

МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1001101001101111001100100011000101001110100100011000110101011110100001001001010010011
0100011011000001101101100010100100111010011100111010011101001110100110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
010100011011101001000100111011000010110011101010011101001100010101101010010011001110
1101011000010101110100101001101101010110001011010101101001010011101010101101001101001
1001101001101111100110010001100010100111010010001100110101011110100001001001010010011
01000110110000011011011000101001001110100111001110011010011101001110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
1101011000010101110100101001101101010110001011010001100001010011101010001101001101001

№ 3 (33) Т. 1 2016



Труды Морского государственного университета имени адмирала Г.И. Невельского

010001101100000110110110001010010011101001110011100111010011101001110101000011101100111001010
11001011110001001100001101101110111010001001101001110010001010010101000110101110100001
01010001101110100100010011101100001011001110101001110100110001010101101010010011001110
11010110000101011101001010011011010101100010110101011010010100111010101 101001
10011010011011111001100100011000101001110100101011000110101011110101101 1010
010001101100000110110110001010010011101001110011101001110100110101000010 011





МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный журнал № 3 (33) Т1 2016 www.morintex.ru, ISSN № 2073-7173, ISSN Эл № ФС72-3345

Тематика: кораблестроение, информатика, вычислительная техника и управление

Главный редактор:

Н.В. Никитин, д.т.н., профессор

Редакционный Совет

Сопредседатели

И.Г.Захаров, д.т.н., профессор, заместитель генерального директора ЦМКБ «Алмаз»

Е.М. Апполонов, д.т.н., профессор, Ректор, СПбГМТУ

Члены Совета

А.И. Гайкович, д.т.н., профессор, генеральный директор, НИЦ "МОРИНТЕХ»

Г.Н. Муру, к.т.н., генеральный директор, 51 ЦКТИ судоремонта

Огай С. А. к.т.н., доцент ректор, Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского

Одд М. Фалтинсен, профессор, Норвежский университет науки и технологии, Норвегия

Пентти Куяла, профессор, университет Аалто, Финляндия

В.Н. Половинкин, д.т.н., профессор, референт генерального директора, ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

К.В. Рожественский, д.т.н., профессор, проректор по международному сотрудничеству, СПбГМТУ

С.П. Столяров, д.т.н., профессор, декан факультета корабельной энергетики и автоматики, СПбГМТУ

В.Н. Тряскин, д.т.н., профессор, проректор, СПбГМТУ по учебной работе

А.К. Филимонов, д.т.н., профессор, проректор СПбГМТУ по научной работе

Редакционная коллегия

Заместители главного редактора

А.И. Гайкович, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

А.И. Фрумен, к.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

П.А. Шауб, д.т.н., профессор, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

Члены Редколлегии

А.В. Алексеев, д.т.н., профессор Санкт-Петербургский государственный университет

А.Е. Богданов к.т.н. — ОАО «Системы управления»

Р.В. Борисов д.т.н. профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

Ю.А. Власов, к.ф.-м.н. преподаватель, Флоридский Международный Университет, Майами, США

Войлошников М.В., д.т.н., профессор, Морской государственной университет им. адм. Г.И. Невельского

А.Н. Дядик, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный университет

В.А. Евтеев, д.т.н., Объединенная судостроительная корпорация

Ю.И. Нечаев, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

В.В. Родионов, к.т.н, с.н.с., ЗАО «Си Проект»

В.Ю. Семенова, д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский морской государственный университет

Д.А. Скороходов, д.т.н., профессор, Институт проблем транспорта РАН

О.В. Третьяков, д.т.н., доцент, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ

Н.А Тарануха, д.т.н., профессор, Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

Периодичность издания — 4 номера в год

Журнал включен в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) <http://vak.ed.gov.ru>

Журнал включен в Перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук и в международную реферативную базу данных Web of Science

Рукописи представляются в редакцию в электронном виде (на диске или по электронной почте: mit-journal@mail.ru)

Учредитель - издатель: Общество с ограниченной ответственностью «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Свидетельства о регистрации СМИ ПИ № ФС77-32382 от 09.06.2008, Эл № ФС72-3345

Редакция в обязательном порядке осуществляет экспертную оценку всех материалов, публикуемых в журнале

190121 г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская д.3

Телефон/факс +7 (812) 513-04-51

e-mail: mit-journal@mail.ru

Ответственность за содержание информационных и рекламных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы и рекламодатели.

