УДК 656.61:004.8

КОГНІТИВНА МОДЕЛЬ БЕЗПЕЧНОГО РУХУ СУДНА У СТИСНЕНИХ ВОДАХ

В. І. Чебан, О. В. Бажак

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Анотація: *Одним з найактуальніших і найскладніших завдань сучасного судноводіння є завдання із забезпечення безпеки мореплавання. При цьому найбільш небезпечними для плавання вважаються обмежені акваторії, на які припадає найбільша кількість аварійних випадків, що мали місце. При плаванні в цих акваторіях управління судном, як правило, здійснюється в ручному режимі, завдяки чому його результати значною мірою залежать від людини, її кваліфікації, досвіду та поінформованості. Ефективне автоматизоване визначення параметрів стану судна, як і вирішення завдань управління його безпечним рухом неможливе без наявності якісної моделі руху судна, яка б у реальних умовах плавання відображала особливості поведінки саме того судна, на якому модель працює. В результаті проведених досліджень здійснено аналіз існуючих підходів до синтезу моделей руху судна, який дозволив встановити, що одним із варіантів підвищення точності моделювання стану судна є використання когнітивних моделей. Розроблено методику та структуру системи побудови когнітивної моделі безпечного руху судна, яка використовує результати вимірювань станів та умов плавання судна протягом регулярних рейсів. Порівняльний аналіз роботи запропонованої авторами моделі на основі використання інтервальних нечітких множин першого типу з традиційними моделями руху судна, які описуються аналітичними рівняннями, та моделями на основі використання класичних нечітких множин першого типу показав значну ефективність нової моделі.*

Ключові слова: *когнітивна модель, рух судна, нечітка множина, нечітка логіка, безпека судноплавства, фактор.*

COGNITIVE MODEL OF SAFE SHIP MOVEMENT IN NATURAL WATERS

V. I. Cheban, O. V. Bazhak

Danube Institute of Water Transport,
State University of Infrastructure and Technologies

Abstract: *One of the most urgent and complex tasks of modern navigation is the task of ensuring the safety of navigation. At the same time, the most dangerous for navigation are limited water areas, which account for the largest number of accidents that have occurred. When sailing in these waters, the ship is usually controlled manually, due to which its results largely depend on the person, his qualifications, experience and awareness. An effective automated determination of the parameters of the state of the ship and solving the problems of managing its safe movement is impossible without the presence of a high-quality model of the movement of the ship, which in real navigation conditions reflected the behavior of the ship on which the model works. As a result of the research, an analysis of existing approaches to the synthesis of ship motion models was carried out, which made it possible to establish that one of the options for improving the accuracy of modeling the state of the ship is the use of cognitive models. A technique and structure of a system for*

constructing a cognitive model of the safe movement of a vessel, which uses the results of measurements of the states and conditions of navigation of a vessel during regular voyages, has been developed. A comparative analysis of the work of the model proposed by the authors based on the use of interval fuzzy sets of the first type with traditional ship motion models described by analytical equations, and models based on the use of classical fuzzy sets of the first type showed a significant effectiveness of the new model.

Key words: *cognitive model, vessel movement, fuzzy plural, fuzzy logic, safety of navigation, factor.*

Одним з найактуальніших і найскладніших завдань сучасного судноводіння є завдання із забезпечення безпеки мореплавання. При цьому найбільш небезпечними для плавання вважаються обмежені акваторії, на які припадає найбільша кількість аварійних випадків, що мали місце. При плаванні в цих акваторіях управління судном, як правило, здійснюється в ручному режимі, завдяки чому його результати значною мірою залежать від людини, її кваліфікації, досвіду та поінформованості. Актуальність розглянутого завдання обумовлена насамперед тяжкими наслідками аварійних випадків, складність обумовлена її багатофакторністю. Одними з найбільш значущих факторів аварійності є наявність помилок в оцінці поточної навігаційної обстановки, відсутність достовірної інформації про розвиток процесу та оцінки ступеня небезпеки цього процесу. При цьому можливості особового складу судна, що стосуються оцінки ступеня складності та небезпеки поточної ситуації, а особливо прийняття ефективних рішень, що забезпечують вихід із небезпечних ситуацій, обмежені через вплив перелічених вище факторів.

