпретируется как опасность (рисунок 4). Это позволяет формализовать условия потенциально опасного движения двух судов следующим образом:

$$|\eta_v - \eta_r| < \theta, \tag{11}$$

$$|w_v - w_r| < \dot{\theta}, \tag{12}$$

$$0 < T < T^* \tag{13}$$

Здесь $|r| = \sqrt{r_x^2 + r_y^2}$ - текущее расстояние между судами; $\eta_r = \arctan\left(r_x / r_y \right)$ - азимут вектора *r*; $w_r = d\eta_r / dt = \dfrac{r_x v \cos\eta_v - r_y v \sin\eta_v}{|r|^2}$ - скорость изменения азимута вектора *r*; $\theta = \arcsin((R_1 + R_2)/|r|)$ - угол, определяемый расстоянием между судами и размерами доменов, считается, что в безопасном состоянии корабельные домены не должны «вторгаться» в область друг друга; $\dot{\theta} = d\theta / dt = -\dfrac{R_1 + R_2}{|r|^2 \sqrt{1 - (R_1 + R_2)^2 / |r|^2}} \dfrac{d|r|}{dt}$ - скорость изменения угла θ; $\dfrac{d|r|}{dt} = -\dfrac{r_x v \sin\eta_v + r_y v \cos\eta_v}{|r|}$ - скорость изменения расстояния между судами; $T = -\dfrac{|r|^2}{r_x v \sin\eta_v + r_y v \cos\eta_v}$ - приближённое время, оставшееся до максимального сближения судов; T^* - пороговое значение для времени T.

Условие (11) формализует опасную ситуацию при равномерном и прямолинейном движении судов; условие (12) дополняет его в случае, если суда маневрируют; условие (13) отбирает из общего массива лишь те суда, время до сближения которых меньше порогового.

Введём следующие вербальные уровни опасности ситуации. Уровень опасности SAFE (минимальный) соответствует безопасной ситуации; уровень опасности LOW (почти безопасный) – ситуации, когда суда могут сблизиться, если прекратят маневрирование; уровень MEDIUM (средняя степень опасности) – ситуации, когда суда могут сблизиться, если продолжат маневрирование; уровень DANGEROUS (максимальный) – ситуации, когда суда сблизятся, если не начнут манёвр уклонения. Зададим систему правил соотнесения этих уровней опасности с условиями (11), (12) и (13) (таблица 2).

Таблица 2 - Система правил определения уровня опасности в модели (9), (10): основной (четырёхуровневый) случай

№ п/п	(11)	(12)	(13)	SAFE	LOW	MEDIUM	DANGEROUS
1	+	+	+				+
2	+	+	-	+			
3	+	-	+		+		
4	+	-	-	+			
5	-	+	+			+	
6	-	+	-	+			
7	-	-	+	+			
8	-	-	-	+			

Основной проблемой при практической реализации рассмотренной модели является необходимость оценки угловых скоростей, входящих в правило (12). При больших расстояниях между судами в условиях инструментальных погрешностей измерений эта оценка неустойчива, что не даёт возможности надёжно распознавать опасно сближающиеся суда заблаговременно. Одним из путей решения этой проблемы является упрощённая интерпретация правила (12) – замена его детектором маневра и переход от четырёхуровневой системы правил (таблица 2) к трёхуровневой с уровнями GREEN (минимальный), YELLOW (средний) и RED (максимальный).

Фаззификация рассматриваемой задачи состоит в следующем.

Рассмотрим условие (11). Пусть $A = \frac{|\eta_v - \eta_r|}{\theta}$ - оцененное отношение величины $|\eta_v - \eta_r|$ к значению θ. Введем лингвистическую переменную P_A «оценка отношения A» с термами «большое» и «малое» и функциями принадлежности типа «дополнение», определёнными на универсальном множестве $A \in [0,2]$:

$$\mu_{\text{малое}}(A) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_A(A - c_A))},$$

$$\mu_{\text{большое}}(A) = \frac{1}{1 + \exp(-a_A(A - c_A))}.$$

Здесь параметры a_A и c_A - настраиваемые. В случае, если движение судов происходит прямолинейно и равномерно, терм «малое» соответствует ситуации, когда возможно опасное сближение судов, а терм «большое» соответствует безопасной ситуации.

Рассмотрим условие (12). Пусть $B = \frac{|w_v - w_r|}{\dot{\theta}}$ - оцененное отношение величины $|w_v - w_r|$ к значению $\dot{\theta}$. Введем лингвистическую переменную P_B «оценка отношения B» с термами «большое» и «малое» и функциями

принадлежности типа «дополнение», определёнными на универсальном множестве $B \in [0,2]$:

$$\lambda_{\text{малое}}(B) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_B(B\text{-}c_B))},$$

$$\lambda_{\text{большое}}(B) = \frac{1}{1 + \exp(-a_B(B\text{-}c_B))}.$$

Здесь параметры a_B и c_B - настраиваемые. В данном случае величина B и термы «малое» и «большое» характеризуют интенсивность маневрирования.

Рассмотрим условие (13). Для описания величины T (приближённое время, оставшееся до максимального сближения судов) введем лингвистическую переменную P_T «оценка величины T» с термами «малое», «среднее» и «большое» и функциями принадлежности типа «кластер», определенными на универсальном множестве $T \in [0,2000]$ секунд:

$$\nu_{\text{малое}}(T) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_T^{(1)}(T - c_T^{(1)}))},$$

$$\nu_{\text{среднее}}(T) = \exp\left(-\frac{(T - c_T^{(2)})^2}{a_T^{(2)}}\right),$$

$$\nu_{\text{большое}}(T) = \frac{1}{1 + \exp(-a_T^{(3)}(T - c_T^{(3)}))}.$$

Здесь параметры $a_T^{(1)}$, $a_T^{(2)}$, $a_T^{(3)}$ и $c_T^{(1)}$, $c_T^{(2)}$, $c_T^{(3)}$ - настраиваемые. Описание лингвистической переменной P_T тремя термами соответствует трем принятым на практике состояниям времени максимального сближения. Терм «малое» определяет время, когда существует возможность принять только одно решение, которое поможет избежать столкновения. Терм «среднее» - время, которое требуется для грамотного проведения оптимального маневра, т.е. время, когда начинать маневр уже не рано, но еще есть время «исправить» результат ошибочного маневрирования, есть время на «вторую попытку»; это период, когда критическая ситуация пока ещё не возникла. Терм «большое» описывает время, когда ещё нет никакого смысла предпринимать какие-либо действия, так как ситуация может измениться и это потребует, возможно, исполнения совсем другого маневра.

