

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ НЕБЕЗПЕКИ НАВІГАЦІЙНОЇ СИТУАЦІЇ

У статті проаналізовано необхідність єдиної безперервної величини, яка характеризуватиме рівень небезпеки навігаційної ситуації. Розроблено модель ідентифікації навігаційної ситуації та модель кількісного оцінювання ступеня її небезпеки на основі нечітких множин. Запропоновано модель ситуаційного оцінювання стану руху двох суден. Визначено основні умови, які характеризують небезпечну ситуацію, проведено їх формалізацію з виділенням їх у критерії.

На сьогоднішній день існує чимало розробок, які формалізують небезпечну ситуацію для суден, рух яких має різний характер. Йдеться щодо суден, які рухаються як прямолінійно, так і маневрують, що з точки зору безпеки спільного руху мають принципові відмінності. При зовнішньому спостереженні маневруючого об'єкта, по-перше, повністю достовірний прогноз його траєкторії неможливий; по-друге, рівень небезпеки для нього свідомо нижче, ніж для не маневруючого (на практиці маневрування судна, як правило, засвідчує спробу судноводія надати руху безпечний характер, а також його контроль над ситуацією) [1, 2].

Особливість наведеного процесу є спонукальним мотивом оцінювати не лише небезпечні траєкторні властивості рухомих об'єктів, а й дати можливість судноводію або диспетчеру приймати рішення щодо ситуацій з урахуванням рівня її дійсної небезпеки.

Деякі принципи оцінювання рівня небезпеки були запропоновані авторами в роботах [3, 4]. Особливістю пропонованого підходу є дискретне оцінювання рівня небезпеки. Опис схожої методики можна спостерігати в роботах [5—7]. Такий підхід дозволяє розділяти масив рухомих об'єктів по акваторії на підмножини, кожна з яких характеризується своїм рівнем небезпеки. Система управління рухом суден, що реалізує такий підхід, насамперед привертає увагу судноводія і диспетчера до найнебезпечніших ситуацій. Разом з тим, за високої інтенсивності руху в одній категорії може виявитися занадто багато суден, що підвищує можливість помилкових управлінських рішень. Тому за високої інтенсивності руху на акваторії стає актуальним завдання подання рівня безперервної небезпеки величиною. За такої ситуації стають продуктивними ідеї, покладені в основу систем нечіткої логіки.

Метою дослідження є побудова математичної моделі, що визначатиме ступінь небезпеки навігаційної ситуації.

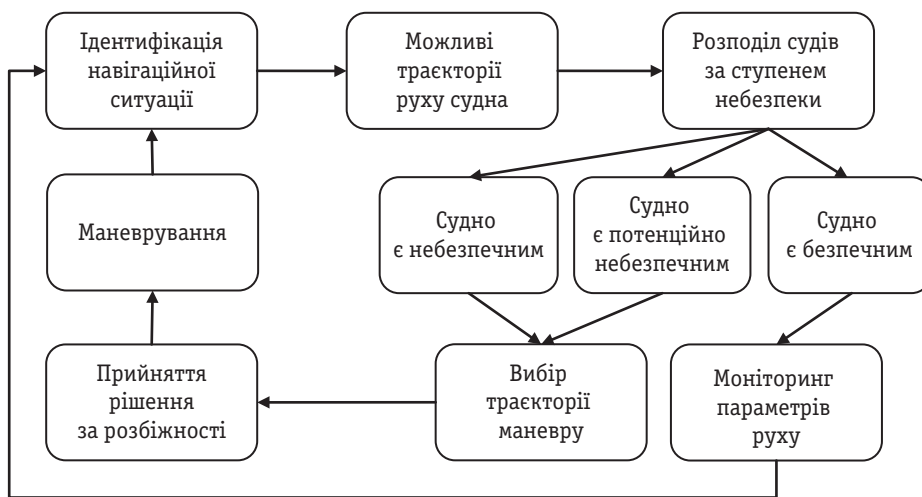


Рис. 1. Модель ідентифікації навігаційної ситуації

Змоделюймо навігаційну ситуацію руху судна в умовах інтенсивного судноплавства. Причому, на першому етапі вдамося до традиційної моделі спільного руху суден, розбивши ситуацію на пари судів, відповідно до моделі на рис. 1. Зокрема, такий підхід використовується в багатьох відомих алгоритмах за моделювання навігаційної обстановки [8, 9].

Ситуаційну оцінку стану руху двох суден представимо у виді наступної моделі:

$$s = (r, v, w, t), \tag{1}$$

де r — відстань між суднами; v — відносна швидкість руху суден; w — швидкість зміни їхнього курсу; t — час до зближення суден.

