

eLIBRARY.RU - Нечеткая система экспертных оценок характера движения судна - Mozilla Firefox

Файл Правка Вид Журнал Закладки Инструменты Справка

7.2104.2011 «Раз...» Хранилище ци... Главная страни... PDFOnline Onlin... doc to pdf - Poi... Online PDF Conv... eLIBRARY.RU - Н... +

elibrary.ru/item.asp?id=17889890

Часто посещаемые Начальная страница Коллекция веб-фраг... Рекомендуемые узлы

Яндекс Поискать в Яндексе Найти 67 mariya-alf Владивосток USD 30,78 JPY 38,80

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА LIBRARY.RU

Поиск в библиотеке

Навигатор

- Начальная страница
- Поисковые запросы
- Тематический рубрикатор
- Каталог журналов
- Подборки публикаций
- Подборки журналов
- Авторский указатель
- Ключевые слова
- Новые поступления
- Новости библиотеки
- Персональная карточка
- Настройка

Текущая сессия

Контакты

Копирайт

Российские научные журналы в открытом доступе

ИНФОРМАЦИЯ О ПУБЛИКАЦИИ

НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ СУДНА

Гриняк В. М.¹ Девятисильный А. С.²

Авторы

¹ Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
² Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН

Журнал **Информационные технологии**

Издательство Издательство "Новые технологии"

Год выпуска	2012	ISSN	1684-6400
Тон		Цит. в РИНЦ	0
Номер	8	Цит. в WOS®	
Страницы	66-70	Цит. в Scopus®	
Язык	русский	Тип	научная статья

Коды УДК: 519.68:15:681.5

Ключевые слова: правление движением судов, обнаружитель маневра, сопровождение объекта, предлагаемой методики нечеткая система типа Мамдани, оценка траектории движения, Vessel traffic control, maneuver detection, target tracking, Mamdani fuzzy logic system, trace estimation

Аннотация: *Рассматривается проблема обнаружения маневра объекта в современных системах управления движением на море при обработке навигационных данных двухкоординатной РЛС кругового обзора. Обсуждается задача оценки интензивности маневрирования, связанная с выработкой тревожных сигналов и принятием управленческих решений в целях обеспечения безопасности коллективного движения судов. Предлагается нечеткая модельная интерпретация традиционных алгоритмов оптимальной фильтрации, основанная*

Возможные действия

- Вернуться в список публикаций автора
- Следующая публикация
- Просмотреть список статей в Google Академии, цитирующих данную
- Добавить публикацию в подборку:
- Статьи по планированию закупок
- Данная публикация входит в список моих работ
- Добавить Вашу заметку к публикации
- Обсудить эту публикацию с другими читателями
- Добавить ссылку на полный текст этой публикации
- Показать все публикации этих авторов
- Найти близкие по тематике публикации

УДК 519.68:15:681.5

В.М. Гриняк, кандидат технических наук, заведующий кафедрой
Информационных систем и прикладной информатики, Владивостокский
государственный университет экономики и сервиса

А.С. Девятисильный, доктор технических наук, профессор, главный научный
сотрудник, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН

НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ХАРАКТЕРА ДВИЖЕНИЯ СУДНА

Рассматривается проблема обнаружения маневра объекта в современных системах управления движением на море при обработке навигационных данных двухкоординатной РЛС кругового обзора. Обсуждается задача оценки интенсивности маневрирования, связанная с выработкой тревожных сигналов и принятием управленческих решений в целях обеспечения безопасности коллективного движения судов. Предлагается нечеткая модельная интерпретация традиционных алгоритмов оптимальной фильтрации, основанная на машине нечеткого вывода типа Мамдани, предоставляющая возможность вербальной обобщенной оценки маневренности судна операторами СУДС и судоводителями.

Ключевые слова: управление движением судов, обнаружитель маневра, сопровождение объекта, нечеткая система типа Мамдани, оценка траектории движения.