Интерпретация системы правил таблицы 2 возможна машиной нечеткого вывода как типа Сугено (посылки – нечеткие, выводы – чёткие), так и типа Мамдани (посылки и выводы – нечёткие). Здесь для краткости ограничимся рассмотрением первой из них.

Введём величину $u \in [0,3]$ - уровень опасности ситуации «судно-судно». Пусть значение $u = 0$ соответствует безопасной ситуации, $u = 1$ – ситуации, когда суда могут сблизиться, если продолжат маневрирование, $u = 2$ - ситуации, когда

суда могут сблизиться, если прекратят маневрирование, $u = 3$ - ситуации, когда суда сблизятся, если не начнут манёвр уклонения. Имея в виду систему правил табл. 2, значение $u = 0$ соответствует уровню опасности SAFE, значение $u = 1$ - уровню опасности LOW, значение $u = 2$ - уровню опасности MEDIUM, значение $u = 3$ - уровню опасности DANGEROUS. Переменные P_A, P_B и P_T обрабатываются машиной нечеткого вывода типа Сугено, на вход которой подаются величины A, B и T, а на выходе формируется числовое значение $u \in [0,3]$ - уровень опасности навигационной ситуации «судно-судно». Машина нечеткого вывода работает согласно системе правил, представленной в таблице 3.

Таблица 3 - Система правил машины нечеткого вывода Сугено для оценки уровня опасности «судно-судно»

	P_A	P_B	P_T	u
1	большое	большое	большое	0
2	большое	большое	среднее	0
3	большое	большое	малое	0
4	большое	малое	большое	0
5	большое	малое	среднее	1
6	большое	малое	малое	2
7	малое	большое	большое	0
8	малое	большое	среднее	1
9	малое	большое	малое	1
10	малое	малое	большое	0
11	малое	малое	среднее	2
12	малое	малое	малое	3

Натурные исследования рассмотренных моделей проводились на реальных данных о движении судов по различным акваториям. Приведённый ниже типичный пример был получен по результатам анализа данных о движении судов в течение одних суток по акватории, прилегающей к порту Владивосток.

На рисунке 5 показано положение судов на акватории в те моменты времени, когда для них был сгенерирован тревожный сигнал уровня YELLOW (крестики) или RED (овалы).

Видно, что наибольшее количество тревог возникает во внутренних портовых водах, где суда располагаются близко друг к другу и высока интенсивность движения малых плавсредств (катеров, буксиров). Оба уровня тревоги имеют место и при движении судов вне портовых вод: Амурском (слева), Уссурийском (справа) заливах, проливе Босфор Восточный. Доля тревожных сигналов уровня YELLOW составляет около 20%, места их генерации не образуют устойчивых зон, то есть разделение уровней тревоги является универсальным, инвариантным свойством всей акватории.

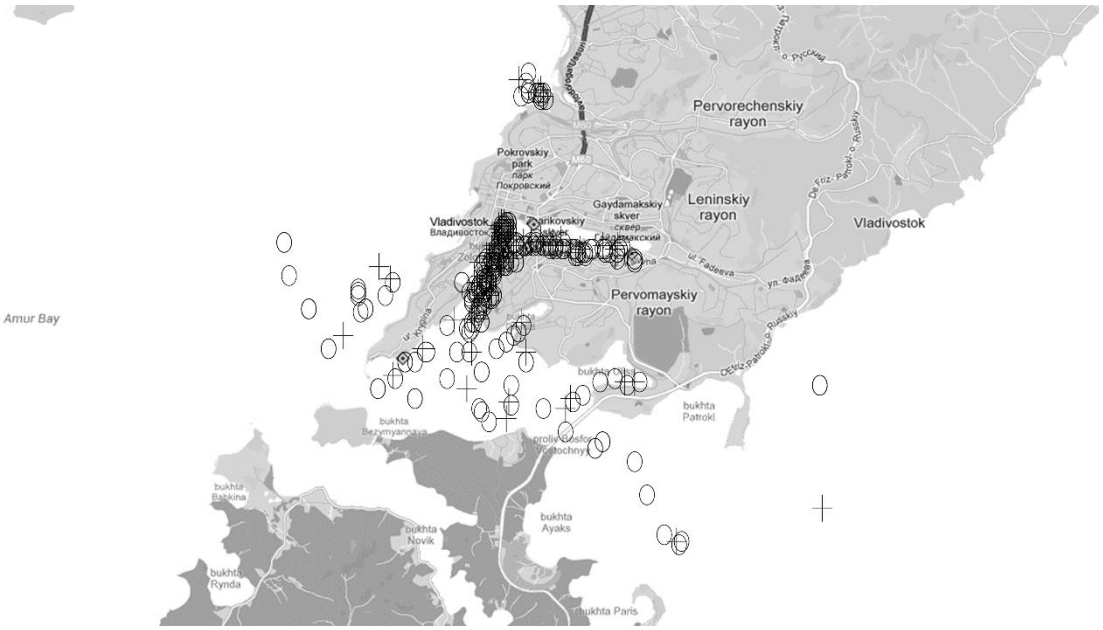

Рисунок 5 - Движение судов по акватории порта Владивосток

Для оператора (диспетчера) СУДС генерация тревожного сигнала уровня RED означает, что необходимо немедленно обратить внимание на ситуацию и принять решение о вмешательстве/невмешательстве в действия судоводителя. Генерация тревожного сигнала уровня YELLOW означает, что хотя ситуация не является полностью безопасной, вмешиваться в нее немедленно не следует: скорее всего, судоводитель сам контролирует обстановку. Другими словами, если одновременно с ситуацией уровня YELLOW для других судов имеются ситуации уровня RED, то оператор СУДС должен работать прежде всего с ними. Тот факт, что на конкретной акватории доля ситуаций уровня YELLOW достаточно значительна (20%), говорит о том, что их выделение способно существенно снизить нагрузку на операторов СУДС, свидетельствует об актуальности рассмотренной задачи для практики.