Представлена модель стану руху двох суден (1) є типовою в завданнях управління рухомими об'єктами, в яких відсутня інформація щодо сили і моментів, що обумовлюють даний рух [10].

Сукупність представлених величин (r, v, w, t) засвідчує потенційно небезпечний стан двох суден у випадку виконання таких умов:

- відстань між рухомими судами менше суми найкоротшої допустимої дистанції та радіусів їхніх доменів;
- величина зміни курсу судна близька до швидкості зміни напрямку його руху;
- час, що залишився до максимального зближення суден, менше допустимого.

Формалізація цих трьох умов визначається конкретним трактуванням поняття «небезпечна ситуація». Тут доцільно звернутися до досвіду практичного судноводіння, який показує, що найголовніше для убезпечення плавання — це дотримання «зони безпеки» [11] навколо судна, до якої інші судна не допускаються. У нашому випадку буде використано судовий домен статичного типу з окружністю заданого радіуса для першого судна — r_1 для другого — r_2 .

Таким чином, визначимо критерії потенційно небезпечного зближення двох суден:

$$r - r_1 - r_2 < D_{кр доп}, \tag{2}$$

$$|k - k_r| < \theta, \tag{3}$$

$$0 < t < T_{доп}. \tag{4}$$

Умова (2) формалізує небезпечну ситуацію за прямолінійного руху суден із небезпечним перетином курсів. Умова (3) доповнює умову (2), якщо судна маневрують. Умова (4) відбирає із загального масиву лише ті судна, час до зближення яких менше мінімально допустимого.

Таким чином, основним завданням визначення ступеня небезпеки навігаційної ситуації є оцінка вектора стану спільного руху двох суден $s = (r, v, w, t)$ з урахуванням умов їх маневрування. Для знаходження оцінки вектора вдамося до методів нечіткої логіки.

Відомо, що нечіткою множиною A на універсальній множині U називається сукупність пар $(A(u), u)$, де $A(u)$ — ступінь належності елемента u нечіткій множині A . Виділимо три множини: A — множина, яка характеризує відстані до об'єктів; B — множина, яка характеризує ступінь маневрування; C — множина, яка характеризує час на прийняття рішень. Ступінь приналежності в нашому випадку для множин A, B, C — це число з діапазону $[0, 1]$. Відзначимо, що вище ступінь приналежності, то більшою мірою елемент універсальної множини відповідає властивостям нечіткої множини.

Важливим елементом рішення задачі на основі нечітких множин є вибір функції приналежності. Функцією приналежності називається функція, що дозволяє для довільного елемента універсальної множини обчислити ступінь його належності нечіткій множині.

За основу для множин A візьмемо сигмоїдну функцію приналежності (рис. 2):

$$f_A(r; a, D_{кр доп}) = \frac{1}{1 + e^{a(r - D_{кр доп})}},$$

де a — параметр функцій приналежності, що визначає її жорсткість; r — відстань між судами; $D_{кр доп}$ — найкоротша допустима відстань між судами.

Визначимо термін для даної множини $T_A =$ «мала відстань», що визначається розмірами доменів судів і швидкістю зміни відстані між ними. Функція приналежності для даної множини з параметрами $a = 1$, $D_{кр доп} = 4$ милі матиме вигляд:

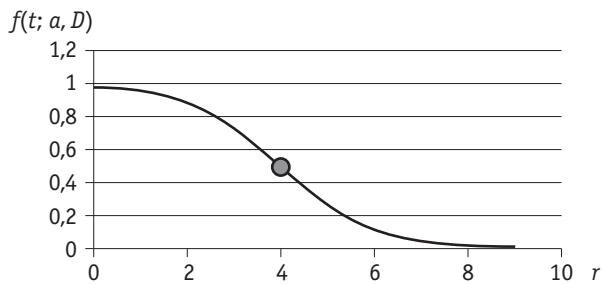


Рис. 2. Функція приналежності безлічі А

Якщо відстань між суднами буде більше 4 миль, то функція буде повертати значення у діапазоні $[0; 0,5]$ і привласнювати йому нечітке визначення «велика відстань», $u_A = 0$; якщо відстань буде менше, то діапазон — $[0,5; 1]$, а визначення — «мала відстань», $u_A = 1$.

Для множин B візьмемо також сигмоїдну функцію приналежності (рис. 3):

$$f_B(w; a, W_m) = \frac{1}{1 + e^{-a(w - W_m)}}$$

де a — параметр функцій приналежності, що визначає її жорсткість; w — швидкість зміни кута курсів; W_m — порогове значення, яке визначає невизначеність курсів судів.