Перепечатка допускается только с разрешения редакции

Мнение редакционного совета и членов редколлегии может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций

Редакционная этика журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Редакционная деятельность научного журнала «МОРСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» опирается, в частности, на рекомендации Комитета по этике научных публикаций, а также на ценный опыт авторитетных международных журналов и издательств.

<http://morintex.ru/ru/nauchnyj-zhurnal/redakcionnaya-etika/>

Напечатано в центре полиграфии НИЦ «МОРИНТЕХ»

Дизайн: А.В. Антонов



MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES

Scientific journal № 3 (33) V.1 2016 www.morintex.ru ISSN 2073-7173, ISSN Эл № ФС72-3345

Subject: shipbuilding, computer science, computer engineering and management

Chief Editor:

N. V. Nikitin, Doctor of Engineering, Professor

Editorial Board

Co-chairmen

I.G. Zakharov, Doctor of Engineering, Professor, Vice-CEO ZMKB "Almaz"

E.M. Appolonov, Doctor of Engineering, Professor, Rector, Saint-Petersburg State Marine Technical University

Council Members

A.I. Gajkovich, Doctor of Engineering, Professor, CEO, Research Centre "Marine Intelligent Technologies"

G.N. Muru, PhD, CEO, 51 CCIS

Ogai S.A., PhD, Associate professor, Rector, Maritime state university named Admiral Nevelskoi

Odd M. Faltinsen, Professor, Norwegian University of Science and Technology, Norway

Pentti Kujala, Professor, Aalto University, Finland

V.N. Polovinkin, Doctor of Engineering, Professor, Assistant Director General, Krylov State Research Centre

K.V. Rozhdestvenskij, Doctor of Engineering, Professor, Vice-Rector for International Science & Education, Saint-Petersburg State Marine Technical University

S.P. Stoljarov, Doctor of Engineering, Professor, Dean of the Faculty of naval power and automation, Saint-Petersburg State Marine Technical University

V.N. Trjaskin, Doctor of Engineering, Professor, Vice-Rector for Education, Saint-Petersburg State Marine Technical University

A.K. Filimonov, Doctor of Engineering, Professor, Vice-Rector for Research, Saint-Petersburg State Marine Technical University

Editorial Staff

Deputy Chief Editors

A. I. Gaykovich, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

A. I. Frumen, PhD, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

P. A. Shaub, Doctor of Engineering, Professor, Institute of Shipbuilding and armaments of Russian Navy

Members of Editorial Staff

A.V. Alekseev, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

A. E. Bogdanov, PhD, JSC "Control Systems"

R. V. Borisov, Doctor of Engineering, Professor St. Petersburg State Marine Technical University

Yu. A. Vlasov, PhD, Adjunct Professor, Florida International University, Miami, FL, USA

Voyloshnikov M.V., Doctor of Engineering, Professor, Maritime state university named Admiral Nevelskoi

A.N. Dyadik, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

V. A. Evteev, Doctor of Engineering, United Shipbuilding Corporation

Yu. I. Nechayev, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

V. V. Rodionov, PhD, Senior Research Scientist, CJSC "Sea Project"

V. Yu.Semenova, Doctor of Engineering, Professor, St. Petersburg State Marine Technical University

D. A. Skorokhodov, Doctor of Engineering, Professor, Institute of Transportation Problems of the Russian Academy of Science

O. V. Tretyakov, Doctor of Engineering, Associate Professor, Institute of Shipbuilding and armaments of Russian Navy

N. A. Taranukha, Doctor of Engineering, Professor, Komsomolsk-on-Amur State Technical University

Publication frequency — 4 issues per year

The journal is included into the system of Russian Science Citation Index <http://vak.ed.gov.ru>

The magazine is included into the List of Supreme Attestation Commission of leading reviewed scientific magazines and editions, in which basic scientific results of theses for application of science-degrees of Doctor and Candidate of Science shall be published and in the international abstract Web of Science database.