Четвёртая глава посвящена задаче наблюдения воздушных объектов двухкоординатными измерителями.

Существующие СУДС ориентированы на традиционную работу в двумерном навигационном пространстве. Вместе с тем, в условиях регулярного присутствия над оживленной акваторией маловысотных низкоскоростных воздушных объектов (вертолетов) обостряется проблема генерации ложных тревог (воздушные объекты принимаются за морские). Ошибочное заключение судоводителя или оператора СУДС о воздушной цели как о морской (когда их скорости движения сравнимы) может в корне исказить представления о навигационной обстановке и привести к ошибочным управленческим решениям.

Указанная проблема частично решается применением Автоматической идентификационной системы (АИС) на воздушном объекте: информация АИС позволяет, в том числе, однозначно идентифицировать тип цели. Вместе с тем, транспондерами АИС оснащаются далеко не все воздушные объекты,

допускающие полет над акваторией. Рассматриваемый прикладной аспект требует решения задачи селекции воздушных объектов путем расширения навигационных функций систем, образуемых на основе двухкоординатных радаров.

Пусть модель движения объекта в декартовой системе координат имеет вид:

$$x(t) = x(t_0) + \sum_{i=1}^{N_x} a_i^{(x)} (t - t_0)^i,$$

$$y(t) = y(t_0) + \sum_{i=1}^{N_y} a_i^{(y)} (t - t_0)^i, \qquad (14)$$

$$z(t) = z(t_0) + \sum_{i=1}^{N_z} a_i^{(z)} (t - t_0)^i.$$

Здесь N_x, N_y, N_z - порядок полинома, применяемого при описании эволюции координат, $a_i^{(x)}$, $a_i^{(y)}$, $a_i^{(z)}$ - полиномиальные коэффициенты, отождествляемые со скоростями объекта и приведёнными значениями старших производных.

Информационная ситуация, обеспечиваемая системой из J РЛС, описывается следующей моделью измерений:

$$z_r^{(j)}(t_k) = \sqrt{(x(t_k) - x^{(j)})^2 + (y(t_k) - y^{(j)})^2 + (z(t_k) - z^{(j)})^2} + \xi_r^{(j)}(t_k),$$

$$z_\psi^{(j)}(t_k) = arctg[(x(t_k) - x^{(j)})/(y(t_k) - y^{(j)})] + \xi_\psi^{(j)}(t_k), \qquad (15)$$

$$j = \overline{1, J}.$$

Здесь $z_r^{(j)}(t_k)$, $z_\psi^{(j)}(t_k)$ - показания дальности и азимута до объекта на j-й станции в момент времени t_k; $x(t_k)$, $y(t_k)$, $z(t_k)$ - отнесённые к этому времени координаты объекта; $x^{(j)}$, $y^{(j)}$, $z^{(j)}$ - координаты j-й станции; $\xi_r^{(j)}(t_k)$, $\xi_\psi^{(j)}(t_k)$ - случайные инструментальные погрешности измерений, причем $M[\xi_r^{(j)}(t_k)] = 0$, $M[\xi_r^{(j)}(t_k)\xi_r^{(i)}(t_k)] = D_r^{(j)}\delta_{ij}$, $M[\xi_\psi^{(j)}(t_k)] = 0$, $M[\xi_\psi^{(j)}(t_k)\xi_\psi^{(i)}(t_k)] = D_r^{(j)}\delta_{ij}$, $M[\xi_r^{(j)}(t_k)\xi_\psi^{(j)}(t_k)] = 0$, δ_{ij} - символ Кронекера.

В свете модельных представлений (14) и (15) может быть поставлена обратная задача, целью решения которой является определение вектора

$$s(t_k) = (x(t_k), a_1^{(x)}, a_2^{(x)}, ..., y(t_k), a_1^{(y)}, a_2^{(y)}, ..., z(t_k), a_1^{(z)}, a_2^{(z)}, ...)$$

по измерениям параметров $z_r^{(j)}(t_k)$, $z_\psi^{(j)}(t_k)$.

Допуская наличие опорного решения, характеризующего априорные представления о траектории объекта, будем говорить о сведении исходной задачи к задаче «в малом» с искомым вектором

$$\delta s(t_k) = (\delta x(t_k), \delta a_1^{(x)}, \delta a_2^{(x)}, ..., \delta y(t_k), \delta a_1^{(y)}, \delta a_2^{(y)}, ..., \delta z(t_k), \delta a_1^{(z)}, \delta a_2^{(z)}, ...),$$

характеризующем погрешности априорных представлений. Линеаризация приводит исходную задачу к следующему виду:

$$\delta s(t_{k+1}) = \Phi(t_k)\delta s(t_k) + q(t_k),$$
$$\delta z^{(j)}(t_k) = H(t_k)\delta s(t_k) + \xi^{(j)}(t_k), \qquad (16)$$
$$j = \overline{1, J}.$$

Здесь $q(t_k)$ - вектор не моделируемых параметров движения, $\xi^{(j)}(t_k)$ - вектор инструментальных погрешностей измерений, $\delta z^{(j)}(t_k)$ - вектор невязок измерений, $\Phi(t_k)$, $H(t_k)$ - матричные коэффициенты (матрицы частных производных).

