

УДК 656.612

*В.Г. Шерстюк, А.П. Бень*Херсонский государственный морской институт, г. Херсон, Украина
kmi@kmi.kherson.ua

Гибридная интеллектуальная СППР для управления судном

В статье предложена структура и принцип работы интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению судном в особых условиях плавания «БРИЗ», в основе которой лежат сценарно-прецедентные модели принятия решений. ИСППР представляет собой гибридную интеллектуальную систему, имеющую подсистемы рассуждений на основе прецедентов, на основе правил и на основе моделей.

Введение

Несмотря на широкое использование в настоящее время глобальных навигационных систем, средства, обеспечивающие желаемый уровень безопасности судовождения, относительно ограничены. Большинство навигационных аварийных случаев (порядка 75 %) происходит по причине человеческого фактора и связаны с уровнем подготовленности судоводителя, ответственного за обеспечение безопасности судовождения, наличия у него требуемого практического опыта, навыков судовождения и управления судном [1].

Цена ошибки в задачах управления судном может быть непомерно высока, так как влечет за собой не только угрозу жизни членов экипажа судна, но и риск огромных экономических потерь, нанесения вреда окружающей среде. Поскольку повышение уровня компетентности судоводителя на практике методом проб и ошибок недопустимо, особую актуальность приобретает создание специализированных интеллектуальных систем поддержки принятия решений (СППР) и тренажерных систем.

Необходимо отметить, что вопросы проектирования и практического применения интеллектуальных СППР для решения задач управления судном в настоящее время проработаны недостаточно и представляют большой интерес для исследований.

Анализ существующих работ

Существующие математические модели движения судна носят приближенный характер, имеют значительные ограничения, и могут быть используемы лишь в условиях свободного плавания в открытом море.

По статистике, морское судно находится во время рейса в открытом море свыше 90 % времени [2]. Однако по той же статистике – до 85 % всех аварий и инцидентов чаще всего складываются при плавании в особых условиях – стесненных в навигационном (проливы, каналы, портовые рейды, узкие фарватеры) или гидрометеорологическом (штормы, сильное волнение, льды) смысле, при ситуациях сближения множества судов в зонах интенсивного судоходства и т.д.

Таким образом, подавляющее большинство опасных и критических ситуаций по управлению судном складывается именно в особых условиях плавания, когда использование методов математического моделирования для подготовки решений невозможно или сильно затруднено.

Кроме того, существующие математические модели движения судна представляют собой системы нелинейных уравнений, из-за сложности решения их использование в реальном режиме времени практически невозможно [3], [4].

В основу управления судном на мостике при расхождении или при плавании в стесненных условиях положен в значительной мере субъективный опыт судоводителя и упрощенный геометрический подход к решению задачи расхождения, например на маневренном планшете [1].

Ситуации, возникающие на практике при движении судна в стесненных условиях либо в условиях опасности, содержат большое число неопределенностей разного характера – в диапазоне от неточности измерительных приборов до нечеткости оценки допустимого расстояния сближения и неоднозначности Международных правил предупреждения столкновения судов (МППСС–72), используемых как основной нормативный документ, регулирующий движение судна [5].

Кроме того, изменение внешних воздействий и переменных ограничений и изменяющиеся элементы движения других судов и навигационных опасностей, находящихся в районе плавания [6], ставят необходимость динамической корректировки выбранного алгоритма управления судном.

Таким образом, судно в процессе движения в особых условиях представляет собой сложную слабоструктурированную динамическую систему, имеющую целенаправленный характер. Соответственно интеллектуальная поддержка принятия решений по управлению судном не может опираться полностью на существующие методы, основанные на моделях или основанные на правилах, ввиду ограниченной точности указанных методов, а в основе такого управления не могут лежать математические модели движения судна и принципы теории автоматического управления.

Цель работы

Для принятия решения в условиях неопределенности судоводителю приходится анализировать большие объемы информации при существенных ограничениях во времени на оценку обстановки и принятие решения. В таких случаях чаще всего решение принимают на основании предыдущего опыта («хорошая морская практика») и знания общих закономерностей процесса движения судна. Использование математических моделей и принципов автоматического управления в особых условиях плавания неприемлемо.

Существующий уровень развития интеллектуальных систем поддержки принятия решений [7-9] позволяет решать задачи поддержки принятия решений в сложных слабоструктурированных динамических системах.