Manuscripts are to be submitted to the editorial office in electronic form (on CD or via E-mail: mit-journal@mail.ru)

Founder-Publisher: Research Centre "Marine Intelligent Technologies"

Registration Certificate: ПИ № ФС77-32382 of 09.06.2008, Эл № ФС72-3345

Address: Lotsmanskaya, 3, St. Petersburg

120121, Russian Federation

Phone/fax +7 (812) 513-04-51

e-mail: mit-journal@mail.ru

The journal is included into the list of periodicals recommended for publishing doctoral research results <http://vak.ed.gov.ru>

Printed in the Printing-House of Research Centre "Marine Intelligent Technologies"

Authors and advertisers are responsible for contents of information and advertisement materials as well as for use of information not liable to publication in open press. Reprinting is allowed only with permission of the editorial office.

Opinion of editorial staff and editorial board may not coincide with those of the authors of publications

Editorial ethics of the scientific journal «MARINE INTELLECTUAL TECHNOLOGIES»

EDITORIAL BOARD of the Scientific Journal «Marine Intellectual Technologies» bases its work, in particular, on the guidelines of the Committee of Publication Ethics, as well as on the practices of influential international journals and publishers.

<http://morintex.ru/en/nauchnyj-zhurnal/redakcionnaya-etika/>

Design: A.V. Antonov

Завьялов В.В., Ключева С.Ф. Математическая модель интерполяционного измерителя скорости	246
Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Трофимов М.В. Оценка характера траектории движения судна лингвистическими переменными	252
Завьялов В.В., Ключева С.Ф. Исследование параметров кластеризации в системах навигации по глубинам морского дна	258
Дыда А.А., Дыда П.А., Осокина Е.Б., Оськин Д.А. Адаптивная идентификация параметров моделей судна на основе алгоритма скоростного градиента	263
Гриняк В.М., Девятисильный А.С., Трофимов М.В. Визуальное представление параметров траектории безопасного движения судна	269
Короченцев В.И., Малашенко А.Е., Мироненко М.В., Потапенко А.А. Анализ и синтез акустических антенн в морском клине	274
Короченцев В.И., Губко Л.В., Ким А.В. Трехмерная неоднородная модель морской среды	280
Москаленко М.А., Акмайкин Д.А. Использование методов оптимальной интерполяции гидрометеорологических данных, для повышения точности прогнозов при перевозке грузов морем	285
УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	
Москаленко М.А., Рычкова В. Ф., Рычков Д. Ф. Состояние и перспективы обновления российского флота	290
Луговец А.А., Рычкова В.Ф., Рычков Д.Ф. Обоснование необходимости создания единой Транспортной системы на юге Приморского края	297
Кривец В.В., Войлошников М.В., Лентарев А.А. Экономическое понятие морских ресурсов и оценка их вклада в стоимость активов морского предприятия	303
Глушков С.В., Левченко Н.Г. Аспекты применения интеллектуальных информационных технологий в управлении на морском транспорте	310
Войлошников М.В., Кривец В.В., Гончарова Т.Г. Согласование значений оценки специализированного актива морского предприятия независимыми подходами на основе анализа предпочтительности подходов	318
Азовцев А.И., Маликова Т.Е., Филиппова А.И., Янченко А.А. Разработка инфологической модели базы данных предварительного информирования таможенных органов для судоходной компании	327
Луговец А.А., Затеякин С.М. Козволюция Дальневосточных морских портов России в Азиатско-Тихоокеанском регионе	333
Лентарев А.А., Левченко Н.Г. Перспективы использования интеллектуальных систем в управлении Северным морским путем	339
Луговец А.А., Фисенко А.И. Трансформация экономических интересов и перспективы развития морских портов Дальнего Востока	344
Лентарев А.А., Переверзин А.А. Обучение правилам безопасного мореплавания и охраны морской среды с учетом нормативов Полярного Кодекса	351