Работа выполнена в рамках Государственного задания высшим учебным заведениям в части проведения научно-исследовательских работ, проект № 7.2104.2011

Введение

Обеспечение навигационной безопасности 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, 2]. В соответствии с общепринятой концепцией построения таких систем их задачи реализуются с использованием измерительной информации, доставляемой радарами и/или спутниковыми средствами траекторных измерений - транспондерами.

Сложившаяся судоводительская практика, правила которой прямо регламентируют, что управление судном есть исключительное право его капитана, отводит СУДС (как береговым, так и бортовым) роль особого инструмента информирования судоводителя о возможном наступлении опасной ситуации (столкновении) [3]. Генерация тревожного сигнала по какому-либо объекту или их группе служит указанием судоводителю (и/или оператору СУДС), на основании которого он принимает решение об изменении курса и скорости движения.

Обращение к автоматизированным средствам информационного обеспечения требует предельно формализованных представлений понятия «опасная ситуация», и здесь следует обратиться к анализу опыта практического судовождения, показывающего, что главным условием безопасного движения является недопущение чрезмерного сближения судов. При таком подходе к интерпретации опасности её формальным критерием служит уменьшение расстояния между объектами до некоторой критической величины, определяющей своего рода «зону безопасности» вокруг судна (корабельный домен) [4].

Маневрирующие и не маневрирующие объекты с точки зрения оценки безопасности имеют ряд принципиальных различий [5, 6]. Во-первых, при внешнем наблюдении полностью достоверный прогноз траектории маневрирующего объекта невозможен. Во-вторых, если исходить из

принятого на практике положения, что маневрирование судна, как правило, свидетельствует о попытке судоводителя придать движению безопасный характер и о его контроле над ситуацией, то для маневрирующих объектов вербальный уровень опасности заведомо ниже, чем для не маневрирующих. Это является побудительным мотивом разработки таких 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.

Специальные алгоритмы обнаружения маневра нередко реализуются на практике при решении задач сопровождения траектории и наблюдения [7]. 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.

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 обобщённые представления о характере движения того или иного судна используются при распознавании опасных ситуаций бортовой или береговой СУДС.

Основные модельные представления и постановка задачи

Пусть движение объекта описывается следующими уравнениями

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

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

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 (T - символ транспонирования), $q(t_k)$ - вектор немоделируемых 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

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

Модель оценивания вектора состояния $s(t_k)$ 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 [8] и имеет вид

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

а коэффициенты α и β 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), 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).

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 $Q_j(t_i)$, $j = \overline{2, J}$ «Качество оценки вектора состояния алгоритмом (3-4) в момент времени t_i по j последним измерениям» с термами «good» (g, «хорошее») и «bad» (b, «плохое»). Пусть термы 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 $P(t_i)$ «Характер движения судна в момент времени t_i » с термами «high-high-maneuverable» (hhm, «очень высокоманевренное»), «high-maneuverable» (hm, «высокоманевренное»), «low-maneuverable» (lm, «низкоманевренное») и «low-low-maneuverable» (llm, «очень низкоманевренное»). Пусть термы имеют следующие функции принадлежности типа «кластер», определённые на универсальном множестве $v \in [2, J]$:

$$\mu_{hhm}(v) = 1 - \frac{1}{1 + \exp(-a_3(v - c_3))},$$

$$\mu_{hm}(v) = \exp\left(-\frac{(v-c_4)^2}{a_4}\right),$$

$$\mu_{lm}(v) = \exp\left(-\frac{(v-c_5)^2}{a_5}\right), \quad (9)$$

$$\mu_{llm}(v) = \frac{1}{1 + \exp(-a_6(v-c_6))},$$

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

Пусть переменные $Q_j(t_i)$ обрабатываются машиной нечеткого вывода типа Мамдани [9], на вход которой подается кортеж величин (7), а на выходе формируется числовое значение $m(t_i)$ - 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 (уровень 1)

