



УДК 629.5.053; 656.61.052

Расхождение судов в зоне чрезмерного сближения



Нелли СЕДОВА

Nelly A. SEDOVA

Предложена нечеткая модель расхождения морских судов в зоне чрезмерного сближения, состоящая из четырех входных лингвистических переменных – пеленг, курс судна-оператора, курс судна-цели, скорость судна-цели, а также одной выходной лингвистической переменной – курс судна-оператора. Представлена методика формирования с использованием маневренного планшета правил нечетких продукций, база которых насчитывает 525 правил.

Ключевые слова: морское судоходство, автоматизация управления, расхождение судов, лингвистическая переменная, нечеткое множество, пеленг, курс судна, скорость судна, правило нечеткой продукции.

Седова Нелли Алексеевна – кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник лаборатории нелинейных и интеллектуальных систем кафедры автоматических и информационных систем Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского, Владивосток, Россия.

Одной из основных задач судовождения является безопасное расхождение судов в море. Статистика показывает, что более 80% всех критических ситуаций становятся результатом человеческих ошибок [1]. Только благодаря принимаемым организационным и техническим мерам, ужесточением требований к подготовке специалистов удается не допускать роста числа столкновений. Однако, несмотря на это, задача расхождения судов остается актуальной и нуждается в серьезных предупредительных мерах, например, за счет введения в практику автоматизированных систем принятия решений.

Изучение существующих возможностей интенсивно проводится с начала внедрения на судах компьютеров для решения задач на мостике, то есть уже почти сорок лет. За это время были предложены различные варианты математического описания образуемых судами и границами судоходной акватории ситуаций, формализации международных правил предупреждения столкновений судов в море, синтеза стратегий расхождения. И гораздо меньше внимания уделено разработке образительных моделей, обеспечивающих высокий уровень понимания ситуаций и облегчающих выбор маневров расхождения [2].

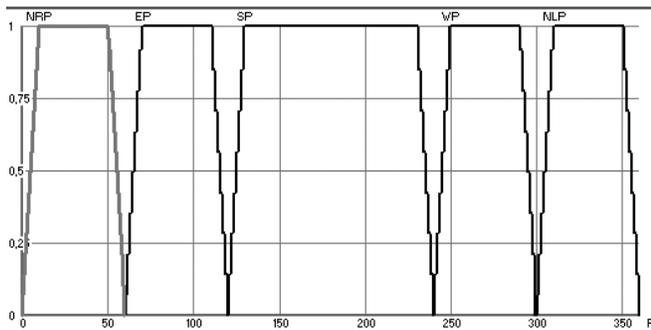


Рис. 1. Функции принадлежности для входной переменной P.

Предлагаемая в этой статье нечеткая модель (НЧМ) расхождения морских судов в зоне чрезмерного сближения учитывает следующие договоренности и ограничения: задача рассматривается в условиях хорошей видимости, т. е. не учитывается правило 19 МППСС [5]; на судне установлена РЛС, либо две РЛС (в зависимости от валовой вместимости судна); в моделируемой ситуации будем считать, что судно-оператор (СО), а также судно-цель (СЦ) являются судами с механическим двигателем; скорость СО постоянна и равняется 15 узлам; СЦ располагается на расстоянии 2 миль от СО, т. е. находится в зоне чрезмерного сближения; судно-цель – единственная опасная цель (НЧМ можно распространить на большое количество опасных целей, в этом случае определяется наиболее опасная, предпринимается маневр для расхождения, после этого берется следующая по степени опасности цель).

1. ОПИСАНИЕ НЕЧЕТКОЙ МОДЕЛИ

Разработанная НЧМ расхождения судов реализована на основе алгоритма Мамдани [3] и состоит из четырех входных лингвистических переменных (ЛП) [9-12], существенно влияющих на определение курса судна-оператора.