Следовательно, необходимо создание интеллектуальной СППР управления судном на ходовом мостике, способной принять на себя решение части задач управления движением судна.

Результатом работы ИСППР должно являться упорядоченное по определенному критерию множество альтернатив предлагаемых решений, с наглядной визуализацией на электронной карте как собственно предлагаемых решений по управлению судном, так и возможных последствий от выбора той или иной альтернативы.

Цель статьи – определить структуру, состав и принципы работы ИСППР «БРИЗ» для управления судном в особых условиях плавания.

Постановка задачи

Проведенный анализ существующих работ свидетельствует о том, что процессу принятия решения в задачах управления судном присущ ряд общих особенностей:

- большая размерность решаемых задач и большие объемы обрабатываемых данных;
- значительная повторяемость принимаемых решений в сходных условиях (имеется тесная взаимосвязь рассматриваемых ситуаций управления с районом плавания и типом судна);

- возможность принятия решения по прецедентам, то есть типовым ситуациям организации движения судов;
- необходимость подготовки нескольких вариантов (версий) принимаемых решений в определенных ситуациях;
- необходимость принятия решения в условиях неопределенности (отсутствие достоверной информации или полное отсутствие требуемой информации);
- при принятии решения в различных ситуациях и условиях плавания руководствуются не только действующими нормативными документами и инструкциями (например, МППСС–72), но и личным опытом судовождения, а также обобщенным опытом, изложенным в виде практических рекомендаций («хорошая морская практика»).

Для создания и дальнейшего функционирования ИСППР «БРИЗ» требуется:

- использование оборудования GPS для автоматизированного проведения обсерваций;
- использование навигационных информационных систем (НИС) с привязкой картографической информации к координатам, поставляемым GPS;
- разработка и реализация формальной модели представления знаний и данных о складывающейся обстановке в районе плавания, учитывающей наличие неполноты, неточности и неопределенности различных элементов обстановки;
- разработка формальной модели рассуждений об обстановке в районе плавания, учитывающей временной и пространственный аспекты обстановки, нормативные ограничения регулирующих документов, цели и возможные планы действий (например, маневров) других судов, имеющих в районе плавания;
- разработка и реализация классифицирующей системы, в задачи которой входит оценка складывающейся обстановки по степени ее опасности на основе различных критериев [10] и ее классификация с точки зрения последующих решений по управлению судном;
- разработка подсистемы планирования возможных решений по управлению судном, основанной на классе складывающейся ситуации, прогнозах ИСППР по ее дальнейшему развитию (то есть о предполагаемых действиях других судов и предполагаемому движению собственного судна) и на принимаемых ранее решениях в подобных ситуациях;
- реализация визуальной модели представления обстановки на электронной карте с учетом привязки альтернатив возможных решений по управлению судном и предполагаемых результатов их использования;
- выбор критериев упорядочения альтернатив предполагаемых решений, например, по минимальной оценке опасности, минимальной потребности маневров скоростью, по кратчайшему расстоянию и т.д.;
- разработка методов динамической оценки навигационной и других видов опасности в складывающейся обстановке.

Таким образом, может быть создана ИСППР, способная к выработке и представлению альтернатив возможных решений на основе имеющегося в ее базе знаний опыта.

В задачи данной работы входят:

- выбор подхода к реализации ИСППР «БРИЗ»;
- определение принципов работы и алгоритма функционирования ИСППР;
- выбор формализма для представления знаний в разрабатываемой ИСППР;
- разработка структуры ИСППР «БРИЗ» и принципов интеграции различных ее подсистем.

Основная часть

Основной проблемой создания интеллектуальных СППР управления судном остается разрешение противоречия между сложностью процессов принятия решений, объемом преобразуемой информации и ограниченными возможностями лица, принимающего решение (судоводителя), по ее переработке. Применение ИСППР позволяет

возложить на нее часть функций контроля маршрута судна, сконцентрировав внимание судоводителя на наиболее опасных объектах в районе маневрирования и предоставив ему варианты осуществления возможных маневров, а также данные, необходимые для их выполнения.

