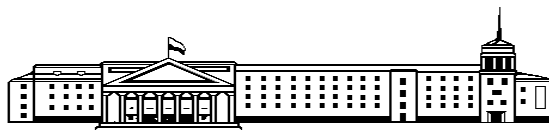


ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ»



# ЖУРНАЛ УНИВЕРСИТЕТА ВОДНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

## Выпуск 1 (13)

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Барышников С. О.  
(главный редактор)  
Решняк В. И.  
(ответственный  
редактор)  
Гладков Г. Л.  
Гарибин П. А.  
Колосов М. А.  
Безюков О. К.  
Иванченко А. А.  
Веселков В. В.  
Сикарев А. А.  
Пантина Т. А.  
Буянова Л. Н.

Скобелева И. П.  
Каратаев О. Г.  
Курошева Г. М.  
Голоскоков Д. П.  
Нырков А. П.  
Зубрилов С. П.  
Попов Б. Н.  
Лиходей О. А.  
Ушакова Г. В.  
Некрасов С. Н.  
Климов Е. Н.  
Посашкова С. Е.  
(ответственный  
секретарь)

Журнал университета водных коммуникаций. — СПб.: СПГУВК, 2012. — 252 с. (Вып. 1).

ISSN 2073-6169

Журнал является научно-образовательным периодическим изданием, зарегистрированным Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия (Свидетельство о регистрации средства массовой информации от 22 февраля 2008 г. ПИ № ФС77-312188).

В Журнале публикуются:

- результаты диссертационных работ, теоретических и экспериментальных исследований по направлениям научной деятельности отраслевых вузов и научно-исследовательских институтов;
- статьи методологического и методического характера по актуальным проблемам развития отечественного и зарубежного водного транспорта;
- обзорные материалы научных конференций, семинаров, совещаний по проблемам развития водного транспорта;
- материалы в области повышения эффективности образовательного процесса вуза;
- сообщения и статьи к юбилейным датам и знаменательным событиям университета и его ведущих ученых.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВОДНЫЕ ПУТИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ И ПОРТЫ</b> .....	8
<i>Матросов А. В.</i> Расчет балочных перекрытий численно-аналитическим методом .....	8
<i>Гладков Г. Л., Ребковец А. В.</i> Развитие навигационного оборудования внутренних водных путей .....	16
<b>ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА</b> .....	28
<i>Щербакова О. В., Романченко М. К.</i> Использование системы виброзащиты с распределенными параметрами .....	28
<i>Гора Г. А.</i> Построение локальной сети для диспетчерской службы управления энергообъектами .....	31
<i>Цветков Ю. Н., Третьяков Д. В.</i> Прогнозирование долговечности элементов судовых движителей при изнашивании в условиях кавитационного воздействия нерегулярной интенсивности .....	35
<i>Коптев А. В., Мартыанов В. В.</i> Расчет характеристик колебаний судового валопровода прогулочного пассажирского теплохода типа «Фонтанка» (проект № Р118) .....	43
<i>Ракицкий Б. В., Боровикова И. А., Чистяков А. Ю.</i> Анализ термодинамических циклов судовых ядерных энергетических установок .....	46
<i>Безюков О. К., Жуков В. А.</i> Комплексная оптимизация параметров охлаждения судовых энергетических установок .....	51
<i>Ерофеев В. Л., Ерофеева Е. В.</i> Теория и практика проведения энергетических обследований на водном транспорте .....	61
<b>СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ</b> .....	67
<i>Приходько В. М., Ивлев М. Л., Приходько И. В.</i> Методика прогнозирования электропотребления судоремонтного предприятия .....	67
<i>Никифоров В. Г., Бурков А. В.</i> Тенденции развития портов и флота европейского внутреннего водного транспорта .....	73
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	82
<i>Зубарев Ю. Я., Кохно А. Г.</i> Синтез многофакторных планов эвристического эксперимента для оптимизации судовых автоматизированных систем .....	82
<i>Гайнуллин А. С., Хвастунов А. С.</i> Идентификация процессов переработки грузов на основе полиномиальных моделей .....	85
<i>Бабурин В. А., Фахми Ш. С., Костикова Е. В.</i> Разработка архитектуры видеоинформационной системы кодирования и декодирования на основе пространственно-рекурсивного метода .....	89
<i>Каторин Ю. Ф., Коротков В. В., Нырков А. П.</i> Защищенность информации в каналах передачи данных в береговых сетях автоматизированной идентификационной системы .....	98
<i>Моргунов К. К., Глуценко Л. А.</i> Математическая модель оценки защищенности информации в лазерных линиях связи .....	103
<i>Барщевский Е. Г.</i> Задача управления судовыми автоматизированными системами .....	109
<b>СУДОВОЖДЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ</b> .....	112
<i>Сикарев А. А., Каретников В. В., Андрюшечкин Ю. Н.</i> Основные аспекты конструктивного подхода к компенсации зон разрыва дифференциальных полей СВ-диапазона на внутренних водных путях России .....	112
<i>Романов А. В.</i> Структурная и параметрическая идентификация математической модели водоизмещающих судов .....	115