Первая входная ЛП «Пеленг» (Peleng – P) характеризуется универсальным множеством $[0^\circ; 360^\circ]$ и включает в себя пять термов базового терм-множества:

EastPeleng (EP) – восточный пеленг; WestPeleng (WP) – западный; NordLeftPeleng (NLP) – северный левый пеленг; NordRightPeleng (NRP) – северный правый пеленг; SouthPeleng (SP) – южный пеленг. Функции принадлежности для термов первой входной ЛП представлены на рис. 1. Они имеют трапециевидную форму с параметрами для функции EP: $a = 60, b = 70, c = 110, d = 120$; функции WP: $a = 240, b = 250, c = 290, d = 300$; функции NLP: $a = 300, b = 310, c = 350, d = 360$; функции NRP: $a = 0, b = 10, c = 50, d = 60$; функции SP: $a = 120, b = 130, c = 230, d = 240$.

Вторая входная ЛП «Курс судна-оператора» (Course – CC) характеризуется множеством $[0^\circ; 360^\circ]$ и имеет следующие элементы: NordRaight (NR) – курс на север; NordLeft (NL) – курс на север; East (E) – курс на восток; South (S) – курс на юг; West (W) – курс на запад. Функции принадлежности для этих термов показаны на рис. 2. Они имеют трапециевидную форму с параметрами для функции NR: $a = 0, b = 10, c = 50, d = 60$; функции NL: $a = 300, b = 310, c = 350, d = 360$; функции E: $a = 60, b = 70, c = 110, d = 120$; функции S: $a = 120, b = 130, c = 230, d = 240$; функции W: $a = 240, b = 250, c = 290, d = 300$.

Третья входная ЛП «Курс судна-цели» (CoursePoint – CP) характеризуется множеством $[0^\circ; 360^\circ]$, в котором присутствуют NordLeftPoint (NLC) – курс на север;

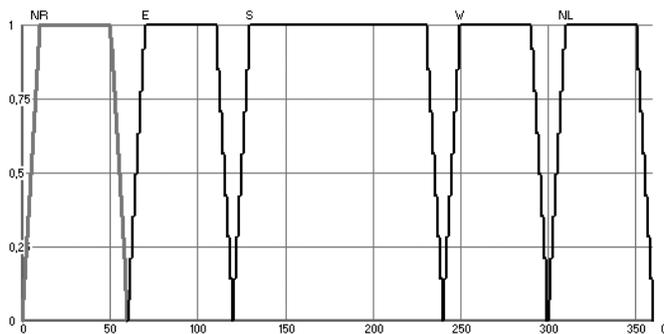


Рис. 2. Функции принадлежности для входной переменной CC.



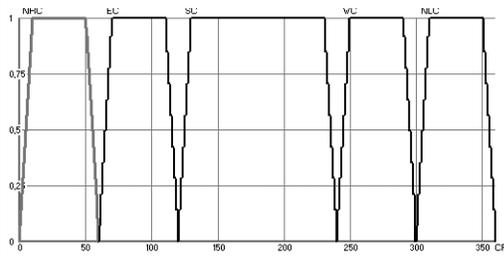


Рис. 3. Функции принадлежности для входной переменной CP.

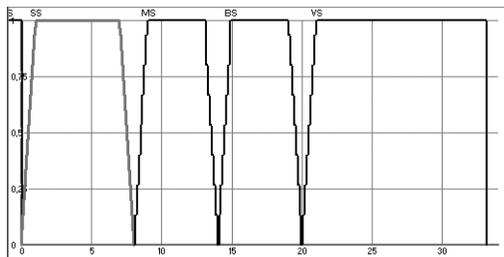


Рис. 4. Функции принадлежности для входной переменной S.

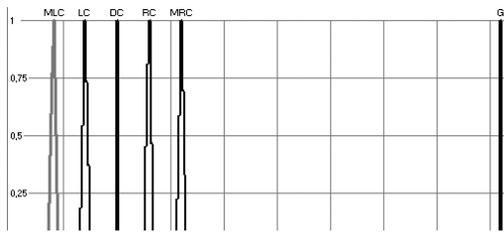


Рис. 5. Функции принадлежности для выходной переменной CC.

NordRightPoint (NRC) – курс на север; EastPoint (EC) – курс на восток; SouthPoint (SC) – курс на юг; WestPoint (WC) – курс на восток. Функции принадлежности для термов даны на рис. 3. Они имеют трапециевидную форму с параметрами для функции NLC: $a = 300, b = 310, c = 350, d = 360$; функции NRC: $a = 0, b = 10, c = 50, d = 60$; функции EC: $a = 60, b = 70, c = 110, d = 120$; функции SC: $a = 120, b = 130, c = 230, d = 240$; функции WC: $a = 240, b = 250, c = 290, d = 300$.