Для исследования принципиальной разрешимости (наблюдаемости) задачи (16) сведём её к виду

$$Z = \tilde{H}\delta s(t_*) + \tilde{\xi} \qquad (17)$$

и проанализируем матрицу $\tilde{H}$ на предмет вырожденности. В общем случае, в силу линейной независимости системы функций, образующих матрицу системы $\tilde{H}$, можно говорить о полноте ранга этой матрицы, а, значит, и о возможности наблюдения полного вектора $\delta s(t_*)$. Вместе с тем, следует особо отметить и существование нескольких классов запрещённых (ненаблюдаемых) решений задачи приводящих соответствующую матрицу $\tilde{H}$ к вырождению. Особенно актуальна для практики сингулярность модели вблизи точки $z(t_k) - z^{(j)} = 0$, существенно ограничивающая эффективность модели в области малых отношений «высота/дальность». Определённые перспективы преодоления этого ограничения дает переход от прямоугольных координат к сферическим (географическим). Переход к новым переменным позволяет несколько сузить класс характерных ненаблюдаемых траекторий.

Для конструктивного решения рассматриваемой задачи (14), (15) отмечаемого у неё свойства наблюдаемости недостаточно. Одна из причин этого состоит в том, что решение задачи осуществляется в условиях измерительных погрешностей, которые существенно влияют на качество оценки искомых параметров. Другая причина ограниченной применимости классического понятия наблюдаемости – нелинейность исходной задачи и её решение в условиях конечной точности вычислений, связанной с ограниченностью разрядной сетки ЭВМ. Это указывает на необходимость проведения вычислительных экспериментов, дающих ответ на вопрос о конструктивной разрешимости задачи в типичных ситуациях и направленных на получение как априорных (теоретических), так и апостериорных (численно-имитационных) оценок разрешимости.

Априорные оценки разрешимости задачи рассматриваются сквозь призму двух понятий. Во-первых, устойчивости линейных процедур оценивания вектора состояния, непосредственно связанной с конечностью точности вычислений и, во-вторых, устойчивости сходимости нелинейного итерационного процесса оценки вектора состояния как результата его нескольких последовательных вычислений и соответствующей корректировки линеаризационных опорных решений.

В качестве априорного показателя устойчивости линейных процедур будем рассматривать число обусловленности соответствующей матрицы $\tilde{H}$, имея в виду условие

$$\mu(\tilde{H}) < \mu_*,$$

где $\mu(\tilde{H})$ - вычисленное значение числа обусловленности матрицы $\tilde{H}$, μ_* - некоторое критическое число. Например, при решении системы (17) с помощью ортогональных преобразований Хаусхолдера μ_* определяется следующим образом:

$$\mu_* = \frac{1}{(\sqrt{n}(2n-3)(4n+27)+11)\varepsilon_1},$$

где ε_1- относительная точность представления чисел в ЭВМ (например, при расширенной точности $\varepsilon_1 \approx 10^{-20}$), n – размерность вектора состояния.

В качестве критерия сходимости итерационного процесса эволюции опорного решения разработан специальный показатель, получаемый с использованием дисперсионных матриц.

Всего в работе было рассмотрено 10 вариантов модели задачи (14), (15), различающихся количеством измерителей и размерностью вектора состояния. Все они выявили характерное свойство задачи - нерегулярность оценок радиальной координаты (т.е. высоты) маловысотных удалённых объектов, что связано с плохой обусловленностью системы, исходной нелинейностью задачи и конечной точностью измерений. Эта особенность задачи продемонстрирована на рисунке 6, на котором приведена оценка высоты надводного объекта (рисунок 6а) и воздушных объектов, движущихся на высоте 100 м (рисунок 6б) и 200 м (рисунок 6в) для случая двух РЛС, измеряющих дальность с погрешностью ±5 м и азимут с погрешностью ±0.1° (при $J = 2$, $N_\varphi = 1$, $N_\lambda = 1$, $N_R = 0$).

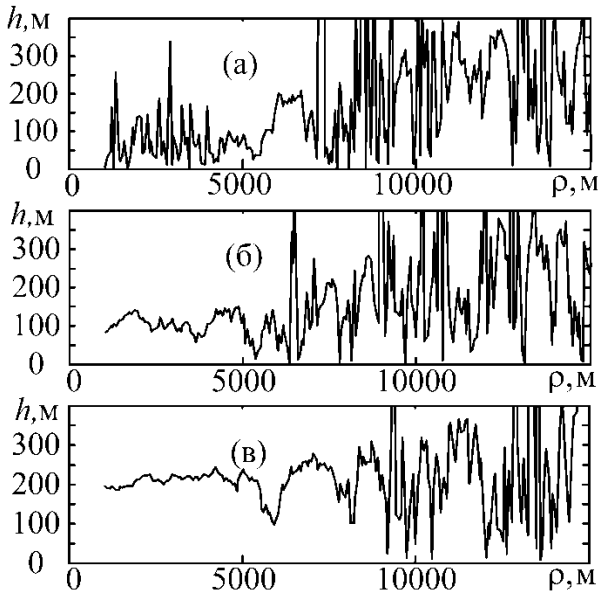

Рисунок 6 - Пример оценки высоты объекта по мере удаления от радаров

Видно, что начиная с некоторого расстояния от системы радаров воздушный объект становится (по оценке высоты) неотличимым от морского: в данном случае

это 5 км для объекта с высотой 100 м и 9 км для объекта с высотой 200 м. Сами оценки высоты носят «изрезанный» характер со случайными выбросами. Такая картина является побудительным мотивом наряду с оцениванием собственно высоты объекта определять дополнительно ещё и «высотный класс» объекта, то есть диапазон высот, которому принадлежит траектория объекта.

Были исследованы несколько подходов к решению этой задачи. Первый из них связан с оценкой вероятности принадлежности объекта к тому или иному высотному диапазону типа «надводный/воздушный». Второй обеспечивает селекцию воздушных объектов, оценивая степень принадлежности объекта к классу воздушных с использованием идей, положенных в основу нечетких систем. Третий дополняет задачу оценки высоты оценкой высотного диапазона объектов, используя идею алгоритмов с обучением и модельные представления искусственных нейронных сетей.