Існуючі на даний час суднові електронні картографічні навігаційно-інформаційні системи істотно розвантажують особовий склад судна від рутинної роботи, пов'язаної з вирішенням формальних навігаційних завдань, розширюють склад його інформаційної бази, полегшують доступ до необхідної інформації, надають інформацію у зручному для оцінки ситуації вигляді. Все це сприяє концентрації зусиль при судноводінні безпосередньо на оцінці поточної ситуації та прийнятті управлінських рішень, але залишається значна кількість різних умов, які істотно впливають на якість прийнятих рішень:

- висока відповідальність за прийняте рішення, обумовлена значними можливими негативними його наслідками;
- необхідність врахування значної кількості факторів (умов плавання, динамічних характеристик судна, характеру завдання, рівня підготовки та ступеня злагодженості дії екіпажу, стан машин і механізмів та ін.), що мають різну природу, і випадковий характер;
- відсутність повної та достовірної інформації, необхідної судноводію для прийняття рішень;
- різноманіття можливих ситуацій як штатних, так і позаштатних, які потребують оперативного прийняття рішення;
- обмежений час на ухвалення рішення, особливо у разі виникнення аварійних ситуацій;
- наявність досвіду прийняття рішень при виникненні позаштатних ситуацій.

У цих умовах особливої актуальності набуває додаткова інформація для прийняття рішень для забезпечення безпечного руху судна. Вона дозволяє як визначати майбутній стан судна, так і оцінити ступінь поточної небезпеки, а за наявності відповідної бази знань – дати рекомендації особовому складу судна щодо виходу з небезпечної ситуації.

Ефективне автоматизоване визначення параметрів стану судна, як і вирішення завдань управління його безпечним рухом, неможливе без наявності якісної моделі руху судна, яка б у реальних умовах плавання відображала особливості поведінки саме того судна, на якому модель працює. Зазвичай, в основі моделей руху судна лежать відповідні аналітичні рівняння руху. Однак ці моделі мають ряд істотних недоліків, основними з яких є:

- досить складна структура рівнянь, які наближено описують рух судна, що ускладнює ідентифікацію його параметрів;
- значна залежність коефіцієнтів рівнянь від технічних параметрів судна, його поточного стану та умов плавання, що суттєво ускладнює вибір найкращих їх значень для формування необхідної інформації.

Зазначені обставини визначають актуальність використання теорії штучного інтелекту для побудови когнітивних моделей безпечного руху судна.

У якості математичного апарату для побудови когнітивних моделей руху судна в деяких роботах пропонується використовувати теорію нечітких множин і нечіткої логіки першого типу. Нечіткі моделі є найкращими апроксиматорами безперервних процесів та їх похідних, які не вимагають математичного опису об'єкта управління або процесу, досить прості за структурою. Останнім часом активний розвиток отримали розширення нечітких множин першого типу, зокрема, нечіткі множини другого типу та інтервальні нечіткі множини першого типу.

У даній доповіді з метою підвищення ефективності когнітивних моделей безпечного руху судна пропонується використовувати інтервальні нечіткі множини другого типу (ІНМТ2).

Формально під ІНМТ2 розумітимемо нечітку множину типу 2, чиї всі вторинні ступені $f_x(u) \equiv \mu_{\tilde{A}}(x,u)$ дорівнюють 1, і яке представляється:

- у разі безперервних (нескінченних) X і J_x як:

$$\tilde{A} = \int_x \int_u \frac{1}{(x,u)}, \quad u \in J_x \subseteq U = [0,1], x \in X$$

,

або

$$\tilde{A} = \int_x \frac{\left[\int_u \frac{1}{u}\right]}{x}, \quad u \in J_x \subseteq U = [0,1], x \in X$$

;

- у разі дискретних (кінцевих) X і J_x як:

$$\tilde{A} = \sum_{j=1}^{N} \frac{\left[\sum_{i=1}^{M_j} \frac{1}{u_i}\right]}{x_j}, \quad u \in J_x \subseteq U = [0,1], x \in X$$

або як множина:

$$\tilde{A} = \left\{\left((x,u),1\right) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq U = [0,1]\right\},$$

де x – первинна змінна $x \in X$;

X – універсальна множина об'єктів наочної області;

u – вторинна змінна $u \in J_x$;

J_x – первинна приналежність $J_x \subseteq U$;

U – область визначення первинної приналежності $U = [0,1]$;

$f_x(u) \equiv \mu_A(x,u)$ – вторинний ступінь, що дорівнює 1.

Ефективність використання ІНМТ2 для розв'язання цієї задачі практично не досліджена, у той час як вони знайшли досить успішні застосування в багатьох технічних та прогностичних системах.