Визначимо терм для даної множини $T_A =$ {«інтенсивне маневрування»}, який визначається швидкістю зміни курсів зустрічних судів.

Функція приналежності для даної множини з параметрами $a = 1$, $W_m = 5$ град/хв, буде мати такий вигляд:

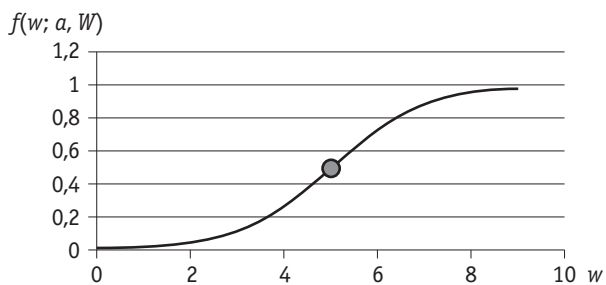


Рис. 3. Функція приналежності множини В

Якщо зміна кута досягає 5 град/хв, то функція буде повертати значення в діапазоні $[0,5; 1]$ і привласнювати йому нечітке визначення «інтенсивне маневрування» і $u_B = 1$, у разі якщо швидкість зміни кута буде менше 5 град/хв, то в діапазоні $[0; 0,5]$ і привласнювати йому нечітке визначення «прямолінійний рух» і $u_B = 0$.

Множина C буде представлена трьома функціями приналежності: дві — сигмоїдальні, одна — гаусівська (рис. 4).

$$f_C(t; a, T_{доп}) = \begin{cases} \frac{1}{1 + e^{a(t - T_{доп})}}, & \text{за } t < 0,8 \cdot T_{доп}; \\ e^{-\frac{(t - T_{доп})^2}{2a^2}}, & \text{за } 0,8 \cdot T_{доп} \leq t \leq 1,2 \cdot T_{доп}; \\ \frac{1}{1 + e^{-a(t - T_{доп})}}, & \text{за } 1,2 \cdot T_{доп} < t, \end{cases}$$

де t — час до зближення суден; $T_{доп}$ — допустимий час для прийняття рішень.

Визначимо термін для даної множини $T_C =$ {«мало часу», «час прийняття рішень», «багато часу»}, який визначається часом на прийняття рішень. Термін «мало часу» визначає час, коли є можливість прийняти лише одне рішення, яке допоможе уникнути зіткнення. «Прийняття рішень» — час, потрібний для грамотного проведення оптимального маневру, тобто, коли починати маневр вже не рано, але ще є час виправити результат помилкового маневрування, є час на «другу спробу»; це період, коли критична ситуація ще не виникла. Термін «багато часу» означає, що немає ніякого сенсу щось робити, оскільки ситуація може змінитися і це вимагатиме, можливо, виконання зовсім іншого маневру.

Функція приналежності для даної множини з параметрами $a = 1,5$, $T_{доп} = 10$ хв, буде мати вигляд:

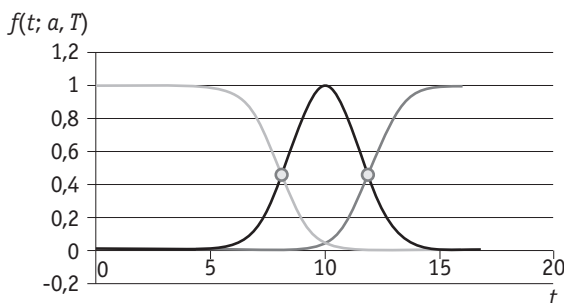


Рис. 4. Функція приналежності множини В

Якщо часу залишиться менше ніж 8 хв., то перша функція буде повертати значення в діапазоні $[0,5; 1]$ і привласнювати йому нечітке визначення «мало часу» і $u_C = 2$. Якщо часу залишиться менше 12 хв., але більше 8 хв., то друга функція буде повертати значення в діапазоні $[0,5; 1]$ і привласнювати йому нечітке визначення «прийняття рішень» і $u_C = 1$. Якщо часу більше 12 хв., то третя функція буде повертати значення в діапазоні $[0,5; 1]$ і привласнювати йому нечітке визначення «багато часу» і $u_C = 0$.

Відповідно до запропонованого методу, подальші дії будуть представлені таким чином. Нехай машина нечіткого виводу, на вхід якої подаються величини r, w і t , на виході формує числове значення u — рівень небезпеки навігаційної ситуації, причому, значення відповідає

найменшому рівню небезпеки. Машина нечіткого виводу працює згідно із моделлю, поданою на рис. 5.