В пятой главе работы обсуждаются особенности архитектуры программных комплексов СУДС и особенности представления навигационной информации на рабочем месте судоводителя.

Как правило, СУДС представляет собой распределённую информационную систему, отдельные компоненты которой связаны с помощью сетевого оборудования. Основу информационной базы СУДС составляют радиолокационные станции (РЛС) кругового обзора и приёмопередатчики Автоматической идентификационной системы (АИС).

Автоматизированное рабочее место оператора является главной составляющей пользовательского интерфейса СУДС. Принято, что оно отражает следующую информацию: статическое изображение карты акватории, меняющееся по мере обновления изображение радиолокационного образа, меняющееся по мере обработки информации изображение меток наблюдаемых объектов и дополнительную навигационную информацию, способствующую принятию диспетчерских решений.

Формирование изображения радиолокационного образа требует решения специфической задачи выделения полезной составляющей радиолокационного эхо-сигнала на фоне помех. В работе предложен метод автоматизированного выбора параметров для порогово-амплитудного способа визуализации данных РЛС. Метод реализован и апробирован на действующем макете компьютеризированной РЛС.

Рисунок 7 иллюстрирует одну из реализаций процедуры нахождения порогов визуализации отражённого эхо-сигнала для случаев постоянного (левая колонка) и адаптивного (правая колонка) порогов. Показаны значения амплитуд a_{ij} отражённого эхо-сигнала на выбранной линейке в зависимости от номера дискрета по дальности i (сплошная линия) и рассчитанный согласно постоянный (рисунок 7а) и адаптивный (рисунок 7б) порог (точки).

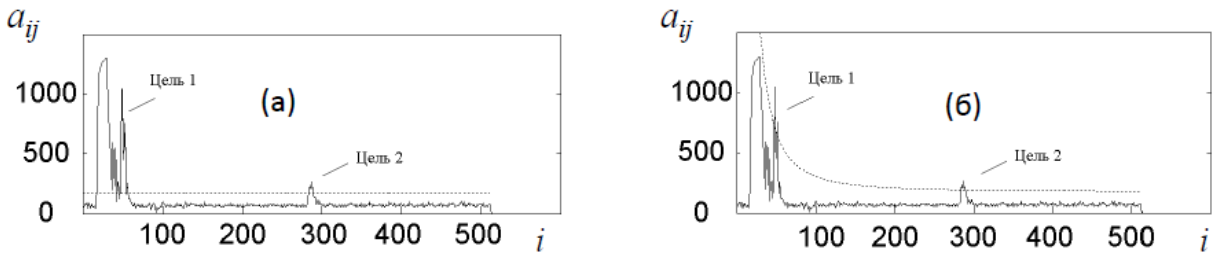

Рисунок 7 - Результаты натурного эксперимента по определению значений постоянного и адаптивного порогов визуализации отражённого эхо-сигнала

В условиях высокой интенсивности трафика судоводителям и операторам СУДС требуются особые инструменты поддержки принятия решений. В работе предложен метод визуализации информации о навигационной обстановке на акватории в виде диаграмм типа «скорость-курс», сочетающий в себе классические подходы Митрофанова и Дегрэ, Лефевра и разработанный в главе 3 настоящей работы комплекс математических моделей многоуровневой оценки риска опасного сближения судов. Предложенный подход позволяет наглядно представлять информацию об опасных и безопасных параметрах движения судов на рабочем месте оператора СУДС и судоводителя, а, также, оценивать эмоциональную нагрузку на судоводителей. Это открывает перспективную возможность постановки и решения задачи оценки степени опасности той или иной схемы движения конкретной акватории и выработки рекомендаций по изменению схемы движения в сторону менее опасных конфигураций.

Для демонстрации принципа построения диаграмм «скорость-курс» рассмотрим модельный пример для трёх судов (рисунок 8). Одно из них – I – будем считать управляемым судном. Судно II движется прямолинейно и равномерно с вектором скорости (-5, -5) м/с; судно III движется с вектором скорости (-5, 0) м/с и маневрирует. Радиус корабельного домена всех судов равен 150м.

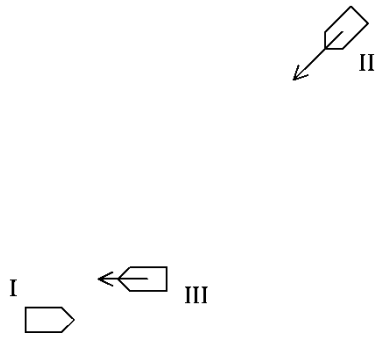

Рисунок 8 - Моделируемое расположение и скорости судов

Визуализация степени опасности возможных скоростей и курсов движения (диаграмма «скорость-курс») управляемого судна I для навигационной ситуации рисунка 8 показана на рисунке 9. На рисунке 9а - значения вектора скорости, соответствующие дискретной оценке уровня опасности, рассмотренной в третьей главе работы; светло-серая область соответствует средней степени опасности

YELLOW, тёмная - высокой степени опасности RED. На рисунке 9б - значения вектора скорости, соответствующие непрерывной оценке уровня опасности, представленного интенсивностью оттенка серого цвета. Оба варианта рисунка 9, будучи представленными на рабочем месте оператора СУДС, позволяют наглядно оценить параметры безопасного движения судна и, в свою очередь, дать корректные рекомендации судоводителям.