Таким чином, метою досліджень, що проводяться в роботі, є розробка методики побудови когнітивних моделей безпечного руху судна на основі ІНМТ2, ґрунтуючись на результатах вимірювань протягом регулярних рейсів параметрів станів судна та умов його плавання, а також оцінка якості їх роботи у задачі визначення параметрів стану судна.

У ході дослідження було вирішено такі завдання:

- проведено аналіз основних варіантів побудови моделей руху судна;
- розроблено загальну (неформальну) методику побудови моделей руху судна на основі існуючої інформації про рух судна;
- виконано побудову моделі руху судна з використанням апарату ІНМТ2 та оцінку якості її роботи;
- виконано порівняння роботи запропонованої авторами моделі з традиційними моделями руху судна, які описуються аналітичними рівняннями, та моделями на основі використання класичних нечітких множин першого типу.

Порівняльний аналіз програмних реалізацій різних моделей здійснювався з використанням програмних продуктів Mathcad (при побудові аналітичних моделей) та Matlab (при побудові нечітких моделей першого та другого типів).

Практична значимість одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані в роботі підходи до побудови когнітивних моделей безпечного руху судна на основі ІНМТ2 дозволяють підвищити ефективність визначення та контролю параметрів руху судна як у складі суднової навігаційно-інформаційної системи, так і у складі програмного забезпечення бортового комп'ютера.

Висновки. В результаті проведених досліджень проведено аналіз існуючих підходів до синтезу моделей руху судна, який дозволив встановити, що одним із варіантів підвищення точності моделювання стану судна є використання

когнітивних моделей. Розроблено методику та структуру системи побудови когнітивної моделі безпечного руху судна, яка використовує результати вимірювань станів та умов плавання судна протягом регулярних рейсів. Порівняльний аналіз роботи запропонованої авторами моделі на основі використання інтервальних нечітких множин першого типу з традиційними моделями руху судна, які описуються аналітичними рівняннями, та моделями на основі використання класичних нечітких множин першого типу показав значну ефективність нової моделі. Методика побудови когнітивної моделі безпечного руху судна, запропонована в роботі, є реалізуємою програмно і може бути використана на суднах як у складі навігаційно-інформаційних систем, так і у складі програмного забезпечення бортового комп'ютера.

ЛІТЕРАТУРА

1. Cisek, P., and Kalaska, J. F. (2010). Neural mechanisms for interacting with a world full of action choices. Annu. Rev. Neurosci. 33, 269–298.
2. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении. Одесса: Морской тренажерный центр, 2002. 208 с.
3. Вильский Г. Б., Мальцев А. С., Бездольный В. В., Гончаров Е. И. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов. Одесса – Николаев: Феникс, 2007. 456 с.
4. Hope, T., Stoianov, I., and Zorzi, M. (2010). Through neural stimulation to behaviour manipulation: a novel method for analysing dynamical cognitive models. Cogn. Sci. 34, 406–433.
5. Cangelosi, A., and Schlesinger, M. (2013). Developmental Robotics: From Babies to Robots. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.
6. Cisek, P. (2012). Making decisions through a distributed consensus. Curr. Opin. Neurobiol. 22, 927–936.
7. Олизаренко С. А., Перепелица А. В., Капранов В. А. Интервальные нечеткие множества типа 2. Терминология, представление, операции. Системи обробки інформації. Харків: ХУПС, 2011. Вип. 2 (92). С. 39–45.
8. Олизаренко С. А., Перепелица А. В., Капранов В. А. Нечеткие логические системы интервального типа 2. Архитектура и механизм вывода. *Системи обробки інформації.* 2011. Вип. 5 (95). С. 156–164.
9. Castillo O., Melin P. Type-2 Fuzzy Logic Theory and Applications. Berlin : Springer-Verlag, 2008. 223 p.
10. Mendel J. M., Hagras H., John R. I. Standard Background Material About Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems. *IEEE CIS Standards Committee.*URL: http://ieee-cis.org/technical/standards. (дата звернення : 12.01.2022)
11. Karnik N. N., Mendel J. M. Operations on type-2 fuzzy sets, Int. J. Fuzzy Sets Syst., 2001. Vol. 122. pp. 327–348.

Чебан Валерій Іларіонович *старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Ізмаїл. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9662-8617; chebval48@gmail.com.*

Бажак Ольга Валеріївна *старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Ізмаїл. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0598-5235; olyabazhak@gmail.com.*