Типовой алгоритм работы ИСППР по управлению траекторией движения судна может быть представлен следующими этапами:

- идентификация судов, находящихся в зоне возможного столкновения, определение параметров их движения и границ опасной зоны;
- предсказание возможных действий судов в районе маневрирования;
- оценка текущей ситуации в районе маневрирования и классификация находящихся в нем судов с точки зрения опасности столкновения;
- выработка возможных альтернатив маневрирования и предоставление их судоводителю.

Так как поведение судна регламентировано нормативными документами (МППСС–72), для определения возможных действий судов и построения базы знаний ИСППР целесообразно использовать подход, основанный на использовании ситуационных моделей управления [11].

Для формирования возможных альтернатив принятия решений в ИСППР «БРИЗ» используется сценарно-прецедентный подход, основанный на методах рассуждений на основе прецедентов (*Case-Based Reasoning, CBR*) [12].

Прецедент включает в себя проблемную ситуацию, принятое решение и полученный результат (рис. 1).

Как только будет выявлена проблемная ситуация и будет принято решение на основе уже имеющихся (хранимых) прецедентов, соответствующая информация упаковывается в контейнер, называемый прецедентом, и сохраняется в хранилище прецедентов для последующего использования. Ситуация, для которой был сохранен прецедент, считается опорной, или базовой.

Выбор наиболее подходящего в конкретной ситуации прецедента позволяет сформировать на его основе решение в готовом виде, либо требует проведения дополнительных действий по адаптации решения с целью учета различий в контекстах сложившейся и базовой ситуации.

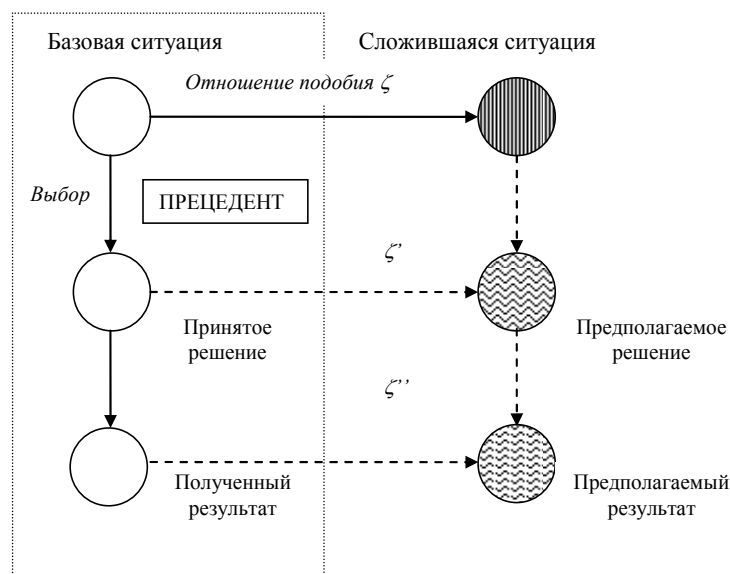


Рисунок 1 – Принятие решений на основе прецедента

Метод, с помощью которого осуществляется вычисление меры подобия (сходства) прецедентов, задается во время создания CBR-системы разработчиками. Наиболее популярным и часто используемым методом является поиск ближайшего соседа, в основе которого лежит способ измерения степени совпадения значений атрибутов (свойств), определяющих прецедент.

Как только текущая ситуация идентифицирована, судоводитель может принять решение из предложенных системой альтернатив на основе уже имеющихся (хранимых) прецедентов, либо самостоятельно.

Выбор наиболее подходящего в конкретной ситуации прецедента позволяет сформировать на его основе решение в готовом виде, либо требует проведения дополнительных действий по адаптации решения с целью учета различий в характеристиках сложившейся и базовой ситуации. Если подходящий прецедент не обнаружен или процесс адаптации требует привлечения дополнительной информации, принятие решения потребует обращения к базе знаний ИСППР, содержащей основные сведения о предметной области и задействования для принятия решения личного опыта судоводителя.

В последнем случае происходит формирование нового прецедента, который сохраняется в ИСППР. Ситуация, для которой был сохранен прецедент, впоследствии считается опорной, или базовой [13]. В качестве исходного базового набора ситуаций используется каталог ситуаций, предложенный в работе [14].

Если подходящий прецедент не обнаружен или процесс адаптации требует привлечения дополнительной информации, принятие решения потребует обращения к базе знаний, содержащей основные сведения о предметной области.

