УДК 656.61:004.8

РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ БАЗИ ЗНАНЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДНА

О. А. Дакі
Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Анотація: *Завдання автоматичного чи автоматизованого управління рухом судна є, як правило, складно формалізованими, які не мають адекватного математичного уявлення. Одним із ефективних підходів до вирішення завдань подібного класу є підхід, що базується на розробці автоматичних або автоматизованих систем управління як інтелектуальних систем. Основним елементом інтелектуальних систем автоматичного управління рухом судна є база знань. Водночас в предметній області, що розглядається, має місце суперечність, яка полягає, з одного боку, у необхідності промислової побудови бази знань інтелектуальної системи автоматичного управління рухом судна на основі сучасних математичних методів та моделей, з іншого боку, в обмежених можливостях існуючих підходів до розробки подібного класу систем та відповідних баз знань при комплексному представленні та накопиченні знань про процеси автоматичного чи автоматизованого управління судном за умов нестохастичної невизначеності. Метою даної роботи є аналіз існуючих досліджень в галузі автоматичного чи автоматизованого управління рухом судна, а також розробка пропозицій щодо інформаційної технології побудови бази знань інтелектуальної системи автоматичного управління рухом судна з використанням глибоких нейронних мереж та інтервальних нечітких логічних моделей.*

Ключові слова: *інформаційна технологія, база знань, автоматичне (автоматизоване управління), рух судна, нейронна мережа, нечітка модель, ефективність.*

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE TECHNOLOGY OF BUILDING THE KNOWLEDGE BASE OF THE INTELLECTUAL SYSTEM OF AUTOMATIC SHIP CONTROL

O. A. Daki
Danube Institute of Water Transport,
State University of Infrastructure and Technologies

Abstract: *The tasks of automatic or automated ship motion control are, as a rule, complexly formalized, not having an adequate mathematical representation. One of the effective approaches to solving problems of this class is an approach based on the development of automatic or automated control systems as intelligent systems. The main element of intelligent systems for automatic control of vessel movement is the knowledge base. At the same time, there is a contradiction in the subject area under consideration, consisting, on the one hand, in the need for industrial development of the knowledge base of an intelligent system for automatic control of the movement of a vessel based on modern mathematical methods and models, on the other hand, in the limited capabilities of existing approaches to the development of such a class of systems and corresponding knowledge bases with a comprehensive representation and accumulation of knowledge about the processes of automatic or automated control of a ship under conditions of non-stochastic uncertainty. The purpose of this work is to analyze existing research in the field of automatic or automated ship motion control, as*

well as to develop proposals for information technology for building a knowledge base for an intelligent automatic ship motion control system using deep neural networks and interval fuzzy logic models.

Keywords: *information technology, knowledge base, automatic (automated control), vessel movement, neural network, fuzzy model, efficiency.*

Завдання автоматичного чи автоматизованого управління рухом судна є, як правило, складно формалізованими, які не мають адекватного математичного представлення. Одним із ефективних підходів до вирішення завдань подібного класу є підхід, що базується на розробці автоматичних або автоматизованих систем управління як інтелектуальних систем.

На даний момент існує значна кількість досліджень, присвячених окремим питанням автоматичного або автоматизованого управління судном з використанням моделей та методів штучного інтелекту, зокрема, математичного апарату нейронних мереж, нечітких множин та нечіткої логіки [1–7]. До того ж судно розглядається як складний об'єкт, що функціонує у недостовірно відомому середовищі та різноманітних умовах, опис яких є неповним в умовах нестохастичної невизначеності.

Основним елементом інтелектуальних систем автоматичного управління (ІСАУ) рухом судна є база знань (БЗ), яка є сукупністю правил, фактів, механізмів виведення, реалізованих на основі використання нейромережевих, нечітких або гібридних (нечітких нейромережевих) моделей. Розробка БЗ є одним із найбільш трудомістких етапів при створенні інтелектуальних систем. Водночас питання комплексного підходу до побудови БЗ на промисловому рівні для представлення та накопичення знань про процеси автоматичного управління рухом судна з використанням нейромереж та нечіткої логіки є недостатньо дослідженими. Для існуючих технологій розробки БЗ характерний досить умовний поділ даного процесу на нечітко сформульовані етапи, що ускладнює управління веденням процесу розробки, Це, у свою чергу, не дозволяє мінімізувати необхідний обсяг робіт зі створення БЗ, ускладнює розподіл функціональних обов'язків групи розробників тощо [6–8]. При цьому необхідно зазначити, що найефективнішими останнім часом у галузі теорії нейронних мереж є так звані глибокі нейронні мережі, наприклад, згорткові або рекурентні нейронні мережі [9–13], а в області теорії нечітких множин та нечіткої логіки – інтервальні нечіткі множини другого типу [14–16].