№	$Q_2(t_i)$	$Q_3(t_i)$	$Q_4(t_i)$	...	$Q_{J-2}(t_i)$	$Q_{J-1}(t_i)$	$Q_J(t_i)$	$P(t_i)$
1	g	g	g	...	g	g	g	P_1
2	g	g	g	...	g	g	b	P_2
3	g	g	g	...	g	b	b	P_3
...
$J-1$	g	b	b	...	b	b	b	P_{J-1}
J	b	b	b	...	b	b	b	P_J

Работу нечеткого алгоритма оценки степени интенсивности маневрирования судна можно, таким образом, окончательно представить двухуровневой иерархической схемой, показанной на рисунке 1. Здесь $L_j(t_i)$ - величины кортежа (7) в момент времени t_i (вход), если $L_j(t_i) > 3$, то вход

принимается равным 3; $m(t_i)$ - определённая системой типа Мамдани M_1 (уровень 1) в момент времени t_i степень интенсивности маневрирования судна.

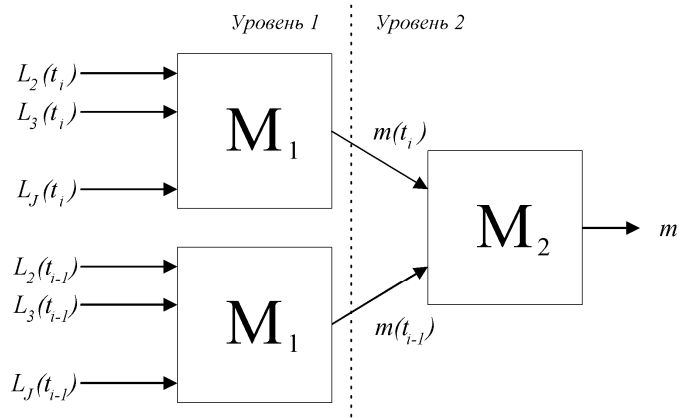


Рисунок 1. Схема работы нечеткого алгоритма оценки степени интенсивности маневрирования судна

Величины $m(t_i)$ и $m(t_{i-1})$ подаются на вход системы типа Мамдани M_2 (уровень 2). На выходе этой системы формируется числовое значение m , которое и принимается за окончательное значение степени интенсивности маневрирования судна. Машина нечеткого вывода M_2 работает согласно системе правил, представленной в таблице 2.

Таблица 2.

Система правил машины нечеткого вывода типа Мамдани (уровень 2)

№	$P(t_{i-1})$ (ВХОД 1)	$P(t_i)$ (ВХОД 2)	$P(t_i)$ (ВЫХОД)
1	<i>hhm</i>	<i>hhm</i>	<i>hhm</i>
2	<i>hm</i>	<i>hhm</i>	<i>hm</i>
3	<i>lm</i>	<i>hhm</i>	<i>lm</i>
4	<i>llm</i>	<i>hhm</i>	<i>llm</i>
5	<i>hhm</i>	<i>hm</i>	<i>hm</i>
6	<i>hm</i>	<i>hm</i>	<i>hm</i>
7	<i>lm</i>	<i>hm</i>	<i>lm</i>
8	<i>llm</i>	<i>hm</i>	<i>llm</i>

9	<i>hhm</i>	<i>lm</i>	<i>lm</i>
10	<i>hm</i>	<i>lm</i>	<i>lm</i>
11	<i>lm</i>	<i>lm</i>	<i>lm</i>
12	<i>llm</i>	<i>lm</i>	<i>llm</i>
13	<i>hhm</i>	<i>llm</i>	<i>llm</i>
14	<i>hm</i>	<i>llm</i>	<i>llm</i>
15	<i>lm</i>	<i>llm</i>	<i>llm</i>
16	<i>llm</i>	<i>llm</i>	<i>llm</i>

Обработка двух соседних $m(t_{i-1})$ и $m(t_i)$ машиной нечеткого вывода M_2 необходима для повышения устойчивости работы системы при больших ошибках измерений (для фильтрации случайных выбросов).

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_i и величины σ , характеризующей погрешность измерений.