Процесс функционирования прецедентной ИСППР можно представить в виде CBR-цикла (рис. 2), состоящего из четырех основных фаз [15]:

- 1) получение (выбор) из хранилища наиболее уместного прецедента или множества прецедентов, на основе заданного отношения подобия;
- 2) использование выбранных прецедентов для принятия решения;
- 3) пересмотр и коррекция (адаптация) в случае необходимости принимавшихся ранее в выбранных прецедентах решений;
- 4) сохранение в хранилище принятого решения и сложившейся ситуации в качестве нового прецедента или соответствующее изменение выбранного прецедента, что может быть полезным в дальнейшем при решении аналогичных задач.

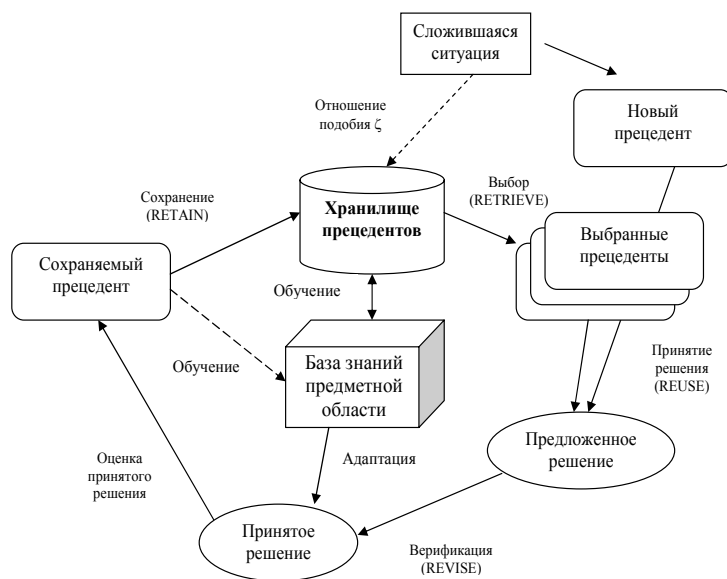


Рисунок 2 – Фазы CBR-цикла

Существенным отличием предложенного в ИСППР «БРИЗ» сценарно-прецедентного подхода является то, что результаты оценки ситуации и поиска решения представляют собой сценарии управляющих воздействий.

К управляющим воздействиям могут быть отнесены маневры курсом (отворот влево, отворот вправо) и скоростью (подтормаживание, торможение, ускорение), причем допускаются маневры одновременного изменения курсов судов, остановка одного или нескольких судов.

Основным достоинством CBR-систем является их простота и легкость реализации, что делает прецедентные системы хорошим средством для представления знаний и поддержки принятия решений, однако прецедентным системам присущ и ряд недостатков:

- 1) сложность учета динамических факторов;
- 2) невозможность представления на уровне формальных описаний прецедентов связи между факторами, например в виде уравнений;
- 3) затруднительность учета ограничений по принятию решений, задаваемых множеством целевых факторов, а не состояний.

Традиционно указанные недостатки преодолевают или ослабляют, разрабатывая гибридные системы [16], когда объединяют механизм принятия решений на основе прецедентов с механизмом, основанным на правилах или ограничениях, что в свою очередь усложняет СППР.

Для использования прецедентной СППР в динамичных предметных областях в условиях неполноты и неопределенности информации предложена формальная модель гибридной сценарно-прецедентной СППР [17].

Сценарно-прецедентная система является «преобразователем» сложившейся (актуальной) ситуации в сценарий решения (рис. 3), а сценарий является траекторией продвижения к необходимому и возможному будущему состоянию системы, то есть планом действий по использованию определенных управляющих воздействий. Отличительной особенностью сценария является его многовариантность, то есть допустимость рассмотрения нескольких альтернативных вариантов развития ситуации, а соответственно и нескольких целевых состояний.

Группировка сценариев в классы даст возможность выбора наиболее рациональной стратегии воздействия на ситуацию. Получение широкого спектра вариантов развития ситуации позволяет выявить критические ситуации для принятия решений, а также возможные последствия предлагаемых альтернативных вариантов решений с целью их сопоставления и выбора наиболее эффективного [18].