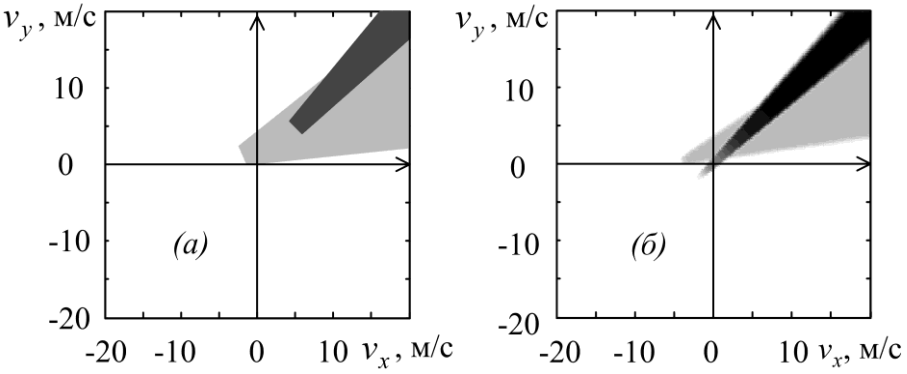

Рисунок 9 - Визуализация опасных и безопасных скоростей и курсов движения для навигационной ситуации рисунка 8

В работе приведены результаты моделирования предлагаемой методики визуализации опасных и безопасных параметров движения судна на данных о реальном движении судов в заливе Находка.

Шестая глава работы посвящена обзору программного инструментария, созданного для проведения научных исследований в области обеспечения безопасности коллективного движения судов. Разработанный программный комплекс для сбора данных трафика морских акваторий из открытых интернет-источников позволяет формировать массивы ретроспективных данных о движении судов. Полученные таким образом данные могут использоваться при планировании и постановке вычислительных экспериментов, позволяют испытывать разрабатываемые модели, методы и алгоритмы на реальных траекториях движения судов по конкретной акватории. Это обеспечивает возможность верификации создаваемых методик на предмет пригодности для работы в конкретных условиях и идентификацию границ их применимости. Приведены примеры собранных данных.

Особенностью собираемых данных является их разреженность. В главе предложена модель для доопределения (интерполяции) собранных данных о движении с учетом специфики задач внешнего наблюдения. Исходными данными для разработанной модели интерполяции является набор из i точек, в которых известны координаты и компоненты вектора скорости движения судна $x(t_i)$, $y(t_i)$, $v_x(t_i)$, $v_y(t_i)$. Каждый отрезок траектории разбивается на два участка: участок прямолинейного и равномерного движения и участок равноускоренного движения. Будем считать, что из точки $x(t_1)$, $y(t_1)$ в точку $x(t_*)$, $y(t_*)$ судно движется

прямолинейно и равномерно со скоростью $v_x(t_1)$, $v_y(t_1)$. Из точки $x(t_*)$, $y(t_*)$ судно начинает движение со скоростью $v_x(t_1)$, $v_y(t_1)$ и движется равноускорено в точку $x(t_2)$, $y(t_2)$, достигая при этом скорости $v_x(t_2)$, $v_y(t_2)$.

Полагая величины $x(t_1)$, $y(t_1)$, $v_x(t_1)$, $v_y(t_1)$, $x(t_2)$, $y(t_2)$, $v_x(t_2)$, $v_y(t_2)$ известными, а величины $x(t_*)$, $y(t_*)$, t_1, t_*, t_2 - неизвестными, имеем следующие кинематические уравнения движения:

$$x(t_*) = x(t_1) + v_x(t_1)(t_* - t_1),$$
$$y(t_*) = y(t_1) + v_y(t_1)(t_* - t_1),$$
$$x(t_2) = x(t_*) + v_x(t_1)(t_2 - t_*) + \frac{a_x(t_2 - t_*)^2}{2}, ,$$
$$y(t_2) = y(t_*) + v_y(t_1)(t_2 - t_*) + \frac{a_y(t_2 - t_*)^2}{2}.$$

где

$$a_x = \frac{v_x(t_2) - v_x(t_1)}{t_2 - t_*},$$
$$a_y = \frac{v_y(t_2) - v_y(t_1)}{t_2 - t_*}.$$

Решая эту систему алгебраических линейных уравнений получим полный набор параметров для интерполяции данных траектории движения судна с любой частотой на отрезке движения из точки $x(t_1)$, $y(t_1)$ в точку $x(t_2)$, $y(t_2)$. Случаи, когда рассматриваемая система уравнений вырождена, соответствуют исключительным ситуациям, при которых описанная модель не может быть использована. Таким вырожденным случаем является, например, ситуация, когда скорости движения судна $v_x(t_1)$, $v_y(t_1)$ и $v_x(t_2)$, $v_y(t_2)$ равны нулю.

Описанная модель может быть применена как для доопределения данных реального трафика акватории, так и при формировании наборов моделируемых траекторий движения по узловым точкам, соответствующих тем или иным характерным навигационным ситуациям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования. Основной проблемой, решению которой посвящена настоящая работа, является обеспечение безопасности коллективного

движения судов на морских акваториях в условиях высокой интенсивности движения.

При исследовании поставленных в работе задач получены следующие основные результаты:

- разработан и исследован метод идентификации модели движения объекта на основе идей нечёткой логики и связанный с ним комплекс математических моделей задачи сопровождения траектории движущегося объекта;
- разработан комплекс математических моделей многоуровневой оценки возможности опасного сближения судов дискретного и непрерывного типа, последние – на основе идей нечеткой логики;
- разработана и исследована математическая модель задачи двухкоординатного наблюдения движущегося объекта трёхкоордтнатными измерителями и связанный с ней численный метод априорной оценки разрешимости задач наблюдения в условиях погрешностей измерений и вычислений;
- разработан комплекс математических моделей задачи распознавания удалённых маловысотных низкоскоростных воздушных объектов и численные методы решения задачи;
- разработана и исследована математическая модель и связанный с ней численный метод визуализации радиолокационной информации на рабочем месте оператора СУДС и судоводителя;
- предложена математическая модель и связанный с ней численный метод визуализации информации, предоставляемой системой предупреждения об опасном сближении судов на основе идентификации зон, соответствующих опасным и безопасным параметрам движения судна;
- создан программный комплекс, предназначенный для сбора данных о движении судов на конкретной акватории;
- предложена имитационная модель траектории движения судна.

В целом по представленным в работе результатам можно сделать вывод о конструктивности предлагаемых идей и методик, их потенциальной востребованности как исследовательской, так и отраслевой средой и вполне осуществимой современными техническими средствами возможности построения на их основе реальных систем управления движением судов.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы. Решённые в работе задачи имеют перспективы дальнейшей разработки.