Результаты численного моделирования

При моделировании задачи было принято, что информационной базой СУДС является двухкоординатный радар кругового обзора (например, типа Raytheon) с периодом обращения 3с и разрешением по углу и дальности, соответственно, $\Delta\varphi = 0.03^\circ$ и $\Delta r = 6$ м. Максимальное количество измерений было принято равным $J = 10$. Принятые значения лингвистической переменной P_i приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Значения лингвистической переменной P_i

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_i	<i>llm</i>	<i>llm</i>	<i>lm</i>	<i>lm</i>	<i>lm</i>	<i>hm</i>	<i>hm</i>	<i>hm</i>	<i>hhm</i>	<i>hhm</i>

Заданные значения параметров функций принадлежности (8) и (9) приведены в таблице 4 (в данном случае параметры задаются экспертом,

система не подвергается настройке на обучающей выборке, см. также рис. 2 и 3).

Таблица 4.

Значения параметров функций принадлежности

i	a_i	c_i
1	5.0	1.5
2	5.0	1.5
3	6.0	3.0
4	2.0	4.5
5	2.0	7.5
6	6.0	9.0

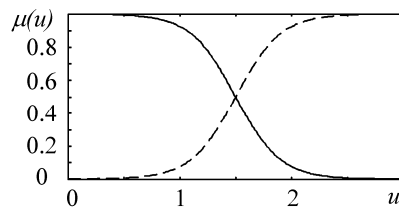


Рисунок 2. Функции принадлежности термов «good» (сплошная линия) и «bad» (пунктир).

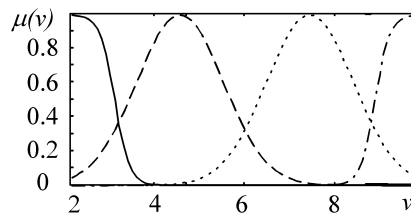


Рисунок 3. Функции принадлежности термов «hlm» (сплошная линия), «hm» (пунктир), «lm» (точки) и «llm» (точка-пунктир).

Если вероятностные характеристики ошибок измерений r_k хорошо известны, то величина σ может задаваться априорно. В тех случаях, когда r_k можно оценить только приблизительно, с точностью до порядка величин, величина σ может быть оценена формулой:

$$\hat{\sigma}_k = \frac{\sum_{i=1}^k \|\delta z_2(t_i)\|}{k},$$

где k - порядковый номер момента времени, прошедшего от начала наблюдения судна (в настоящей работе рассматривается именно этот случай).

На рисунке 4 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 судов небольшой размерности).

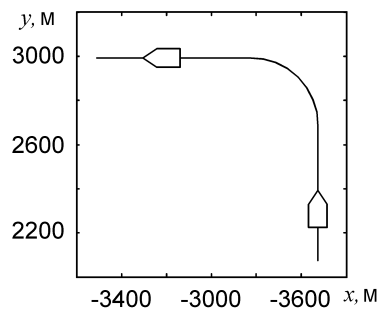


Рисунок 4. Траектория движения судна

На рисунке 5 показан результат решения задачи оценки степени интенсивности маневрирования 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 работы алгоритма. m - определенное по мере движения судна значение степени интенсивности его маневрирования судна (рис. 5а и 5б). В данном случае m близко к максимальному значению (около 10) на прямолинейном участке траектории и уменьшается до значений $\approx 3.5 - 5$ при повороте на скорости 10 м/с и до ≈ 2.5 при повороте на скорости 20 м/с. При этом алгоритм достаточно быстро реагирует на изменение характера движения судна (не более 15 секунд, участок [63, 78] секунд на рисунке 5б).