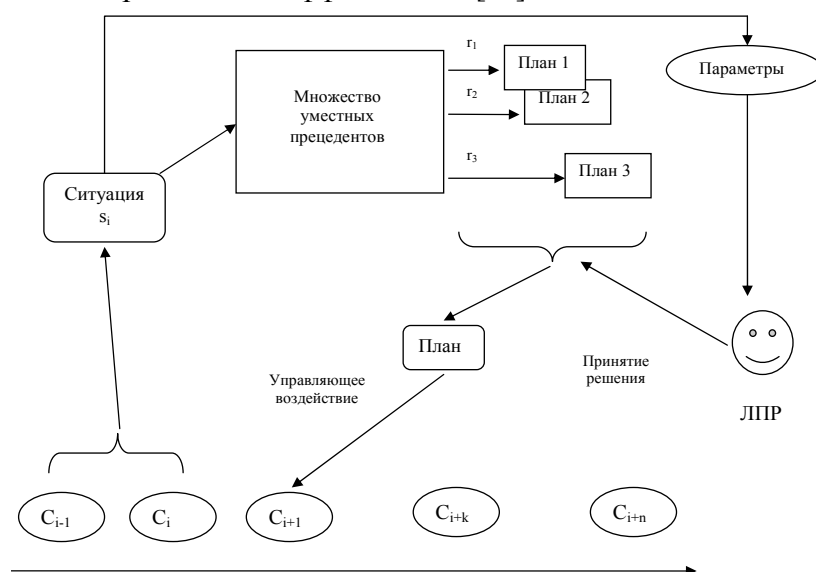


Рисунок 3 – Схема функционирования ИСППР

Знания о предметной области и о сложившейся ситуации могут быть выражены с использованием мультимодальной логики, включая необходимую информацию о судах в наблюдаемой зоне, в т.ч. пеленги, курсы, скорости и т.д., навигационные условия, в том числе жесткие (например, навигационные опасности) и мягкие (например, метеорологические условия) ограничения, планируемые маршруты и схемы движения судов.

В рамках мультимодальной логики скомбинированы алетическая (необходимо – возможно), деонтическая (разрешено–запрещено), эпистемическая (знаю – догадываюсь), оценочная (хорошо – плохо), пространственная и временная логики. В полученном логическом формализме может быть выражен полный объем декларативных знаний о складывающихся ситуациях.

Поскольку для адаптации отобранных прецедентов (а процесс адаптации может учитывать особенности относительного расположения судов, гидрографические, гидрометеорологические условия плавания, наличие навигационных опасностей и т.д.) требуется выполнение рассуждений в пространстве описания сложившейся ситуации, отобранные прецеденты и множество имеющихся правил, описывающих предметную область, используются для проведения уточняющих рассуждений.

Для этого в состав интеллектуальной СППР введен модуль рассуждений на основе правил (*Rule-Based Reasoning, RBR*), генерирующий выводы на основе дедуктивного, абдуктивного и индуктивного механизмов (рис. 4).

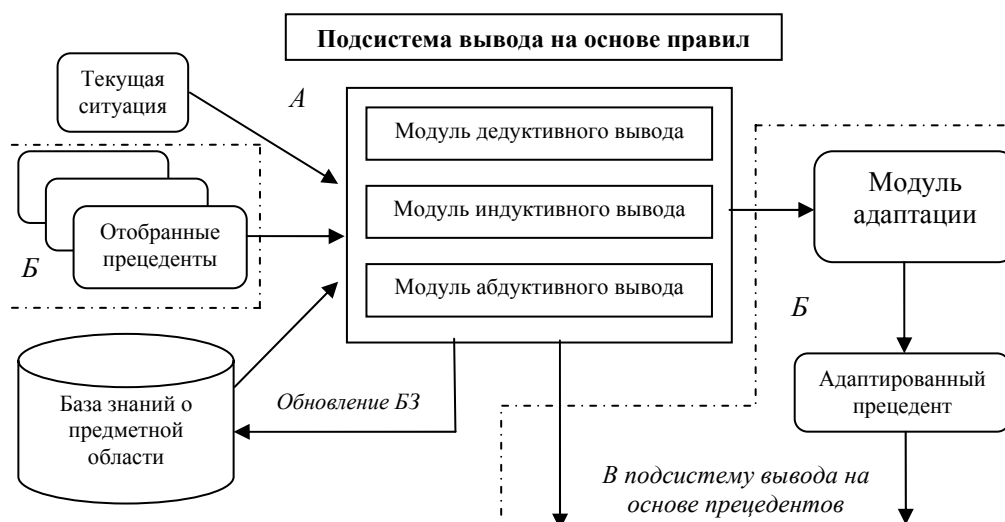


Рисунок 4 – Схема интеграции подсистем рассуждений на основе правил (А) и на основе прецедентов (Б) в ИСППР «БРИЗ»

Часть выводов, полученных модулем рассуждений на основе правил, используется для обновления базы знаний о предметной области и в дальнейшем используется самостоятельно в процессе проведения рассуждений.