УДК 519.68:15:681.5

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ЛИНГВИСТИЧЕСКИМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

Гриняк Виктор Михайлович

кандидат технических наук, доцент
доцент кафедры Прикладной математики, механики,
управления и программного обеспечения
Дальневосточный федеральный университет
690091, Владивосток, ул. Суханова. 8
тел. 89046234235, e-мэйл: victor.grinyak@gmail.com

Девятисильный Александр Сергеевич

доктор технических наук, профессор
главный научный сотрудник
Институт автоматизации и процессов управления
Дальневосточного отделения Российской Академии Наук
690016, Владивосток, ул. Радио, 3
тел. 89146614992, e-мэйл: devyatis@iacp.dvo.ru

Трофимов Максим Валерьевич

старший преподаватель кафедры Информационных технологий и систем
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
190014, Владивосток, ул. Гоголя, 41
тел. 89147976451, e-мэйл: bugzex@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена вопросу построения обнаружителя манёвра движущегося объекта при его внешнем радиолокационном наблюдении. В работе предложен и исследован новый метод идентификации модели движения объекта на основе идей нечёткой логики. Известны классические методы для решения этой задачи (например, Байесовский подход). Для принятия решения о прямолинейном и равномерном, либо о маневренном движении объекта с той или иной вероятностью они требуют знания вероятностных характеристик инструментальных погрешностей измерений. При радиолокационном наблюдении судна эти характеристики могут быть известны не всегда. Разработанный метод основан на многомодельном сопровождении траектории наблюдаемого судна классическим α - β алгоритмом с различной степенью фильтрации. Результаты сопровождения обрабатываются машиной нечёткого вывода типа Мамдани, которая определяет степень интенсивности маневрирования судна. Новый подход характеризуется простотой и наглядностью, возможностью гибкой интуитивной настройки, низкой вычислительной сложностью. Полученная нечёткой системой вербальная обобщённая оценка интенсивности маневрирования может быть использована при принятии решений операторами береговых СУДС и судоводителями в целях обеспечения безопасности коллективного движения судов.

Ключевые слова: управление движением судов, безопасность судоходства, радиолокационное наблюдение, обнаружитель маневра, сопровождение траектории, нечеткая система типа Мамдани, лингвистическая переменная, принятие решения

THE ESTIMATION OF VESSELS MANEUVERABILITY USING THE LINGUISTIC VAREABLES

Grinyak Victor Mikhailovich

Associate professor, Cand. Sci. Tech.
Associate professor of department of Applied
mathematics, mechanics, control and software,
Far Eastern Federal University
8, Sukhanova st., 690091, Vladivostok, Russia
tel. 89046234235, e-mail: victor.grinyak@gmail.com

Devyatisilnyi Alexander Sergeevich

Professor, Dr. Sci. Tech.
Chief research scientist
Institute of automatics and control processes

of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
3, Radio st., 690016, Vladivostok, Russia
tel. 89146614992, e-mail: devyatis@iacp.dvo.ru

Trofimov Maxim Valerievich

Senior lecturer of department of Information systems and technologies
Vladivostok State University of Economics and Service
41, Gogolya, Vladivostok, 690014, Russian Federation
tel. 89147976451, e-mail: bugzex@yandex.ru

Abstract

The paper is devoted maneuver detector synthesis for radar observed motion vessel. The work proposed and investigated a new method for identifying the model of the object based on the fuzzy logic systems. Famous classical methods to solve this problem (e.g., Bayesian approach) are known. To decide on the straight and uniform or of maneuvering motion of an object with a certain probability, they require knowledge of probability characteristics of instrumental measurement errors. When radar sighting of the vessel, these characteristics can be known it is not always the case. The developed method is based on multi-model of the trajectory of the observed vessel, accompanied by classical α - β filter with varying degrees of filtration. The results processed Mamdani fuzzy logic system, which determines the degree of intensity of vessel maneuvering. The new approach is characterized by simplicity and clarity, the possibility of flexible intuitive setup, low computational complexity. The resulting fuzzy logic system of verbal maneuvering intensity rating can be used in decision-making coastal VTS operators and skippers to ensure the ships traffic safety.