<i>Гриняк В. М., Трофимов М. В.</i> Нечеткое сопровождение траектории движения судна .....	119
<i>Зуев В. А., Семенова Н. М.</i> Модельные испытания ледокольных платформ на воздушной подушке на тихой воде .....	125
<i>Чиркова М. М., Поселенов Е. Н.</i> Выбор критерия для параметрической оптимизации алгоритма управления объектом в условиях быстроменяющейся внешней среды .....	132
<i>Некрасов С. Н., Старов М. С.</i> Влияние погрешностей в информации автоматических идентификационных систем на навигационные риски столкновения судов в море .....	136
<b>ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b> .....	141
<i>Туркин В. А., Шацкова Ю. В.</i> Моделирование процессов возникновения развития катастроф на нефтеналивных терминалах .....	141
<i>Кукуй А. Л., Гарибин П. А.</i> Геоэкологические проблемы строительства и технической эксплуатации водно-транспортных гидротехнических сооружений .....	145
<i>Решняк В. И.</i> Организация очистки нефтесодержащей подсланевой воды при эксплуатации судов .....	150
<i>Курников А. С., Мизгирев Д. С.</i> Вопросы проектирования современных судовых систем очистки сточных вод .....	154
<b>ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ</b> .....	165
<i>Лаврентьева Е. А., Корельская Л. Н.</i> Понятийная сущность эффективного управления транспортно-экспедиционной деятельностью на водном транспорте .....	165
<i>Алексеева Е. К., Алексеев С. А.</i> Задачи квалиметрии прогноза и диагностики качества тренажерной подготовки специалистов по судовождению .....	172
<i>Ботнарюк М. В.</i> Повышение конкурентоспособности морского транспортного узла на основе кластеризации .....	179
<i>Лепехина Ю. А.</i> Анализ деятельности перегрузочного комплекса ОАО «Новороссийский судоремонтный завод» на российском рынке стивидорных услуг .....	185
<i>Палкина Е. С.</i> Методические основы внедрения организационно-экономического механизма управления стоимостью транспортной компании .....	192
<i>Тимченко Т. Н.</i> Концепция формирования системы корпоративного управления на морском транспорте .....	198
<i>Королева Е. А., Курашева А. В.</i> Оценка стратегии ценообразования на услуги порта как элемента транспортно-логистической системы .....	203
<i>Эглит Я. Я., Эглите К. Я.</i> Диалоговая система управления перевозкой скоропортящихся грузов .....	208
<i>Кононова Г. А., Григорян М. Г.</i> Инновационные изменения в управлении транспортными предприятиями .....	212
<i>Лукинский В. В., Малевич Ю. В.</i> Проблемы оценки эффективности функционирования транспортно-логистических центров .....	216
<i>Поваров Г. В.</i> Логистический подход к функционированию транспортного комплекса .....	221
<i>Буянова Л. Н., Лазарев А. Н.</i> Инновации как фактор повышения конкурентоспособности морского флота .....	224
<i>Курошева Г. М., Самсонов А. А.</i> Методы оценки экономической эффективности системы управления воспроизводством кадрового потенциала транспортного комплекса .....	230
<i>Пантина Т. А., Федоров М. Э.</i> Планирование затрат федеральных бюджетных учреждений на выполнение государственных работ по содержанию внутренних водных путей и судоходных гидротехнических сооружений .....	237
<i>Зайцев А. А.</i> Транспортная инфраструктура для мультимодальных перевозок в Северо-Западном федеральном округе .....	242
<i>Булов А. А., Воронцова Д. Р.</i> Развитие перевозок и конкурентоспособности судов река–море плавания нового поколения .....	245