Розробці та використанню ІСАУ рухом судна присвячено низку робіт [1–5, 17]. Зокрема, у роботі [1] запропоновано та досліджено функціональну модель ІСАУ судном на базі нейромережевих технологій за різних погодних умов, швидкості та водотоннажності судна. У роботі [2] розроблена функціональна модель, що самоорганізується, системи автоматичного управління курсом судна на базі нейромережевих технологій, що дозволяє визначати оптимальний тип і структуру нейронної мережі, що моделює рух судна та використовується для вирішення навігаційних завдань. У роботі [3] виконано побудову нейронної мережі, яка прогнозує відносну швидкість судна за умов впливу зовнішніх факторів. У роботі [4] представлені моделі, що прогнозують рух судна та

побудовані на теорії нечітких множин, що дозволяє виключити необхідність використання диференціальних рівнянь для опису поведінки судна та дає можливість використовувати у процесі синтезу моделей експертні знання, а також забезпечити адекватність правил, за якими працює модель, реальним розумовим процесам судноводія. У роботі [5] обґрунтовано можливість, перспективність та ефективність застосування традиційних рекурентних нейронних мереж для вирішення завдань ідентифікації динаміки морських рухомих об'єктів. У роботі [17] запропоновано метод технічної реалізації регулятора систем управління курсом судна на базі гнучких програмованих логічних пристроїв з використанням штучних нейронних мереж, а також запропоновано метод розрахунку ефективності запропонованого нейронного регулятора управління курсом судна.

Однак питання створення та використання універсальної інформаційної технології для промислової розробки БЗ ІСАУ рухом судна в умовах невизначеності навколишнього середовища при неповній інформації з використанням останніх досягнень у галузі нечіткої логіки та глибокого навчання є недостатньо дослідженими (зокрема на основі глибоких нейронних мереж та інтервальних нечітких логічних моделей) [6–8, 10, 11], що визначає необхідність подальших досліджень у даній предметній галузі.

Таким чином, має місце суперечність, що полягає, з одного боку, у необхідності промислової побудови БЗ ІСАУ рухом судна на основі нейромереж та нечіткої логіки, а з іншого боку, – в обмежених можливостях існуючих підходів до розробки подібного класу систем та відповідних БЗ при комплексному представленні та накопиченні знань про процеси автоматичного чи автоматизованого управління судном за умов нестохастичної невизначеності. Розглянуте протиріччя визначає актуальність теми дослідження.

Метою даної роботи є аналіз існуючих студій в галузі автоматичного чи автоматизованого управління рухом судна, а також розробка пропозицій щодо інформаційної технології побудови бази знань інтелектуальної системи автоматичного управління рухом судна з використанням глибоких нейронних мереж та інтервальних нечітких логічних моделей.

Для досягнення поставленої мети в доповіді розглянуті результати вирішення таких пов’язаних часткових завдань:

- розробка структури та складу інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна;
- обґрунтування вибору нечіткої логічної моделі для формалізації процесу функціонування нечіткого регулятора ІСАУ рухом судна;
- обґрунтування вибору глибокої нейронної мережі для формального представлення моделі судна у рамках ІСАУ рухом судна;
- обґрунтування вибору глибокої нейронної мережі для формального представлення моделі нейромережевого аналізатора ІСАУ рухом судна;
- обґрунтування ефективності застосування інформаційної технології розробки БЗ ІСАУ рухом судна з використанням глибоких нейронних мереж та інтервальних нечітких логічних моделей.