Key words: vessel traffic control, marine safety, radar observing, maneuver detector, tracking, Mamdani fuzzy logic system, linguistic variable, decision making

Введение

Навигационная безопасность движения судов является актуальной проблемой эксплуатации водных транспортных путей. В зонах высокой интенсивности движения её решение возложено на особые информационные средства – бортовые и береговые системы управления движением судов (СУДС) [1-3]. Их задачи реализуются с использованием измерительной информации, доставляемой радаром и/или спутниковыми средствами траекторных измерений – транспондерами.

Обращение к автоматизированным средствам информационного обеспечения требует формализованных представлений понятия «опасная ситуация». Опыт судовождения показывает, что главным условием безопасного движения является недопущение чрезмерного сближения судов. При таком подходе к интерпретации опасности её критерием служит уменьшение расстояния между судами до некоторой величины, определяющей своего рода «зону навигационной безопасности» вокруг судна (корабельный домен) [4].

Маневрирующие и не маневрирующие объекты с точки зрения оценки безопасности имеют принципиальные различия [5-7]. Так, при внешнем наблюдении достоверный прогноз траектории маневрирующего объекта невозможен. Кроме того, если исходить из предположения, что маневрирование судна свидетельствует о попытке судоводителя придать движению безопасный характер и о контроле над ситуацией, то для маневрирующих объектов вербальный

уровень опасности заведомо ниже, чем для не маневрирующих. Это является побудительным мотивом разработки информационных моделей выработки тревожных сигналов, которые выделяли бы различные уровни опасности ситуации типа «очень опасная», «опасная», «почти безопасная» и т.п., учитывая при этом маневренные характеристики траектории движения судна.

Алгоритмы обнаружения маневра нередко реализуются на практике при решении задач сопровождения траектории и наблюдения [8]. Они используются для «переключения» параметров системы на участках маневрирования объекта, характеризующихся несоответствием между моделируемым и реальным движением. Вместе с тем, известные обнаружители маневра предназначены для автоматизированных систем и не удобны для поддержки вербального принятия решений операторами СУДС и судоводителями. Кроме того, синтез соответствующих систем требует знания вероятностных характеристик некоторых параметров, что бывает возможно не всегда.

В настоящей работе рассматривается новый подход к обнаружению маневра, связанный с классификацией наблюдаемых объектов по степени интенсивности маневрирования с помощью аппарата нечеткой логики. Получаемые таким образом обобщенные лингвистические представления о характере движения того или иного судна используются при распознавании опасных ситуаций бортовой или береговой СУДС.

1. Основные модельные представления и постановка задачи

Пусть движение объекта описывается следующими уравнениями

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

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, $\tau = t_{k+1} - t_k$.

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

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

Здесь $s(t_k) = (x(t_k), v_x(t_k), y(t_k), v_y(t_k))^T$ - вектор состояния объекта, включающий его координаты и их производные (Т - символ транспонирования), $q(t_k)$ - вектор не моделируемых параметров движения, $z(t_k)$ - вектор измерений, $r(t_k)$ - вектор погрешностей измерений. Имея в виду (1), матричные коэффициенты Φ и H системы уравнений (2) равны, соответственно

$$\Phi = \begin{pmatrix} 1 & \tau & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \tau \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

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

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

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

Пусть матрица K определяется схемой классического $\alpha - \beta$ алгоритма [9] и имеет вид

$$K = \begin{pmatrix} \alpha & 0 \\ \beta/\tau & 0 \\ 0 & \alpha \\ 0 & \beta/\tau \end{pmatrix}, \quad (4)$$

а коэффициенты α и β выбираются по следующему правилу:

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

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), так что $k = \overline{1, J}$. При увеличении J коэффициенты α и β асимптотически уменьшаются до 0. Поэтому алгоритм (3), реализованный с большим J будет успешно оценивать координаты и скорости объектов, движущихся прямолинейно и равномерно, а для маневрирующих объектов погрешность оценки вектора состояния будет довольно высокой.