Четвертая входная ЛП «Скорость судна-цели» (Speed – S) характеризуется множеством $[0; 34]$ узлов, полученным на основе сведений Российского регистра судоходства [4]. Термы: ZeroSpeed (ZS) – неподвижная цель; SmallSpeed (SS) – малая скорость; MiddleSpeed (MS) – средняя скорость; BigSpeed (BS) – высокая скорость; VeryBigSpeed (VS) – очень высокая скорость. Функции принадлежности для термов на рис. 4 имеют трапециевидную форму с параметрами для функции ZS: $a = 0, b = 0, c = 0,$

$d = 0$; функции SS: $a = 0, b = 1, c = 7, d = 8$; функции MS: $a = 8, b = 9, c = 13, d = 14$; функции BS: $a = 14, b = 15, c = 19, d = 20$; функции VS: $a = 20, b = 21, c = 31, d = 34$.

Учитывая пункт из правила 8 МППСС [5] о том, что в случае, «если имеется достаточное водное пространство, то изменение только курса может быть наиболее эффективным действием для предупреждения чрезмерного сближения», и утверждения о том, что «большая часть предпринимаемых действий по расхождению приходится на маневры курсом» [2], за выходную ЛП выбрано изменение курса судна-оператора (ChangeCourse – CC). Для удобства множество зададим в градусах от -90° до 360° , в скобках указаны значения ядер нечетких множеств, соответствующих термам: MaxLeftCourse (MLC) – сильно влево (-60°); LeftCourse (LC) – влево (-30°); DirectlyCourse (DC) – прямо (не изменяя курс и скорость) (0°); MaxRightCourse (MRC) – сильно вправо (60°); MaxRightCourse (RC) – вправо (30°); Gyration (G) – циркуляция (360°). Функции принадлежности для термов выходной ЛП представлены на рис. 5. Они имеют треугольную форму с параметрами для функции MLC: $a = -65, b = -60, c = -55$; функции LC: $a = -35, b = -30, c = -25$; функции DC: $a = 0, b = 0, c = 0$; функции MRC: $a = 55, b = 60, c = 65$; функции RC: $a = 25, b = 30, c = 35$; функции G: $a = 360, b = 360, c = 360$.

2. СИСТЕМА ПРАВИЛ НЕЧЕТКИХ ПРОДУКЦИЙ

На рис. 6 показана общая схема НЧМ расхождения судов в зоне чрезмерного сближения.

База правил нечетких продукций (ПНП) состоит из 525 правил, при этом необходимо отметить, что для их формирования использовалась информация, полученная с помощью маневренного планшета. Методика формирования каждого правила включала в себя следующие подэтапы: полный перебор перечня различных ситуаций, возникающих при расхождении судов; фиксирование термов, составляющих каждое правило, для введения в базу ПНП; раскладка каждой отдельной ситуации на маневренном планшете и определение величины изменения курса судна-оператора с учетом правил МППСС [5], коммен-

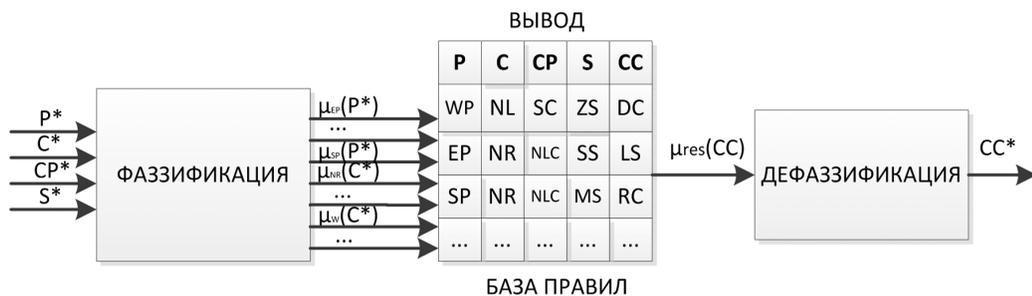


Рис. 6. Схема нечеткой модели расхождения судов в зоне чрезмерного сближения.