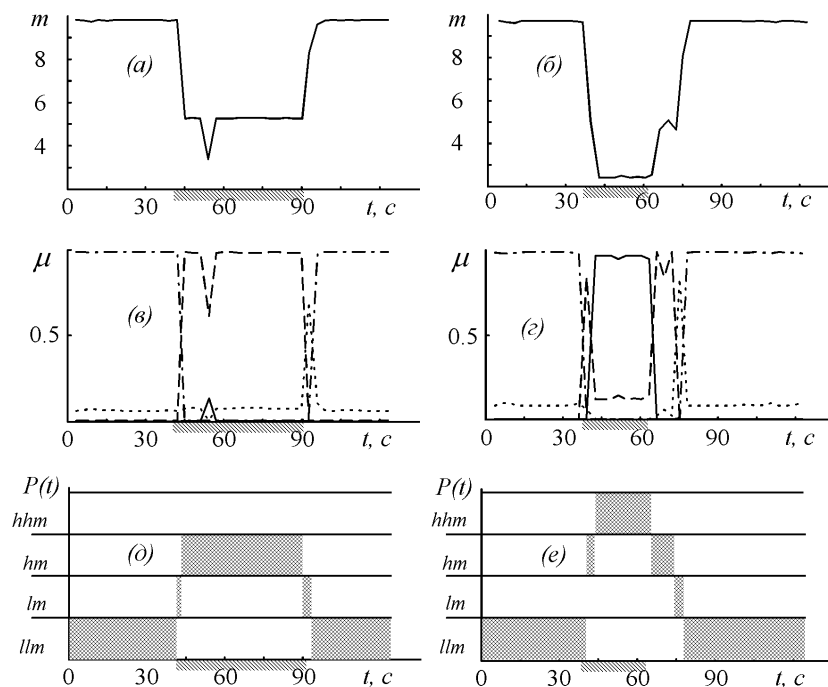


Рисунок 5. Работа алгоритма нечеткой оценки степени маневрирования судна; штрихами снизу оси абсцисс показан участок маневрирования судна.

Рисунки 5в и 5г показывают значения функций принадлежности термов «*hhm*» (сплошная линия), «*hm*» (пунктир), «*lm*» (точки) и «*llm*» (точка-пунктир) по мере движения судна. Так, при движении со скоростью 10 м/с на участке [0, 40] секунд движение с наивысшей степенью оценено как «очень низкоманевренное», на участке (40, 43) – как «низкоманевренное», на участке [43, 90] – как «высокоманевренное» и т.д. (рис. 5в). Соответствующие термы с максимальными значениями функции принадлежности приведены на рисунках 5д и 5е, которые иллюстрируют обобщённую вербальную интерпретацию траекторных свойств движения в разрезе значений «очень высокоманевренное», «высокоманевренное», «низкоманевренное» и «очень низкоманевренное».

Заключение

В заключение перечислим основные результаты настоящей статьи. В работе сформулированы методологические основы и дана концепция

решения задачи оценки интенсивности маневрирования. Рассмотрена нечеткая модель классификации характера движения судна, ориентированная на реализацию в качестве обнаружителя маневра. Предложен нечеткий алгоритм оценки степени маневра, основанный на сопровождении траектории судна классическим $\alpha - \beta$ алгоритмом с различной степенью фильтрации и обработке параметров сопровождения машиной нечеткого вывода типа Мамдани. На модельном примере продемонстрирована конструктивность и эффективность предлагаемой методики.

Результаты исследования ориентированы на расширение функциональных возможностей существующих береговых и бортовых систем управления движением судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОАО Норфес [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.norfes.ru/>
2. Группа компаний ТРАНЗАС [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://www.transas.ru/>
3. Huges T. When is a VTS not a VTS // The J. of Navigation. - 2009. - Vol. 62, №3. - p. 439-442.
4. Pietrzykowski Z. and Uriasz J. The Ship Domain – a Criterion of Navigational Safety Assessment in an Open Sea Area // The J. of Navigation. - 2009. - Vol. 62. №1. - p. 93-108.
5. Девятисильный А.С., Гриняк В.М. Прогнозирование опасных ситуаций при управлении движением на море // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2004. - №3. - с. 127-136.
6. Девятисильный А.С., Дорошко В.М., Гриняк В.М. и др. Система экспертных оценок состояния безопасности на морских акваториях // Информационные технологии. - 2004. - №11. - с. 48-53.