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 $J, J-1, J-2, \dots$, и, наконец, только при двух измерениях (минимально возможном их количестве), то тогда в момент времени t_i будем иметь кортеж векторов оценки

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

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). 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), 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

$$\delta_J(t_i) = \{\|\delta z_2(t_i)\|, \|\delta z_3(t_i)\|, \|\delta z_4(t_i)\|, \dots, \|\delta z_J(t_i)\|\} \quad (6)$$

Элементы кортежа (6) являются, по сути, основным информативным признаком, характеризующим качество оценки вектора состояния алгоритмом (3-4) с тем или иным значением J . Задача об обнаружении маневра объекта и оценки его интенсивности сводится, таким образом, к анализу свойств кортежа (6).

3. Метод решения задачи

Перейдем от (6) к кортежу относительных величин

$$\Delta_J(t_i) = \{L_2(t_i), L_3(t_i), L_4(t_i), \dots, L_J(t_i)\}, \quad (7)$$

где $L_j(t_i) = \frac{\|\delta z_j(t_i)\|}{\sigma}$, σ - величина, характеризующая среднеквадратичное отклонение погрешности измерений $r(t_k)$ в системе (2).

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

$$\begin{aligned} \mu_g(u) &= 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_1(u - c_1))}, \\ \mu_b(u) &= \frac{1}{1 + \exp(-a_2(u - c_2))}, \end{aligned} \quad (8)$$

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

Введём лингвистическую переменную $P(t_j)$ «Характер движения судна в момент времени t_j » с терминами «high-high-maneuverable» (hhm, «очень высокоманевренное»), «high-maneuverable» (hm, «высокоманевренное»), «low-maneuverable» (lm, «низкоманевренное») и «low-low-maneuverable» (llm, «очень низкоманевренное»). Пусть термины имеют следующие функции принадлежности типа «кластер», определённые на универсальном множестве $v \in [2, J]$:

$$\begin{aligned} \mu_{hhm}(v) &= 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_3(v - c_3))}, \\ \mu_{hm}(v) &= \exp\left(-\frac{(v - c_4)^2}{a_4}\right), \\ \mu_{lm}(v) &= \exp\left(-\frac{(v - c_5)^2}{a_5}\right), \\ \mu_{llm}(v) &= \frac{1}{1 + \exp(-a_6(v - c_6))}, \end{aligned} \quad (9)$$

где $a_3 - a_6, c_3 - c_6$ - настраиваемые параметры.

Пусть переменные $Q_j(t_j)$ обрабатываются машиной нечеткого вывода типа Мамдани [10], на вход которой подается кортеж величин (7), а на выходе формируется числовое значение $m(t_j)$ - вещественное число, характеризующее степень интенсивности маневрирования судна. Машина нечеткого вывода работает согласно системе правил, представленной в таблице 1.

Таблица 1

Система правил машины нечеткого вывода типа Мамдани

№	$Q_2(t_j)$	$Q_3(t_j)$...	$Q_{j-1}(t_j)$	$Q_j(t_j)$	$P(t_j)$
1	g	g	...	g	g	P_1
2	g	g		g	b	P_2
...
$J-1$	g	b	...	b	b	P_{J-1}
J	b	b	...	b	b	P_J

Настройка описанной системы состоит в задании максимального количества измерений J , параметров функций принадлежности $a_1, \dots, a_6, c_1, \dots, c_6$, значений лингвистической переменной P_j и величины σ , характеризующей погрешность измерений.

4. Результаты численного моделирования

При моделировании задачи было принято, что информационной базой СУДС является двухкоординатный радар кругового обзора с периодом обращения 3с и разрешением по углу и дальности, соответственно, 0.03° и 6 м. Максимальное количество измерений было принято равным $J = 10$. Принятые значения лингвистической переменной P_j приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения лингвистической переменной P_j

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_i	ll	ll	l	l	l	h	h	h	hh	hh
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m

Заданные значения функций принадлежности (8) и (9) приведены на рис. 1 и 2 (в данном случае параметры задаются экспертом, система не подвергается настройке на обучающей выборке).