Другая часть выводов передается в виде фрагментов знаний, выраженных в рамках мультимодальной логики, в модуль рассуждений на основе прецедентов для использования в процессе поиска релевантных ситуаций, уточнения вычисления функций подобия и компетентности прецедентов, выполнения адаптации прецедентов к сложившейся ситуации.

Однако для выбора и использования на практике решений, сформированных интеллектуальной СППР, необходимо просчитывать границы зоны навигационной безопасности и зоны опасного сближения. Для выполнения таких расчетов невозможно привлечь ни модуль рассуждений на основе правил, ни модуль рассуждений на основе прецедентов, поскольку обсчет требуется производить математически с заданной точностью, причем разной для разных текущих ситуаций.

Имеющиеся в интеллектуальной СППР фрагменты математической модели движения судна могут быть использованы для проведения расчетов при выполнении следующих условий:

- снижения размерности системы уравнений движения до приемлемого уровня по быстродействию;
- использования специализированных систем уравнений для каждого особого класса условий плавания;
- установления наименьших и наибольших границ пространственных зон.

Интеллектуальная СППР включает в себя модуль рассуждений на основе моделей (*Model-Based Reasoning, MBR*), задача которого – поставка для формируемых альтернатив конкретных числовых расчетов границ пространственных зон.

Для интеграции этого модуля (рис. 5) каждый имеющийся прецедент соотнесен с определенным классом моделей движения, и при рассмотрении каждого уместного прецедента автоматически производится просчет зон навигационной безопасности.

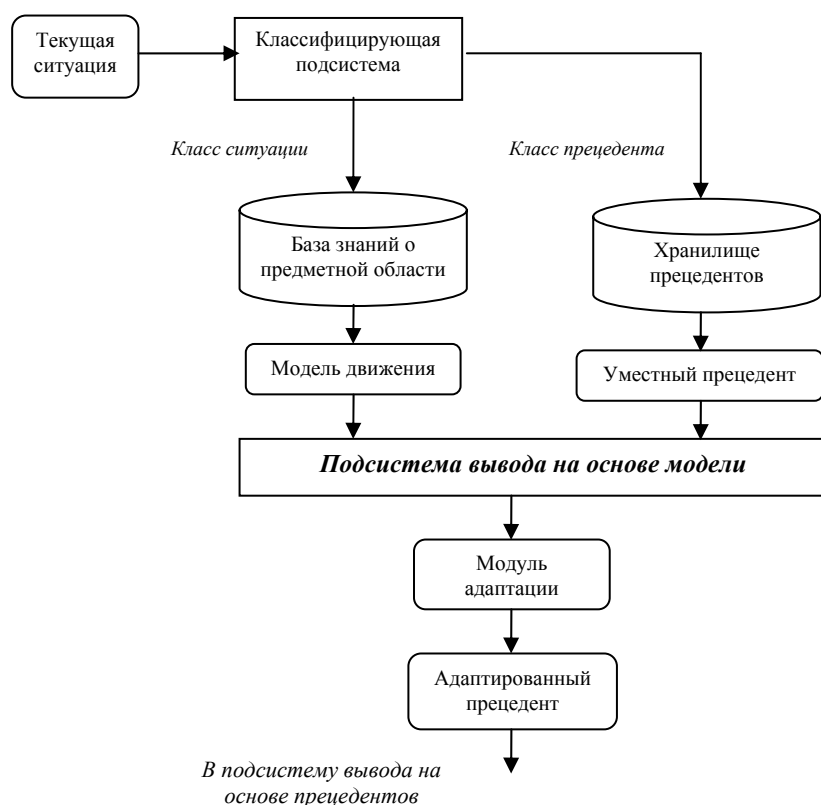


Рисунок 5 – Схема интеграции подсистем рассуждений на основе модели и на основе прецедентов в ИСППР «БРИЗ»

Далее в установленных пространственных границах проводятся рассуждения на основе правил, при этом прецедент «погружается» в построенную модель (рис. 6).