УДК 519.68:15:681.5

В. М. Гриняк,  
канд. техн. наук, доцент  
ИАПУ ДВО РАН;М. В. Трофимов,  
ИАПУ ДВО РАН

## НЕЧЕТКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ СУДНА

## TARGET TRACKING WITH FUZZY LOGIC MANEUVER DETECTOR

Рассматривается задача сопровождения траектории объекта в современных системах управления движением на море при обработке навигационных данных двухкоординатной РЛС кругового обзора. Обсуждается проблема устойчивости сопровождения малоразмерных маневрирующих судов по отношению к срыву. Предлагается модельная интерпретация традиционных алгоритмов оптимальной фильтрации, основанная на детекции маневра судна системой нечеткого вывода типа Сугено, повышающая устойчивость сопровождения и уменьшающая вероятность срыва.

*Target tracking problem for vessel traffic systems with 2D radars is discussed. Conditions of small high-maneuver vessels tracking crash are shown. Algorithm for robust track-while-scan tracking based on Sugeno fuzzy logic maneuver detector is considered.*

*Ключевые слова: управление движением судов, сопровождение траектории, радиолокационные измерения, нечеткая система типа Сугено, оценка траектории движения.*

*Key words: vessel traffic system, target tracking, radar measurements, Sugeno fuzzy logic system, trace estimation.*

**Введение**

Современные береговые системы управления движением судов (СУДС) представляют собой наукоемкие и сложные в техническом и организационном отношении предприятия [5, с. 93–96; 8, с. 27–29; 9; 11, с. 74–81]. В настоящее время под такими системами принято понимать совокупность средств обнаружения, измерения, передачи и обработки данных, анализа, интерпретации, визуализации информации и выработки управляющих решений.

Согласно современным представлениям о СУДС, действующих на базе РЛС кругового обзора, основной технологический цикл решения ими навигационных задач последовательно включает в себя [2, с. 48–53; 3, с. 114–128; 7]:

- оцифровку измерительной информации РЛС и «введение» ее в память ЭВМ;
- обнаружение, захват и сопровождение объектов;
- наблюдение объектов и прогнозирование опасных ситуаций;
- визуализацию навигационной информации.

Основной проблемой, возникающей при сопровождении объекта (решению именно этой задачи посвящена настоящая работа), является обеспечение устойчивости этого процесса по отношению к срыву, основной причиной которого является интенсивное маневрирование объектов. В настоящей работе рассматривается модель задачи сопровождения, основанная на адаптации традиционных алгоритмов оптимальной фильтрации к модельным представлениям современной теории нечетких систем, уменьшающая вероятность срыва маломаневренных высокоманевренных объектов.