До того ж у якості функціональної моделі ІСАУ рухом судна пропонується використовувати модифікацію функціональної моделі, запропонованої в роботі [2]. Модифікація даної моделі полягає у використанні як базового математичного апарату для формалізації процесів функціонування компонентів ІСАУ рухом судна глибоких нейронних мереж та інтервальних нечітких логічних моделей другого типу (рис. 1), де:

- НР – нечіткий регулятор ІСАУ рухом судна на основі інтервальних нечітких моделей другого типу;
- ОУ – об'єкт управління (судно);
- БО – блок оптимізації ІСАУ рухом судна;
- НСМ ОУ – нейромережева модель об'єкта управління (судна) ІСАУ рухом судна на основі глибоких нейронних мереж;
- НСА – нейромережевий аналізатор ІСАУ рухом судна на основі глибоких нейронних мереж.

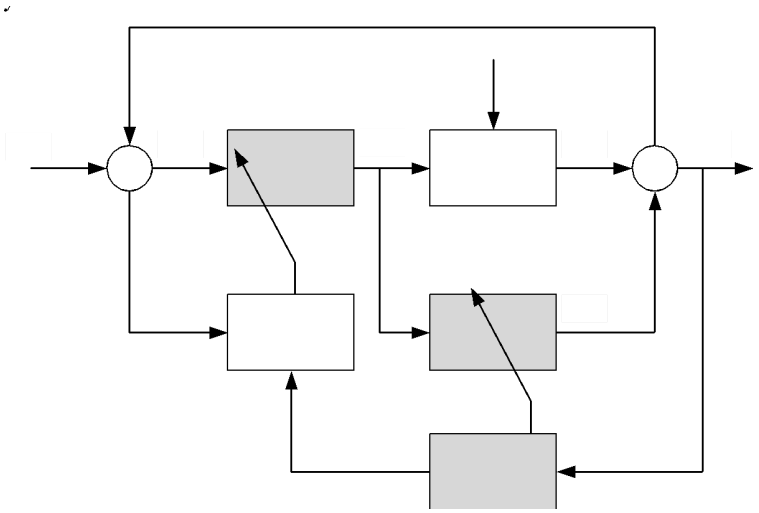

Рисунок 1 – Варіант функціональної моделі ІСАУ рухом судна

У якості показника ефективності застосування інформаційної технології побудови БЗ ІСАУ рухом судна розглядається обґрунтованість прийняття рішень щодо управління рухом судна з використанням БЗ ІСАУ. Обґрунтованість прийняття рішення залежить від важливості та способів врахування значущих факторів, що впливають на процес прийняття рішення, та оцінюється за таким виразом:

$$D = 1 - \sum_{j=1}^{4} \beta_j \cdot \sum_{i \in q_j} \alpha_i ,$$

де α_i – вага важливості обліку використовуваного підходу (без засобів автоматизації, з частковою автоматизацією без БЗ або з БЗ ІСАУ) *i*-го параметра (фактору) управління рухом судна у відносних одиницях;

q_j – множина параметрів (факторів), що враховуються у процесі управління рухом судна *j*-им способом узагальнення;

β_j – відносне середнє значення похибки, що вноситься до результатів прийняття рішення щодо управління рухом судна внаслідок неточного (узагальненого) обліку параметрів (факторів).

Висновки. Таким чином, у доповіді проведено детальний аналіз сучасних досліджень з розробки та використання ІСАУ рухом судна. За результатами аналізу виявлено протиріччя у предметній області та визначено мету досліджень щодо удосконалення процесу розробки та використання ІСАУ рухом судна. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішена низка пов’язаних часткових завдань щодо побудови БЗ ІСАУ рухом судна з використанням глибоких нейронних мереж та інтервальних нечітких логічних моделей. Визначено, що запропонована в роботі інформаційна технологія дозволяє реалізувати промислову розробку БЗ ІСАУ рухом судна з чітко визначеною та взаємопов'язаною сукупністю функцій-процесів, з можливістю подальшого розпаралелювання їх виконання з урахуванням особливостей знань про процеси управління судном, яке розглядається як об'єкт, що функціонує в недостовірно відомому середовищі та різноманітних умовах, опис яких є неповним в умовах нестохастичної невизначеності.

Перспективами подальших досліджень у цьому напрямі може бути розробка пропозицій щодо використання засобів автоматизованого проєктування БЗ ІСАУ рухом судна з урахуванням представлення технології, що розглядається, як сукупність функцій-процесів з розробки відповідної БЗ.