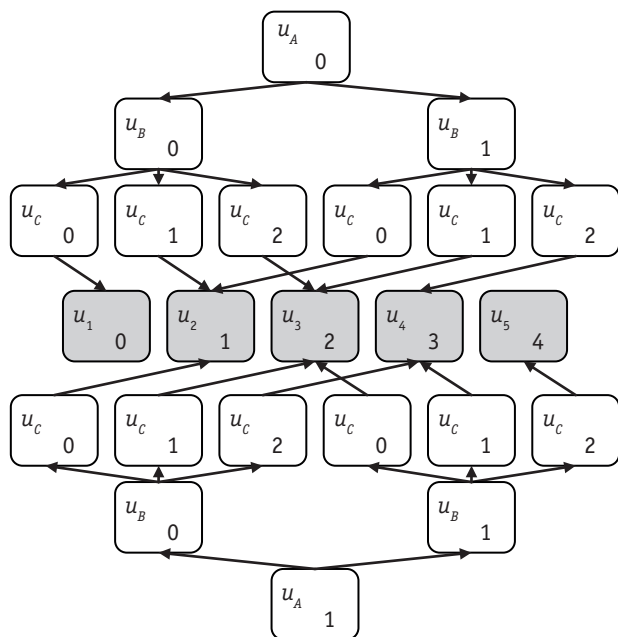


Рис. 5. Ситуаційна модель визначення рівня небезпеки навігаційної ситуації

Подана модель формує п'ять основних ситуацій:

- судна зближуються, залишаючись на безпечній відстані;
- судна можуть неприпустимо зблизитися, якщо продовжать маневрування;

- судна можуть неприпустимо зблизитися, якщо припинять маневрування;
- судна можуть неприпустимо зблизитися, якщо не почнуть маневр ухилення;
- судна неприпустимо зблизяться — загроза аварійної ситуації.

Остаточну роботу нечіткої системи розпізнавання небезпечного зближення судів можна представити схемою (рис. 5), де u_A , u_B , u_C — величини, що характеризують властивості відносного руху двох суден (вхід), а величина U (вихід) визначає рівень небезпеки ситуації.

ВИСНОВКИ

На підставі проведеного аналізу робимо висновок щодо високої актуальності досліджуваної проблеми. За високої інтенсивності руху на акваторії стає очевидною вимога наявності представлення рівня небезпеки у вигляді безперервної величини. На першому етапі досліджень було отримано модель ідентифікації навігаційної ситуації, за результатами якої було запропоновано модель ситуаційного оцінювання стану руху двох судів. На другому етапі визначено основні умови, які характеризують небезпечну ситуацію. На третьому проведено формалізацію умов, які характеризують небезпечну ситуацію з виділенням їх у вигляді критеріїв. На четвертому, на основі нечітких множин, розроблено модель кількісного оцінювання ступеня небезпеки навігаційної ситуації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кондратьев А. И. Оперативный выбор безопасности маневров последнего момента в судовых навигационно-информационных системах : дис. ... кандидата технических наук : Новороссийск, 2002. — 145с.
2. Паулаускас В. Ю. Дистанция начала маневра на расхождение судов в открытом море // Морской транспорт. Серия «Безопасность мореплавания». Экспресс-информация. — М. : В/О «МТИР», 1985. — Вып. 2 (174). — С. 16—18.
3. Показатели уровня безопасности системы взаимодействующих судов / И. А. Бурмака // Судовождение. — 2013. — Вып. 23. — С. 21—24.
4. Скороходов С. В. Оценка характеристик навигационной безопасности плавания судна : дис. ... кандидата технических наук : Новороссийск, 1998. — 160 с.
5. Коноплев М.А. Применение аппарата нечеткой логики для определения уровня опасности столкновения // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 2. — С. 34—39.
6. Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. — М. : Физматлит, 2001. — 224 с.
7. Мелихов А. Н., Берштейн Л. Е., Коровин С. Д. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. — М. : Наука, 1990. — 272 с.
8. Клименко В. Д. Разработка методов количественного учета влияния человеческого фактора на безопасность судна : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.19. — СПб. — 2003. — 24 с.
9. Клименко В. Д. Учет человеческого фактора в судоходных компаниях [Текст] / В. Д. Клименко, А. Е. Сазонов // Морские информационные технологии. — СПб. : Изд-во «Элмор», 2002. — Вып. 2. — С. 9—20.
10. Клыков Ю. И. Ситуационное управление большими системами. — М. : Энергия, 1974. — 136 с.
11. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л. Л. Вагущенко, А. Л. Вагущенко. — Одесса : Феникс, 2010. — 229 с. ■

І. П. Масик, аспірант кафедри технічних систем і процесів управління в судноводінні, Київська державна академія водного транспорту ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, м. Київ