**Модельные представления  
и постановка задачи**

Рассмотрим следующую модель движения объекта

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

здесь  $k$  — идентификатор (порядковый номер) момента времени;  $x(k)$ ,  $y(k)$  — координаты объекта в момент времени  $t_k$ ;  $v_x(k)$ ,

$v_y(k)$  — компоненты вектора скорости объекта,  $q_x(k), q_y(k)$  — компоненты вектора случайных немоделируемых 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»

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= \Phi x_k + q_k, \\ z_k &= Hx_k + r_k. \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь  $x_k = (x(k), v_x(k), y(k), v_y(k))^T$  — вектор состояния объекта, включающий его координаты и их производные ( $T$  — символ транспонирования),  $q_k$  — вектор немоделируемых параметров,  $z_k$  — вектор измерений,  $r_k$  — вектор погрешностей измерений. Имея в виду (1), матричные коэффициенты  $\Phi$  и  $H$  системы уравнений (2) равны соответственно

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

Модель оценивания вектора состояния  $x_k$  по измерениям  $z_k$  может быть представлена следующим уравнением:

$$\hat{x}_{k+1} = \Phi \hat{x}_k + K(z_{k+1} - H\Phi \hat{x}_k), \quad (3)$$

здесь  $\hat{x}_k$  — оценка вектора состояния,  $K$  — матричный коэффициент.

Известно множество подходов к выбору матрицы  $K$ . В настоящей работе выбор сделан в пользу популярного в практических приложениях  $\alpha - \beta$  алгоритма, основное достоинство которого — низкие требования к вычислительным ресурсам [10, с. 792–797]. В этом алгоритме матрица  $K$  имеет вид

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

Сходимость алгоритма обеспечивается выполнением условия  $0 < \alpha \leq 1, 0 < \beta \leq 1$ . Коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  выбираются, исходя из требований чувствительности алгоритма к немоделируемым маневрам судна  $q_k$  и ошибкам измерений  $r_k$ . Показано [12], что соотно-

шение коэффициентов  $\beta = \alpha^2/(2 - \alpha)$  является оптимальным.

Примем, что коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  в формуле (4) 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  $x_k$  итерационной процедурой (3), так что  $k = \overline{1, J}$ . При увеличении  $J$  коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  асимптотически уменьшаются до 0, поэтому алгоритм (3), реализованный с большим  $J$ , будет успешно сопровождать объекты, движущиеся прямолинейно и равномерно, но он не сможет быть использован для сопровождения маневрирующих объектов.

Пусть  $\hat{x}_i^{(J)}$  — 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

$$\hat{X}_i^{(J)} = \{\hat{x}_i^{(2)}, \hat{x}_i^{(3)}, \hat{x}_i^{(4)}, \dots, \hat{x}_i^{(J)}\}. \quad (5)$$

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

### Метод решения задачи

Введем вектор  $\delta z_{k+1} = z_{k+1} - H\hat{x}_{k+1}$ , характеризующий невязку измерения при оценке вектора состояния уравнением (3). Пусть  $\|\delta z\|_i^{(J)}$  — евклидова норма вектора невязки  $\delta z_{k+1}$ , полученного в момент времени  $t_i$  при реализации итерационного алгоритма (3), обрабатывающего  $J$  последних измерений. Таким образом, при сопровождении объекта в каждый момент времени  $t_i$  наряду с кортежем векторов оценки (5) будем иметь кортеж норм векторов невязок

$$\delta_i^{(J)} = \{\|\delta z\|_i^{(2)}, \|\delta z\|_i^{(3)}, \|\delta z\|_i^{(4)}, \dots, \|\delta z\|_i^{(J)}\}. \quad (6)$$

Элементы кортежа (6) являются по сути основным информативным признаком, характеризующим качество сопровождения объекта алгоритмом (3)–(4) с тем или иным значением  $J$ . Для анализа качества сопровождения целесообразно перейти к кортежу относительных величин

$$\Delta_i^{(j)} = \{L_i^{(2)}, L_i^{(3)}, L_i^{(4)}, \dots, L_i^{(j)}\}, \quad (7)$$

где  $L_i^{(j)} = \frac{\|\delta z_i^{(j)}\|}{\sigma}$ ,  $\sigma$  — величина, характеризующая среднеквадратичное отклонение погрешности измерений  $r_k$  в системе (2).