Так, перспективным направлением дальнейших исследований задачи идентификации модели движения объекта представляется изучение поведения разработанного алгоритма сопровождения при обучении описанных нечетких систем на обучающей выборке, полученной путем моделирования различных классов типичных (эталонных) траекторий движения судна или путем извлечения информации из базы данных, хранящей трафик конкретной акватории.

В задаче многоуровневой (дискретной и непрерывной) оценки возможности опасного сближения судов перспективным является исследование альтернативных

моделей опасных ситуаций, подходов к фаззификации задачи и обучению соответствующих нечётких систем.

В задаче трёхкоординатного наблюдения движущегося объекта двухкоординатными измерителями представляется интересным дальнейшее исследование закономерностей поведения системы в области малых отношений «высота/дальность».

Модель представления информации, разработанная в рамках решения задачи визуализации навигационной информации на рабочем месте оператора СУДС и судоводителя, позволяет оценить эмоциональную нагрузку на судоводителей. Это открывает перспективную возможность постановки и решения задачи оценки степени опасности той или иной схемы движения конкретной акватории и выработки рекомендаций по изменению схемы движения в сторону менее опасных конфигураций.

Информационная система, разработанная при решении задачи сбора данных о движении судов на конкретных морских акваториях, предполагает возможность усовершенствования и доработки с целью увеличения её удобства использования и производительности.

Модель, разработанная в рамках решения задачи имитационного моделирования траекторий движения судов, предполагает возможность доопределения для отражения тех или иных особенностей движения судов различных типов.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Пат. 2262466 Российская Федерация. Способ распознавания опасного сближения двух судов [Текст] / Ванюков В.Ю., Парфентьев О.С., Гриняк В.М.; заявитель и патентообладатель ИАПУ ДВО РАН, ОАО Норфес; заявл. 22.03.2004; опубл. 20.10.2005, Бюл. №29.
2. Головченко, Б.С. Информационная система сбора данных о движении судов на морской акватории / Б.С. Головченко, В.М. Гриняк // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. - 2014. - №2. - С 156-162.
3. Головченко, Б.С. Информационная система сбора данных трафика морской акватории / Б.С. Головченко, В.М. Гриняк // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. – 2014. - №8. – С.24-28.
4. Головченко, Б.С. Нечёткая система предупреждения об опасном сближении морских судов / Б.С. Головченко, В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. - 2015. - №1. – С. 15-25.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014619101 Российская Федерация. Автоматизированный генератор карт

морских акваторий [Текст] / Гриняк В.М.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; опубл. 09.09.2014.

6. Гриняк, В.М. Нечёткая система распознавания опасного сближения судов / В.М. Гриняк // Транспорт: наука, техника, управление. – 2014. - №6. – С. 6-10.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012617929 Российская Федерация. Программа «Радар-процессор ADC» [Текст] / Гриняк В.М.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; опубл. 31.08.2012.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012618192 Российская Федерация. Программа «VControl 2» [Текст] / Гриняк В.М.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; опубл. 10.09.2012.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2013615218 Российская Федерация. Программа «VControl Demo» [Текст] / Гриняк В.М.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; опубл. 30.05.2013.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014619102 Российская Федерация. Программный имитатор отражённого РЛС сигнала морской акватории [Текст] / Гриняк В.М.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; опубл. 09.09.2014.
11. Пат. 2499278 Российская Федерация. Способ сопровождения траектории движущегося судна [Текст] / Гриняк В.М.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; заявл. 19.07.2012; опубл. 20.11.2013, Бюл. №32.
12. Гриняк, В.М. Информационная система сбора данных о движении воздушных объектов гражданской авиации / В.М. Гриняк, А.И. Будников // Транспорт: наука, техника, управление. - 2015. - №8. - С. 44-47.
13. Гриняк, В.М. Многоуровневая модель идентификации опасных ситуаций береговыми системами управления движением судов / В.М. Гриняк, Л.В. Герасименко, А.С. Девятисильный // Навигация и гидрография. – 2015. - №40. – С.29-37.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014663201 Российская Федерация. Система сбора данных о движении морских судов [Текст] / Гриняк В.М., Головченко Б.С.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; опубл. 18.12.2014.
15. Гриняк, В.М. Нейро-нечёткая обучаемая система распознавания опасного сближения судов / В.М. Гриняк, Б.С. Головченко, А.С. Девятисильный // Информационные технологии. – 2014. - №9. – С.68-73.
16. Гриняк, В.М. Распознавание опасных ситуаций системами управления движением судов / В.М. Гриняк, Б.С. Головченко, В.Н. Малько // Транспорт: наука, техника, управление. - 2011. - №8. - С. 42-45.
17. Гриняк, В.М. Алгоритм мультимодельного сопровождения траектории движения судна с нечетким критерием детекции маневра / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Вестник Мурманского государственного технического университета. - 2012. - №3. - С. 568-574.