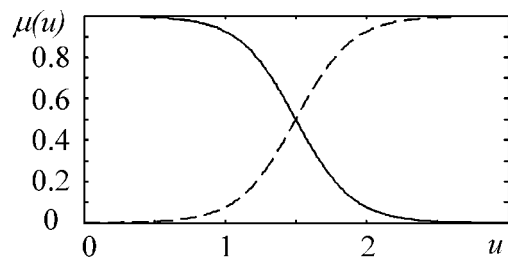


Рис. 1. Функции принадлежности термов «good» (сплошная) и «bad» (пунктир)

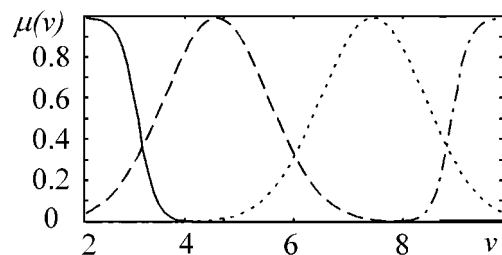


Рис. 2. Функции принадлежности термов «hhm» (сплошная), «hm» (пунктир), «lm» (точка) и «llm» (точка-пунктир)

На рис. 3 показана моделируемая траектория движения судна. Вначале судно движется прямолинейно и равномерно, а затем совершает манёвр – поворот с радиусом 300м.

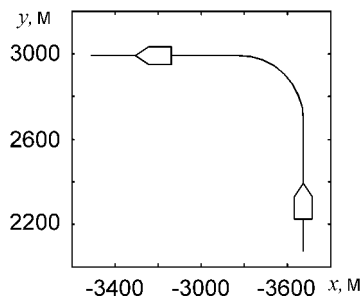


Рис. 3. Траектория движения судна

На рис. 4 показан результат решения задачи оценки степени интенсивности маневрирования для судна, движущегося по изображенной траектории со скоростью 10 м/с.

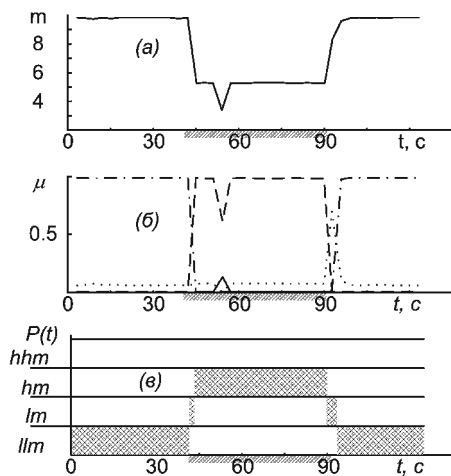


Рис. 4. Работа алгоритма нечеткой оценки степени маневрирования судна

Здесь t - время, прошедшее от начала работы алгоритма, m - определённое по мере движения судна значение степени интенсивности его маневрирования (рис. 4а). m близко к максимальному значению (около 10) на прямолинейном участке траектории и уменьшается до значений $\approx 3.5 - 5$ при повороте.

Рис. 4б показывает значения функций принадлежности термов « hhm » (сплошная), « hm » (пунктир), « lm » (точки) и « llm » (точка-пунктир) по мере движения судна. Так, на участке $[0, 40]$ секунд движение с наивысшей степенью оценено как «очень низкоманевренное», на участке $(40, 43)$ – как «низкоманевренное» и т.д. (рис. 4б). Соответствующие термы с максимальными значениями функции принадлежности приведены на рис. 4в, который иллюстрирует обобщённую вербальную лингвистическую интерпретацию траекторных свойств движения.

Заключение

В работе дана концепция решения задачи оценки интенсивности маневрирования в лингвистических переменных. Рассмотрена нечеткая модель классификации характера движения судна, ориентированная на реализацию в качестве обнаружителя маневра. Предложен нечеткий алгоритм лингвистической оценки степени маневра, основанный на сопровождении траектории судна классическим $\alpha - \beta$ алгоритмом с различной степенью фильтрации и обработке данных машиной нечеткого вывода типа Мамдани. Приведён модельный пример, подтверждающий эффективность предлагаемой методики.