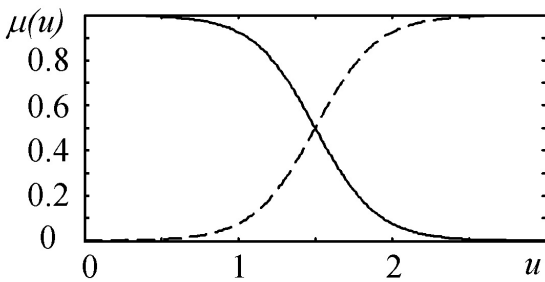


Рис. 1. Функции принадлежности термов — «хорошее» (сплошная линия) и «плохое» (пунктир)

Введем лингвистическую переменную  $Q_i^{(j)}$  «качество сопровождения алгоритмов (3)–(4) в момент времени  $t_i$  по  $j$  последним измерениям» с терминами «хорошее» и «плохое». Пусть термы имеют следующие функции

принадлежности, определенные на универсальном множестве  $u \in [0, 3]$  (рис. 1):

$$\mu_{\text{хорошее}}(u) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a(u - c))},$$

$$\mu_{\text{плохое}}(u) = \frac{1}{1 + \exp(-a(u - c))}.$$

Пусть переменные  $Q_i^{(j)}$  обрабатываются машиной нечеткого вывода Сугено [6], на вход которой подается кортеж величин (7), а на выходе формируется числовое значение  $m_i$  — номер вектора состояния, выбираемого из кортежа (5). Машина нечеткого вывода работает согласно системе правил, представленной в табл. 1.

Работу нечеткого алгоритма сопровождения траектории можно, таким образом, окончательно представить схемой, показанной на рис. 2. Здесь  $L_i^{(j)}$  — величины кортежа (7) в момент времени  $t_i$  (вход), если  $L_i^{(j)} > 3$ , то вход принимается равным 3;  $m_i$  — определенный системой Сугено  $S$  в момент времени  $t_i$  номер элемента кортежа (5). Из величин  $m_i$  и  $m_{i-1}$  выбирается максимальное значение, которое и принимается за окончательное (выход). Если  $m$  — не целое число, то оно округляется до ближайшего целого. Выбор максимального из двух соседних  $m_i$  необходим для повышения устойчивости работы системы при больших ошибках измерений (для фильтрации случайных выбросов).

Таблица 1

**Система правил машины нечеткого вывода Сугено**

№	$Q_i^{(2)}$	$Q_i^{(3)}$	$Q_i^{(4)}$	...	$Q_i^{(j-1)}$	$Q_i^{(j-1)}$	$Q_i^{(j)}$	$m$
1	Хорошее	Хорошее	Хорошее	...	Хорошее	Хорошее	Хорошее	$J$
2	Хорошее	Хорошее	Хорошее	...	Хорошее	Хорошее	Плохое	$J - 1$
3	Хорошее	Хорошее	Хорошее	...	Хорошее	Плохое	Плохое	$J - 2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$J - 1$	Хорошее	Хорошее	Плохое	...	Плохое	Плохое	Плохое	3
$J$	Хорошее	Плохое	Плохое	...	Плохое	Плохое	Плохое	2
$J + 1$	Плохое	Плохое	Плохое	...	Плохое	Плохое	Плохое	2

Настройка описанной системы состоит в задании максимального количества измерений  $J$ , параметров функций принадлежности

$a$ ,  $c$  и величины  $\sigma$ , характеризующей погрешность измерений.

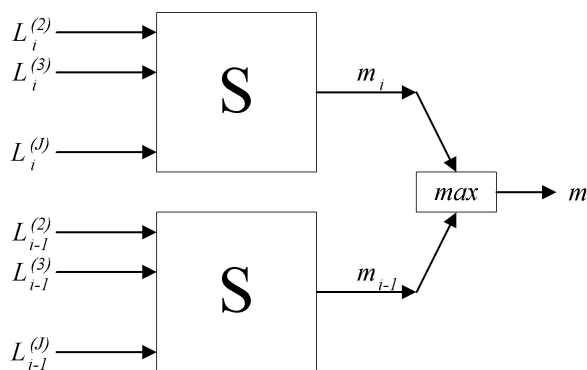


Рис. 2. Схема работы нечеткого алгоритма сопровождения траектории

### Результаты численного моделирования

При моделировании задачи было принято, что информационной базой СУДС является двухкоординатный радар кругового обзора (например, типа Raytheon) с периодом обращения 3 с и разрешением по углу и дальности соответственно  $\Delta\varphi = 0,03^\circ$  и  $\Delta r = 6$  м.