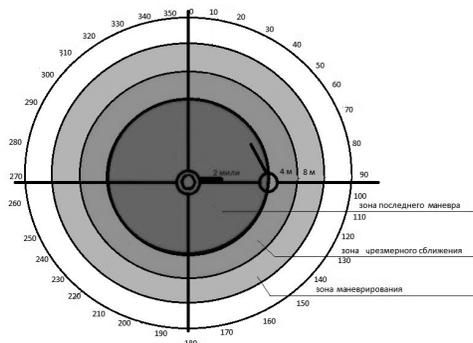


Рис. 7. Схема второй ситуации.

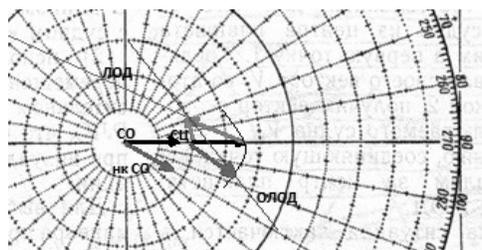


Рис. 8. Раскладка второй ситуации на маневренном планшете.

тариев к ним [6, 7], а также рекомендаций так называемой «хорошей морской практики»; фиксирование термов, соответствующих полученным на предыдущем подэтапе курсам СО, для введения в базу ПНП.

Например, такая ситуация: дистанция до цели 2 мили, курс СО равен 330°, скорость 15 узлов. По радиолокационной станции (РЛС) получаем следующую информацию: курс судна-цели 330°, пеленг на цель 330°, скорость СЦ 25 узлов. Подобная ситуация не считается опасной, поскольку СО и СЦ расходятся на безопасном расстоянии без необходимости судно-оператору менять курс. Анализ для этого случая позволил сформировать ПНП № 438.

Вторая ситуация. Предположим, что дистанция до цели 2 мили, курс судна-опе-

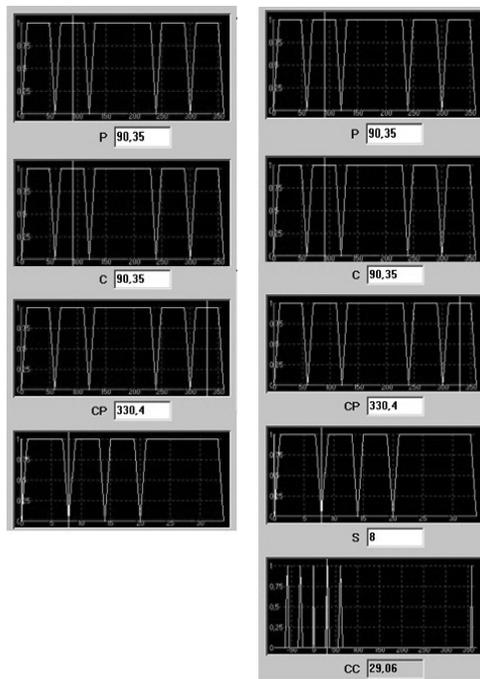


Рис. 9. Тестовая ситуация.

ратора 90°, скорость судна-оператора 15 узлов. По РЛС получаем, что курс судна-цели 330°, пеленг на цель 90°, скорость судна-цели 8 узлов (рис. 7).

В такой ситуации СЦ находится прямо по курсу СО и является опасной целью, ибо они расходятся на малой дистанции. Согласно правила 16 МППСС [5], СО должно уступить дорогу, чтобы разойтись с СЦ. Разложив ситуацию на маневренном планшете (рис. 8) и совершив все необходимые расчеты, получим, что новый курс СО составит 120°.

В итоге требуется совершить отворот на 30° вправо, и СО разойдется с СЦ по корме на безопасном расстоянии. Анализ ситуации позволил сформировать ПНП № 91.





3. АЛГОРИТМ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Покажем алгоритм нечеткого вывода для рассмотренной второй ситуации. В этом случае фаззификация первой входной ЛП приводит к значению степени истинности, равной единице, при терме EP. Фаззификация второй и третьей входной приводит к значению степени истинности, равной единице, соответственно при термах E и NLC. Фаззификация четвертой входной лингвистической переменной 0,1 достигается при термах MS и SS.