7. Бакулев П.А., Сычев М.И., Нгуен Чонг Лыу Многомодельный алгоритм сопровождения траектории маневрирующей цели по данным обзорной РЛС // Радиотехника. – 2004. - №1.

8. Benedict T. R., Bordner G.R. Synthesis of an optimal set of radar track-while-scan smoothing equations// IRE Trans, on AC-1, July 1962, p. 27-32.

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

Материалы на английском

V.M. Grinyak, A.S. Devyatisilny

Fussy logic expert system of vessels maneuverability

The problem of maneuver detection in modern vessel traffic systems based on two-coordinate radar is watched. Maneuver intensity estimation for marine traffic alarm signals generation is discussed. Fuzzy logic model based on optimal filtering and Mamdani fuzzy logic system giving possibility of a verbal generalized vessels maneuverability estimation by VTS operators and navigators is offered.

Keywords: vessel traffic control, maneuver detection, target tracking, Mamdani fuzzy logic system, trace estimation

Подписи к рисункам и таблицам

Таблица 1. Система правил машины нечеткого вывода типа Мамдани (уровень 1)

Таблица 2. Система правил машины нечеткого вывода типа Мамдани (уровень 2)

Таблица 3. Значения лингвистической переменной P_i

Таблица 4. Значения параметров функций принадлежности

Рисунок 1. Схема работы нечеткого алгоритма оценки степени интенсивности маневрирования судна

Рисунок 2. Функции принадлежности термов «good» (сплошная линия) и «bad» (пунктир).

Рисунок 3. Функции принадлежности термов «h_{hm}» (сплошная линия), «hm» (пунктир), «lm» (точки) и «llm» (точка-пунктир).

Рисунок 4. Траектория движения судна

Рисунок 5. Работа алгоритма нечеткой оценки степени маневрирования судна; штрихами снизу оси абсцисс показан участок маневрирования судна.