Максимальное количество измерений было принято равным  $J = 10$ . Параметры функций принадлежности задавались равными  $a = 5$ ,  $c = 1,5$  (в данном случае параметры задаются экспертом, система не подвергается настройке на обучающей выборке).

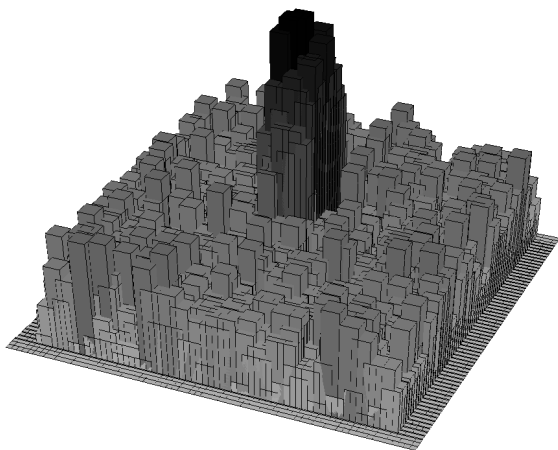


Рис. 3. Отраженный радиолокационный эхо-сигнал судна на фоне эхо-сигналов подстилающей поверхности (моря)

Величину  $\sigma$  трудно задать априорно. Суть проблемы в том, что радиолокационный образ судна при высоком разрешении радара представляет собой не одиночное зна-

чение амплитуды, а целую матрицу таких амплитуд, сложно распределенных и зависящих от ориентации судна и расположения на нем локальных источников отраженного эхо-сигнала [4, с. 98–113] (рис. 3). Соответственно и вероятностные характеристики ошибок измерений  $r_k$  можно априорно оценить только приблизительно, с точностью до порядка величин. Поэтому величину  $\sigma$  предлагается приблизительно оценивать по следующей формуле:

$$\hat{\sigma}_k = \frac{\sum_{i=1}^k \|\delta z_i^{(2)}\|}{k},$$

где  $k$  — порядковый номер момента времени, прошедшего от начала сопровождения судна.

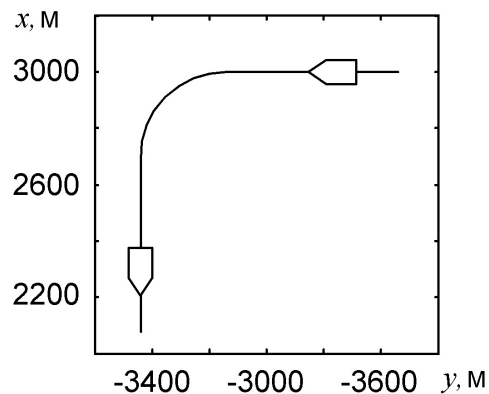


Рис. 4. Траектория движения судна

На рис. 4 показана моделируемая траектория движения судна. Вначале судно движется прямолинейно и равномерно, а затем совершает маневр — поворот с радиусом 300 м (такие кинематические свойства вполне характерны для современных маломерных судов).