Важным вопросом практической реализации СППР является разработка модели выбора траектории безопасного движения судна в опасных условиях, например условиях возможного столкновения. Определение безопасной траектории движения судна можно рассматривать как многошаговую и многокритериальную задачу управления судном в условиях динамически изменяющейся навигационной ситуации.

Такая задача является NP-сложной, а наличие динамических ограничений существенно затрудняет процесс ее решения в режиме реального времени и требует использования принципиально новых методик, а также технических и программных средств.

Анализ ряда существующих работ в данной области [19], [20] показывает, что для ее решения могут быть использованы методы нелинейного программирования, сужения пространства поиска путем формирования матрицы допустимых маневров для анализируемой ситуации, механизмы нечеткой классификации ситуаций.

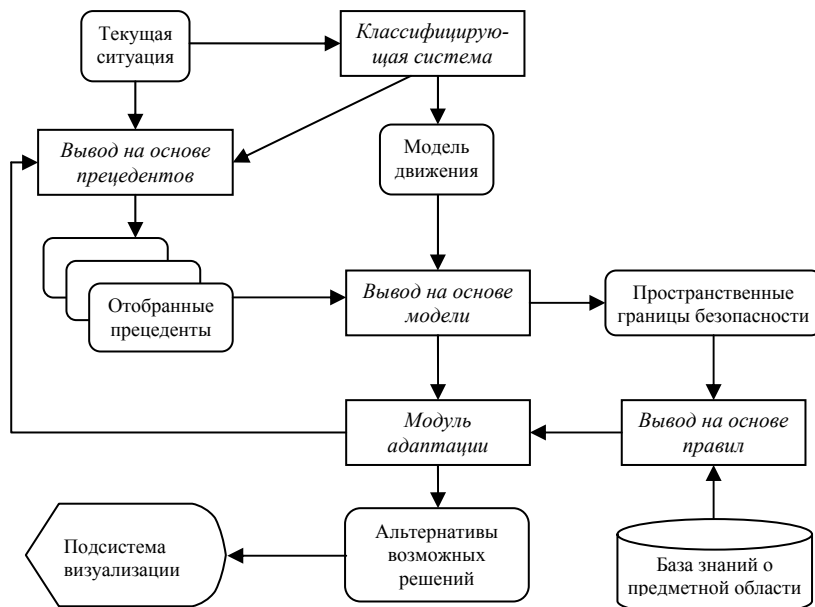


Рисунок 6 – Схема процесса функционирования ИСППР «БРИЗ»

Наиболее перспективным подходом к решению рассматриваемой задачи является использование методов эволюционного моделирования. Применение эволюционной технологии отыскания оптимальной траектории судна, по сравнению с другими существующими подходами, дает ряд преимуществ: универсальность, возможность проведения необходимых расчетов в режиме реального времени, одновременного отыскания нескольких субоптимальных решений, отсутствие необходимости внесения существенных корректировок в алгоритм решения при изменении исходных данных (числа объектов возможного столкновения).

Судно, находящееся в районе маневрирования, может быть классифицировано как крайне опасное, опасное, ограничивающее движение или безопасное.

Опасными (крайне опасными) считаются суда, риск столкновения с которыми превышает (значительно превышает) заданный уровень безопасности в случае, если оба судна будут придерживаться текущих курсов.

Ограничивающими движение считаются суда, не представляющие опасности столкновения, но влияющие на возможности маневрирования в случае необходимости избежать столкновения с опасным судном.

Безопасными считаются суда, находящиеся за пределами района маневрирования.

Классификация судов по степени их опасности осуществляется на основе математической модели возможных столкновений [21].

Выводы

На основе предложенных идей разрабатывается ИСППР «Бриз». Ее применение на судах морского флота, а также на тренажерах в процессе подготовки морских специалистов, приведет к уменьшению информационной нагрузки на судоводителя в процессе принятия решений, снижению влияния факторов субъективности при анализе текущей ситуации, сокращению времени, необходимого для выбора управляющего воздействия.