Литература

1. Атаманюк, В.А. Комплексные системы освещения и контроля морской обстановки на базе СУДС производства ЗАО «Транзас» / В.А. Атаманюк, Ю.В. Баглюк, Е.В. Комраков, Р.Н. Модеев, А.Н. Ратнер // Морской вестник. – 2008. - №2. – С. 61-63.
2. Маринич, А.Н. Береговые системы управления движением судов / А.Н. Маринич и др. - Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского гос. технического ун-та, 2007.
3. Huges, С.Т. When is a VTS not a VTS / С.Т. Huges // The J. of Navigation. - 2009. - №3. - p. 439-442.
4. Pietrzykowski, Z. The Ship Domain – a Criterion of Navigational Safety Assessment in an Open Sea Area / Z. Pietrzykowski, J. Uriasz // The J. of Navigation. - 2009. - Vol. 62. №1. - p. 93-108.
5. Девятисильный, А.С. Прогнозирование опасных ситуаций при управлении движением на море / А.С. Девятисильный, В.М. Гриняк // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2004. - №3. - С. 127-136.
6. Гриняк, В.М. Нечёткая система распознавания опасного сближения морских судов / В.М. Гриняк // Транспорт: наука, техника, управление. - 2014. - №8. – С. 6-10.
7. 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 // НТИ. Сер. 2. Информационные процессы и системы. - 2004. - №9.
8. Бакулев, П.А. Многомодельный алгоритм сопровождения траектории маневрирующей цели по данным обзорной РЛС / П.А. Бакулев, М.И. Сычев, Нгуен Чонг Лыу // Радиотехника. – 2004. - №1.
9. Benedict, T.R. Synthesis of an optimal set of radar track-while-scan smoothing equations / T.R. Benedict, G.R. Bordner // IRE Trans, on AC-1, July 1962, p. 27-32.

10. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 224с.

References

1. Atamanyuk, V.A., Baglyuk, Yu.V., Komrakov, E.V., Modeev R.N., Ratner A.N. (2008). Kompleksnyye sistemy osveshcheniya i kontrolya morskoy obstanovki na baze SUDS proizvodstva ZAO «Tranzas». Morskoy vestnik, 2, 61-63.
2. Marinich, A.N. Beregovye sistemy upravleniya dvizheniem sudov. Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2007.
3. Huges, S.T. (2008). When is a VTS not a VTS. The J. of Navigation. 62(3), 439-442.
4. Pietrzykowski, Z., Uriasz J. (2009). The Ship Domain – a Criterion of Navigational Safety Assessment in an Open Sea Area. The J. of Navigation. 62(1). 93-108.
5. Grinyak, V.M., Devyatisil'nyi, A.S. (2004). Prediction of emergency situations in marine traffic control. J. of Computer and Systems Sciences International. 43(3). 448-457.
6. Grinyak, V.M. (2014). Nechetkaya sistema raspoznavaniya opasnogo sblizheniya morskikh sudov. Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. 8. 6-10.
7. Grinyak, V.M., Dorozhko, V.M., Loskutov N.V., Kirichenko O.V. (2004). Modeli obespecheniya bezopasnosti na morskikh akvatoriyakh v usloviyakh vysokoy intensivnosti dvizheniya. NTI. Ser. 2. Informatsionnyye protsessy i sistemy. 9.
8. Bakulev, P.A., Sychev M.I., Nguen Chong Lyu. (2004). Mnogomodel'nyy algoritm soprovozhdeniya traektorii manevriruyushchey tseli po dannym obzornoy RLS. Radiotekhnika. 1.
9. Benedict, T.R., Bordner G.R. (1962). Synthesis of an optimal set of radar track-while-scan smoothing equations. IRE Trans, on AC-1. 27-32.
10. Kруглов, В.В., Дли, М.И., Голунов, Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные. Moscow. Fizmatlit, 2001. 224p.