На рис. 5 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). Здесь  $t$  — время, прошедшее от начала сопровождения траектории,  $\delta$  — длина вектора погрешности оценивания положения судна по мере его движения (рис. 5, а, б). В данном случае величина  $\delta$  дает представление о ширине строба, необходимого для устойчивого сопровождения объекта. Так, при скорости судна 10 м/с минимально необходи-



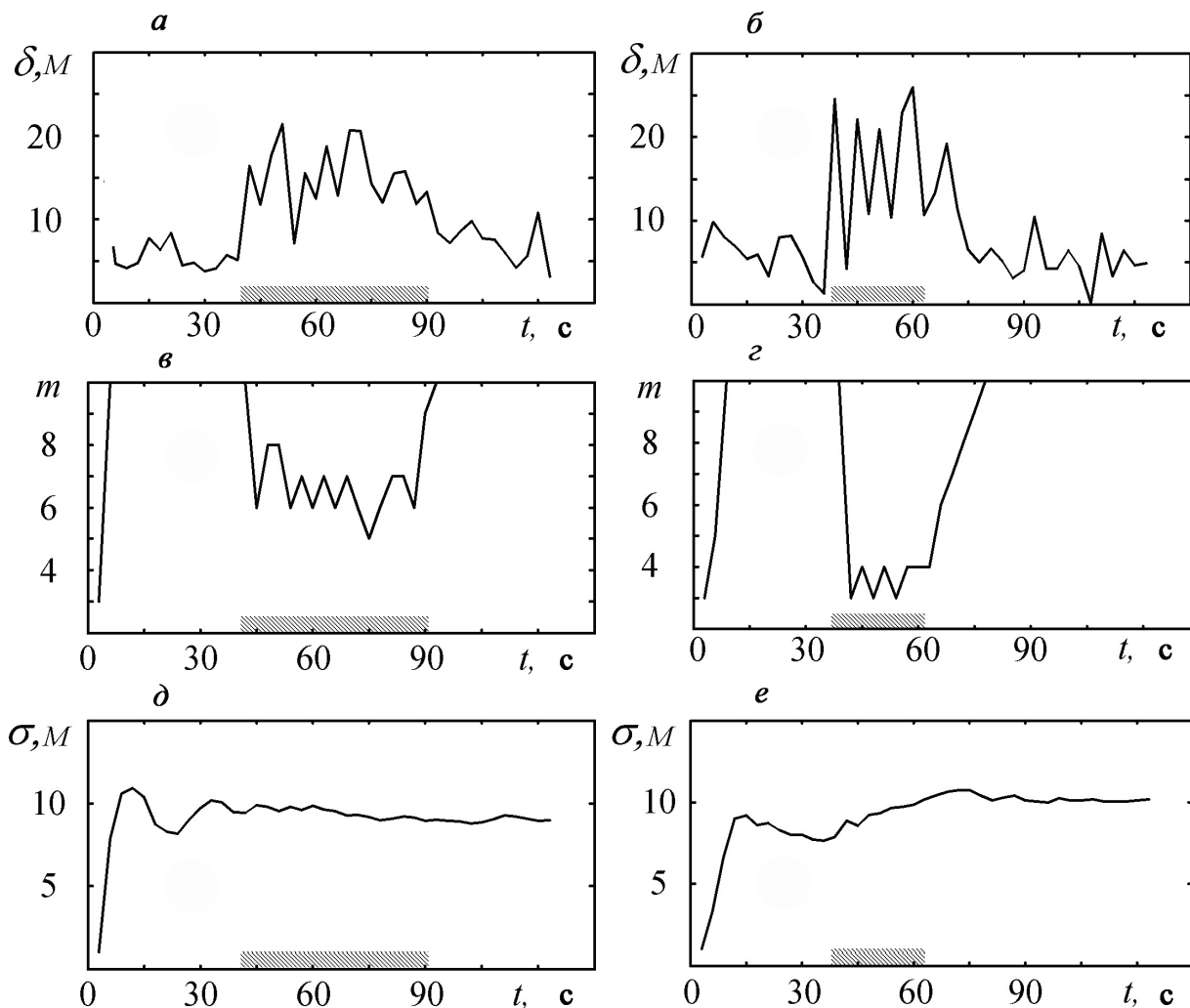


Рис. 5. Работа алгоритма сопровождения; штрихами по оси абсцисс показан участок маневрирования судна

мый радиус строга для него  $\approx 22$  м, а при скорости судна 20 м/с минимально необходимый радиус строга  $\approx 27$  м. Такие значения лишь незначительно превышают характерные геометрические размеры маломерного судна, что дает возможность устойчиво сопровождать его даже в насыщенном судопотоке.