18. Гриняк, В.М. Идентификация воздушных объектов в системах управления движением судов / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Транспорт: наука, техника, управление. - 2012. - №8. - С. 38-40.
19. Гриняк, В.М. Классификация движущихся объектов типа «надводный-воздушный» в лингвистических переменных / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. - 2013. - №8. - С. 20-25.
20. Гриняк, В.М. Нейро-нечеткая обучаемая система распознавания воздушных объектов / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Информационные технологии. – 2013. - №11. – С. 58-63.
21. Гриняк, В.М. Нейро-нечеткая модель сопровождения траектории судна обзорной РЛС / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. - 2013. - №8. - С. 14-21.
22. Гриняк, В.М. Нейронечеткая система экспертной оценки риска опасного сближения морских судов / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2015. - №10. - С. 23-28.
23. Гриняк, В.М. Нечёткая система предупреждения об опасном сближении морских судов / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2016. - №2. – С. 93-103.
24. Гриняк, В.М. Нечеткая система распознавания воздушных объектов / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2013. - №7. - С. 9-14.
25. Гриняк, В.М. Нечеткая система распознавания опасного сближения судов на морских акваториях / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2014. - №11. - С. 36-42.
26. Гриняк, В.М. Нечеткая система экспертных оценок характера движения судна / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Информационные технологии. - 2012. - №8. - С. 66-70.
27. Гриняк, В.М. Прогнозирование опасных ситуаций при управлении движением на море / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Известия РАН. Теория и системы управления. - 2004. - №3. - с. 127-136.
28. Гриняк, В.М. Распознавание воздушных объектов двухкоординатными измерителями / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Эксплуатация морского транспорта. - 2012. - №3. - С. 37-40.
29. Гриняк, В.М. Система экспертного оценивания состояния навигационной безопасности морской акватории на основе нейро-нечёткой сети / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Проблемы управления. - 2015. - №4. - С. 58-65.
30. Гриняк, В.М. Экспертное оценивание состояния безопасности морской акватории с помощью нейро-нечёткой сети / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. - 2015. - №12. - С. 3-11.
31. Пат. 2309082 Российская Федерация. Способ предотвращения опасного сближения двух судов в ограниченных водах без изменения линии движения

[Текст] / Гриняк В.М., Дорожко В.М.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; заявл. 20.07.2005; опубл. 27.10.2007, Бюл. №30.

32. Пат. 2309083 Российская Федерация. Способ распознавания опасного сближения двух маневрирующих судов [Текст] / Гриняк В.М., Дорожко В.М.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; заявл. 12.12.2005; опубл. 27.10.2007, Бюл. №30.
33. Гриняк, В.М. Модели обеспечения безопасности на морских акваториях в условиях высокой интенсивности движения / В.М. Гриняк, В.М. Дорожко, Н.В. Лоскутов, О.В. Кириченко // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. - 2004. - №9. – С. 6-8.
34. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014611405 Российская Федерация. Компьютерный симулятор коллективного движения судов [Текст] / Гриняк В.М., Медведев С.А.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; опубл. 03.02.2014.
35. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014611509 Российская Федерация. Модуль формирования и отображения карты морской акватории [Текст] / Гриняк В.М., Медведев С.А.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; опубл. 04.02.2014.
36. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014611410 Российская Федерация. Модуль расчета моделируемых траекторий движения судов [Текст] / Гриняк В.М., Сирин С.В.; заявитель и патентообладатель ВГУЭС; опубл.03.02.2014.
37. Гриняк, В.М. Модель вероятностного типа для задачи предупреждения об опасном сближении морских судов / В.М. Гриняк, М.В. Трофимов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2015. - №10. – С.18-22.
38. Гриняк, В.М. Нечеткое сопровождение траектории движения судна / В.М. Гриняк, М.В. Трофимов // Журнал университета водных коммуникаций. - 2012. - №1. - С. 119-124.
39. Гриняк, В.М. Оценка характера движения морских судов в лингвистических переменных / В.М. Гриняк, М.В. Трофимов // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. - 2012. - №5. - С. 22-26.
40. Девятисильный, А.С. Нейросетевой алгоритм сопровождения судов в системах управления движением / А.С. Девятисильный, В.М. Гриняк // Информационные технологии. - 2012. - № 3. - С. 70-74.
41. Девятисильный, А.С. Идентификация воздушных объектов двухкоординатными измерителями / А.С. Девятисильный, В.М. Дорожко, В.М. Гриняк // Измерительная техника. - 2004. - №11. - С. 19-21.
42. Девятисильный, А.С. Информационно-технологические аспекты обеспечения безопасности движения на морских акваториях / А.С. Девятисильный, В.М. Дорожко, В.М. Гриняк // НТИ. Сер. 2. Информационные процессы и системы. - 2003. - №7. – С. 11-14.
43. Девятисильный, А.С. Определение гидродинамического сопротивления по траекторным данным инерционного движения объекта / А.С.

Девятисильный, В.М. Дорожко, В.М. Гриняк // Журнал технической физики. - 2003. - №2. - С. 38-42.

44. Девятисильный, А.С. Оценка гидродинамического качества движения морского объекта по внешним траекторным измерениям / А.С. Девятисильный, В.М. Дорожко, В.М. Гриняк // Письма в Журнал технической физики. - 2003. - №19. - С. 21-25.
45. Девятисильный, А.С. Радиолокационный комплекс для измерения волнообразующих свойств морских судов / А.С. Девятисильный, В.М. Дорожко, В.М. Гриняк // Измерительная техника. - 2005. - №3. - С. 46-48.
46. Девятисильный, А.С. Система экспертных оценок состояния безопасности на морских акваториях / А.С. Девятисильный, В.М. Дорожко, В.М. Гриняк, О.В. Кириченко, Н.В. Лоскутов // Информационные технологии. - 2004. - №11. - С. 48.
47. Пат. 2206104 Российская Федерация. Способ распознавания удаленных воздушных объектов [Текст] / Девятисильный А.С., Дорожко В.М., Гриняк В.М.; заявитель и патентообладатель ИАПУ ДВО РАН; заявл. 28.05.2001; опубл. 10.06.2003, Бюл. №16.
48. Пат. 2220871 Российская Федерация. Способ сравнительной оценки волнообразующих свойств морских судов [Текст] / Девятисильный А.С., Дорожко В.М., Гриняк В.М.; заявитель и патентообладатель ИАПУ ДВО РАН; заявл. 28.03.2002; опубл. 10.01.2004, Бюл. №1.

Гриняк Виктор Михайлович

Разработка математических моделей обеспечения безопасности коллективного движения морских судов

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано в печать 10.11.2016 Усл.п.л.2.0 Уч.-изд. л. 1.7
Формат 60×84/16 Тираж 100 Заказ 2

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматики и процессов управления
Дальневосточного отделения
Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)

Отпечатано участком оперативной печати ИАПУ ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 5
Email: director@iacp.dvo.ru
www.iacp.dvo.ru