ЛІТЕРАТУРА

1. F. Nasse, C. Thurau, and G. A. Fink, “Face detection using gpu-based convolutional neural networks,” pp. 83–90, 2009.
2. Y. LeCun, U. Muller, J. Ben, E. Cosatto, and B. Flepp, “Off-road obstacle avoidance through end-to-end learning,” in Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS 2005). MIT Press, 2005.
3. R. Hadsell, P. Sermanet, M. Scoffier, A. Erkan, K. Kavackuoglu, U. Muller, and Y. LeCun, “Learning long-range vision for autonomous off-road driving,” Journal of Field Robotics, vol. 26, no. 2, pp. 120–144, February 2009.
4. J. Weston, F. Rattle, and R. Collobert, “Deep learning via semisupervised embedding,” in ICML, 2008.
5. R. Serrano-Gotarredona, M. Oster, P. Lichtsteiner, A. Linares-Barranco, R. Paz-Vicente,
F. Gomez-Rodr ´ ´ıguez, L. Camu nas-Mesa, R. Berner, M. Rivas-Perez, T. Delbr ´ uck, S.-C. Liu, R. Douglas, P. H ¨ afliger, ¨ G. Jimenez-Moreno, A. C. Ballcels, T. Serrano-Gotarredona, A. J. ´ Acosta-Jimenez, and B. Linares-Barranco, “Caviar: a 45k neuron, ´ 5m synapse, 12g connects/s aer hardware sensory-processing-learningactuating system for high-speed visual object recognition and tracking,” Trans. Neur. Netw., vol. 20, no. 9, pp. 1417–1438, 2009.
6. B. Boser, E. Sackinger, J. Bromley, Y. LeCun, and L. Jackel, “An analog neural network processor with programmable topology,” IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 26, no. 12, pp. 2017–2025, December 1991.
7. M. Osadchy, Y. LeCun, and M. Miller, “Synergistic face detection and pose estimation with energy-based models,” Journal of Machine Learning Research, vol. 8, pp. 1197–1215, May 2007. [17] F. Nasse, C. Thurau, and G. A. Fink, “Face detection using gpu-based convolutional neural networks,” pp. 83–90, 2009.

8. S. Lyu and E. P. Simoncelli, “Nonlinear image representation using divisive normalization,” in CVPR, 2008.

9. Антонио Джулли, Суджит Пал. Библиотека Keras – інструмент глубокого обучения. Реализация нейронных сетей с помощью библиотек Theano и TensorFlow / пер. с англ.
А. А. Слинкин. Москва : ДМК Пресс, 2018. 294 с.

10. Kaplan J. Artificial Intelligence: What Everyone Needs to Know. Oxford university press, 2016. 165 p.

11. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning (Adaptive Computation and Machine Learning series). Massachusets Institute of Technology, 2016. 767 p.

12. Anbarjafari G. Convolutional Neural Network Super Resolution for Face Recognition in Surveillance Monitoring. Springer. *Articulated Motion and Deformable Objects* : 9th International Conference, AMDO. 2016. Vol. 9756. P. 175.

13. LeCun Y., Kavukcuoglu K., Farabet C. Convolutional networks and applications in vision. *IEEE Int. Symposium on Circuits and Systems.* 2010. No. 4. P. 253–256.

14. Олизаренко С. А., Перепелица А. В., Капранов В. А. Нечеткие логические системы интервального типа 2. Архитектура и механизм вывода. *Системи обробки інформації.* Харків : ХУПС, 2011. Вип. 5(95). С. 156–164.

15. Castillo O., Melin P. Type-2 Fuzzy Logic Theory and Applications. Springer-Verlag, Berlin, 2008. 223 p.

16. Mendel J. M. Type-2 fuzzy sets and systems: an overview, IEEE Computational Intelligence Magazine. 2007. Vol. 2. P. 20–29.

17. M. Osadchy, Y. LeCun, and M. Miller, “Synergistic face detection and pose estimation with energy-based models,” Journal of Machine Learning Research, vol. 8, pp. 1197–1215, May 2007.

Дакі Олена Анатоліївна *д.т.н., професор, директор Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, м. Ізмаїл. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3932-462X; daki-olena@ukr.net*