ИСППР позволяет решать задачу управления движением судна в случае множества динамических опасных объектов в режиме реального времени. Перспективным направлением дальнейших исследований является определение оптимальной траектории движения судна в условиях возможного столкновения, а также правил ее корректировки для случая, когда другие суда существенно изменяют параметры своего движения.

Литература

1. Мальцев А.С. Маневрирование судов при расхождении. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. – 208 с.
2. Вильский Г.Б., Мальцев А.С., Бездольный В.В., Гончаров Е.И. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов. – Одесса–Николаев: Феникс, 2007. – 456 с.
3. Хойер Генри Х. Управление судами при маневрировании: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1992. – 101 с.
4. Пипченко А.Д. Уточнение математической модели движения судна // Судовождение. – Вып. 10. – С. 97–105.
5. Цымбал Н.Н., Бужбецкий Р.Ю. Учет ограничений МППСС–72 при выборе маневра расхождения судов // Судовождение. – Вып. 11. – С. 134–138.
6. Бурмака И.А., Дудник С.А. Поликритериальное управление процессом судовождения // Судовождение. – Вып. 12. – С. 26–30.
7. Джексон П. Введение в экспертные системы. – М.: Вильямс. – 2001. – 624 с.
8. Люггер Дж. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
9. Интеллектуальные системы в морских исследованиях и технологиях / В.Л. Александров, А.П. Матлах, Ю.И. Нечаев, В.И. Поляков, Д.М. Ростовцев / Под ред. Ю.И. Нечаева. – СПб: Изд. центр СПбГМТУ, 2001. – 391 с.
10. Бень А.П. Оценка возможности столкновения судов в системе поддержки принятия решений по выбору безопасной траектории движения судна // Матер. міжн. наук. конф. ISDMIT–2006. – 15–18 травня 2006 р. – Євпаторія, (Крим), – Т. 3 – Херсон: ХМІ, 2006. – С. 12–17.
11. Мальцев А.С. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов // Судовождение. Вып. 11. – С. 74–86.
12. Agnar Aamodt. A Knowledge-Intensive Approach to Problem Solving and Sustained Learning. PhD thesis, Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim. – 1991.
13. Нечипоренко О.А. Использование технологии Case-Based Reasoning в проектировании программных систем // Перспективные информационные технологии и информационные среды. – 2002, № 3. – С. 27–32.
14. Мальцев А.С. Каталог ситуаций и видов маневра при относительном движении судов // Одесса, 2005. – 38 с.
15. Aamodt A., Plaza E. Case-Based Reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches // AI Communications. – 1994. – Vol. 7. – № 1. – P. 39–59.
16. Main J., Dillon T.S. A hybrid case-based reasoner for footwear design // Case-Based Reasoning Research and Development. – Lecture Notes in Artificial Intelligence. – 1999. – Vol. 1650. – 499–509.
17. Шерстюк В.Г. Формальная модель гибридной сценарно-прецедентной СППР // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы, 2004. – Вып. 1. – С. 114–122.
18. Бень А.П., Шерстюк В.Г. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по управлению судном в условиях неполной и противоречивой информации // Судовождение. – Вып. 14. – С. 141–144.
19. Lisowski J., Smierzchalski R. Assign of Safe and Optimal Trajectory Avoiding Collision at Sea // 3rd IFAC Workshop Control Application in Marine System. – Trondheim–Norway, 1995.
20. Furuhashi T., Nakaoka K., Uchikawa Y. A study on classifier system for finding control knowledge of multi-input systems // Genetic Algorithms and Soft Computing / F Herrera, J.L. Verdegay (Eds), Physica – Verlag. – 1996. – P. 489–502.
21. Бень А.П. Оценка возможности столкновения судов в системе поддержки принятия решений по выбору безопасной траектории движения судна // Матер. межд. научн. конф. ISDMIT–2006. – Євпаторія. – Т. 3. – С. 12–17.

В.Г. Шерстюк, А.П. Бень

Гібридна інтелектуальна СППР для керування судном

У статті запропоновано структуру і принцип роботи інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень щодо керування судном в особливих умовах плавання «БРИЗ», в основі якої лежать сценарно-прецедентні моделі прийняття рішень. ІСППР є гібридною інтелектуальною системою, яка має підсистему міркувань на основі прецедентів, на основі правил і на основі моделей.

Статья поступила в редакцию 22.07.2008.