На рис. 5, в, г показано значение величины  $m$  по мере движения судна. Видно, что на прямолинейной траектории алгоритм работает при максимальном  $m = 10$ , а при маневре количество измерений, участвующих в оценке параметров движения судна, уменьшается до 5–6 (рис. 5, в) и 3–4 (рис. 5, г). Алгоритм быстро реагирует на изменение характера движения судна (начало и окончание маневрирования).

Рисунки 5, д, е дают значение оценки величины  $\sigma$ , используемой при работе алгоритма. Видно, что по прошествии приблизительно 1 мин (что соответствует 20 измерениям) значение  $\sigma$  становится достаточно стабильным.

### Заключение

При решении задачи сопровождения для насыщенных потоков маломерных маневрирующих судов повышается вероятность срыва сопровождения и соответственно нарушения оптимальных режимов работы СУДС при обеспечении безопасности коллективного движения. Предложенная в работе нечеткая модельная интерпретация задачи сопровождения судна позволяет, как показывают ре-

зультаты эксперимента, существенно снизить вероятность срыва сопровождения стробом небольшого радиуса.

Результаты работы ориентированы на автоматизацию и расширение функций современных систем управления движением судов.

### Список литературы

1. *Гриняк В. М.* Идентификация опасных ситуаций в системах управления движением судов / В. М. Гриняк // Территория новых возможностей. Вестник ВГУЭС. — 2010. — № 4. — С. 197–207.
2. Система экспертных оценок состояния безопасности на морских акваториях / А. С. Девятисильный [и др.] // Информационные технологии. — 2004. — № 11.
3. *Девятисильный А. С.* Информационные модели систем управления безопасностью движения в насыщенных судопотоках / А. С. Девятисильный, В. М. Дорожко, Н. В. Лоскутов // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2007. — № 1.
4. *Дорожко В. М.* Имитационная модель радиолокационного эхо-сигнала / В. М. Дорожко // Дальневосточный математический журнал. — 2001. — № 1.
5. *Каретников В. В.* Совершенствование системы управления судами с использованием автоматизированных идентификационных систем на внутренних водных путях / В. В. Каретников, А. А. Сикарев // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 3.
6. *Круглов В. В.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунов. — М.: Физматлит, 2001. — 224 с.
7. *Кузьмин С. З.* Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин. — М.: Сов. радио, 1974. — 431 с.
8. *Модеев Р. Н.* СУДС — ядро информационной системы порта / Р. Н. Модеев // Морские порты. — 2010. — № 8.
9. ОАО Норфес [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: <http://www.norfes.ru/>
10. *Тихонов В. И.* Квазиоптимальное слежение за маневрирующими объектами / В. И. Тихонов, И. С. Теплинский // Радиотехника и электроника. — 1989. — Т. 34, № 4.
11. *Юдин Ю. И.* Механизм предвидения в организационно-технических системах управления судовыми ключевыми операциями / Ю. И. Юдин // Наука и техника транспорта. — 2007. — № 1.
12. *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.

Научное издание

**Журнал университета водных коммуникаций**  
**Выпуск 1 (13)**

**2012 год**

Материалы публикуются в авторской редакции  
Выпускающий редактор *Е. А. Монахова*  
Дизайнер *С. В. Курбатов*  
Технический редактор *М. Н. Евсюткина*  
Набор *Ю. А. Курицына*  
Корректор *О. В. Миняева*

Подписано в печать с оригинал-макета 26.03.12. Формат 60х90/8  
Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 29,29. Тираж 500 экз. Заказ № 38  
Отпечатано в типографии ФГОУ ВПО СПГУВК  
198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2