Подставив данные условия в формулу правил нечетких продукций [3], получим правила:

R: если $(EP = P)$ и $(E = C)$ и $(NLC = CP)$ и $(SS = S)$, то $(y = CC)$;

R: если $(EP = P)$ и $(E = C)$ и $(NLC = CP)$ и $(MS = S)$, то $(y = CC)$.

Соответствующие подусловия совместно используются в ПНП с номерами 91 и 216. Эти правила считаются активизированными и участвуют в дальнейшем процессе нечеткого вывода. Поскольку все условия в указанных правилах заданы в форме нечетких лингвистических высказываний первого вида с применением операции нечеткой конъюнкции, этап их агрегирования составляет степень истинности 0,1 для обоих правил.

Следующим этапом нечеткого вывода является активизация заключения в правилах нечеткой продукции 91 и 216. В нашем случае для дефаззификации используется метод центра тяжести. Протестировав ситуацию в разработанном приложении (рис. 9), выясним, что значение выходной переменной SS приближенно равно 30. Таким образом, угол отворота CO при названных входных параметрах равен 30° вправо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена фаззификация четырех входных и одной выходной переменных нечеткой модели расхождения судов в зоне чрезмерного сближения, сформирована база правил нечетких продукций, состоящая из 525 правил, реализован алгоритм нечеткого вывода, разработан пользовательский интерфейс приложения НЧМ

расхождения. Программное приложение протестировано на примерах, анализ которых осуществлен с использованием маневренного планшета. Тестирование показало работоспособность приложения и адекватность тестовым примерам.

Дальнейшие исследования могут быть посвящены разработке устройств для автоматического получения информации с РЛС, а также передаче выходного значения, полученного из приложения нечеткой модели, исполнительным устройствам, в частности перу руля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нгуен Ким Фьонг. Теоретическое и экспериментальное исследование правила 17 МППСС-72/ Авто-реф. дис... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2006. – 22 с.
2. Вагушенко Л. Л., Вагушенко А. А. Поддержка решений по расхождению с судами. – Одесса: Феникс, 2010. – 229 с.
3. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
4. Регистровая книга [Электронный ресурс] / Главная страница Российского морского регистра судоходства – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.rs-class.org/ru/>.
5. Международные правила предупреждений столкновений судов в море, 1972 г. / Под ред. Н. А. Долотова, Н. А. Паламарчука. – М., 1982. – 87 с.
6. Коккрофт А. Н., Ламейер Дж. Н. Ф. Толкование МППСС-72: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 280 с.
7. Яскевич А. П., Зурабов Ю. Г. Комментарии к МППСС-72: Справочник. – М.: Транспорт, 1990. – 479 с.
8. Седова Н. А. Система поддержки решений для привилегированных судов // Мир транспорта. – 2013. – № 3. – С. 110–115.
9. Chien-Min Su, Ki-Yin Chang, Chih-Yung Cheng. Fuzzy Decision on Optimal Collision Avoidance Measures for Ships in Vessel Traffic Service. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 20, No. 1, pp. 38–48 (2012).
10. Hasegawa K., Fukuto J., Miyake R., Yamazaki M. An intelligent ship handling simulator automatic collision avoidance function of target ships. Proc. International Navigation Simulator Lecturers Conference, (INSL17), pp.F23–1–10, Rostock, Germany, Sep. 3–7, 2012.
11. Hasegawa K., Yamazaki M. Qualitative and Quantitative Analysis of Congested Marine Traffic Environment – An Application Using Marine Traffic Simulation System. The International Journal of Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav) Vol.7, No.2, pp.179–184, 2013.
12. Cheng-Neng Hwang, Joe-Ming Yang, Chung-Yen Chiang. The Design of Fuzzy Collision-Avoidance Expert System Implemented by H ∞ -Autopilot. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 25–37 (2001). ●

Автор является победителем конкурса на право получения гранта Общероссийской общественной организации «Российская академия транспорта» по поддержке молодых российских ученых. Статья публикуется в рамках соглашения о сотрудничестве между МИИТ и Российской академией транспорта.