Рисунок 1

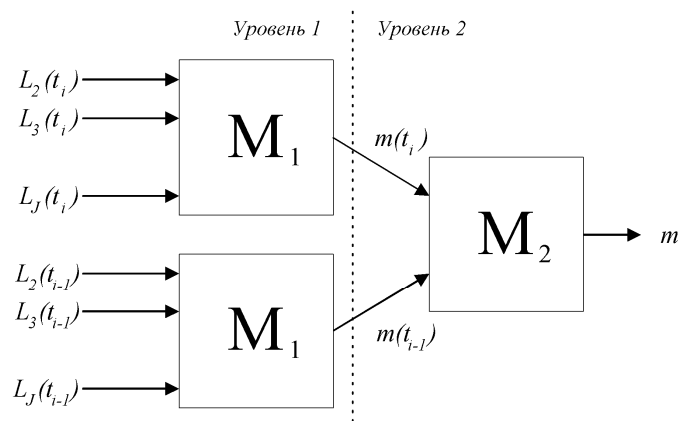


Рисунок 2

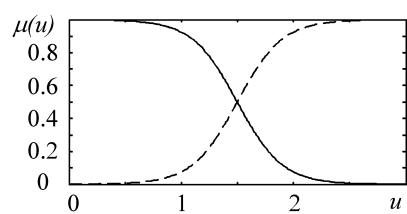


Рисунок 3

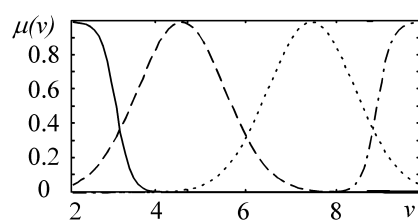


Рисунок 4

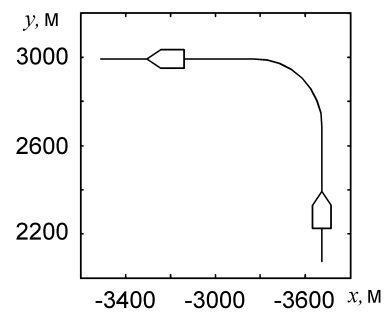


Рисунок 5

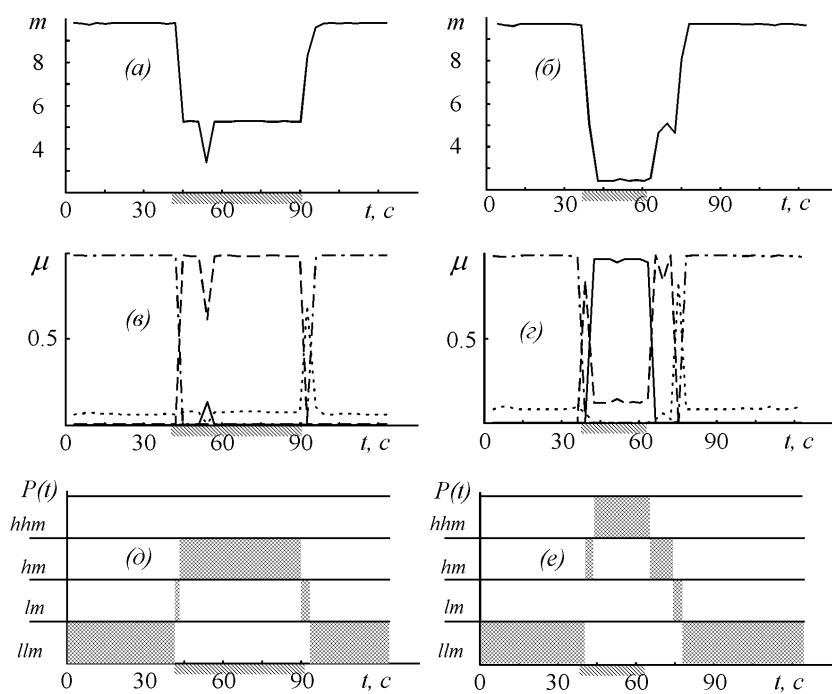


Таблица 1

№	$Q_2(t_i)$	$Q_3(t_i)$	$Q_4(t_i)$	...	$Q_{J-2}(t_i)$	$Q_{J-1}(t_i)$	$Q_J(t_i)$	$P(t_i)$
1	g	g	g	...	g	g	g	P_1
2	g	g	g	...	g	g	b	P_2
3	g	g	g	...	g	b	b	P_3
...
$J-1$	g	b	b	...	b	b	b	P_{J-1}
J	b	b	b	...	b	b	b	P_J

Таблица 2

№	$P(t_{i-1})$ (ВХОД 1)	$P(t_i)$ (ВХОД 2)	$P(t_i)$ (ВЫХОД)
1	<i>hhm</i>	<i>hhm</i>	<i>hhm</i>
2	<i>hm</i>	<i>hhm</i>	<i>hm</i>
3	<i>lm</i>	<i>hhm</i>	<i>lm</i>
4	<i>llm</i>	<i>hhm</i>	<i>llm</i>
5	<i>hhm</i>	<i>hm</i>	<i>hm</i>
6	<i>hm</i>	<i>hm</i>	<i>hm</i>
7	<i>lm</i>	<i>hm</i>	<i>lm</i>
8	<i>llm</i>	<i>hm</i>	<i>llm</i>
9	<i>hhm</i>	<i>lm</i>	<i>lm</i>
10	<i>hm</i>	<i>lm</i>	<i>lm</i>
11	<i>lm</i>	<i>lm</i>	<i>lm</i>
12	<i>llm</i>	<i>lm</i>	<i>llm</i>
13	<i>hhm</i>	<i>llm</i>	<i>llm</i>
14	<i>hm</i>	<i>llm</i>	<i>llm</i>
15	<i>lm</i>	<i>llm</i>	<i>llm</i>
16	<i>llm</i>	<i>llm</i>	<i>llm</i>

Таблица 3

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_i	llm	llm	lm	lm	lm	hm	hm	hm	hhm	hhm

Таблица 4

i	a_i	c_i
1	5.0	1.5
2	5.0	1.5
3	6.0	3.0
4	2.0	4.5
5	2.0	7.5
6	6.0	9.0