Розвиток, бойове застосування та озбоєння авіації

УДК 681.51:623.592

DOI: 10.30748/nitps.2021.43.08

І.П. Мажара, О.І. Тимочко

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ НЕЧІТКИХ МЕРЕЖ

Нейронні мережі мають ряд переваг, необхідних для вирішення задачі моделювання інформаційної системи управління повітряним рухом. Але процес навчання мережі часто відбувається досить повільно. Для прискорення процесу навчання мережі ввести будь-яку апріорну інформацію (знання експерта) неможливо. До того ж аналіз навченої нейронної мережі досить складний, зазвичай вона являє собою чорний ящик для користувача. Усунути або мінімізувати існуючі недоліки нейронної мережі здатні системи на базі нечіткої логіки, які вирішують погано формалізовані задачі і пояснюють одержувані висновки роботи системи.

Ключові слова: управління повітряним рухом, група керівництва польотами, нейронні нечіткі мережі, правила нечітких продукцій.

Вступ

Постановка проблеми. На даному етапі свого розвитку теорія нечітких систем автоматичного управління (САУ) ще остаточно не сформувалася, оскільки до останнього часу основний упор при побудові нечітких САУ робився на практичний аспект їх впровадження. На початку свого становлення теорія нечітких множин була сприйнята неоднозначно: багато вчених стверджували, що введення Заде нечіткої логіки, заходи принципово не дає нічого нового в порівнянні з вже відомою ймовірнісною мірою. Довгий час практичне застосування теорії нечітких множин обмежувалося поданням і використанням знань в експертних системах. Однак, проблема стала можливою завдяки прогресу засобів обчислювальної техніки, промислова реалізація ХХ-го століття нечітких регуляторів, розроблених на основі класичних праць з теорії нечітких множин, мала відчутний ефект, що в свою чергу стимулювало подальші теоретичні дослідження в області розробки нечітких систем управління. Таким чином, як це не парадоксально, саме практика ефективного впровадження нечітких САУ, що будувалися в перший час найчастіше інтуїтивно, стимулювала великий інтерес і викликала появу маси теоретичних робіт в даній області. Більшість робіт по вище згаданий проблематиці ще не систематизовано у вигляді сформованих цілісних методик проектування, аналізу, синтезу, оптимізації та моделювання нечітких систем автоматичного управління. Також не сформувалася ще закінчена теорія побудови інтелектуальних

інформаційно-керуючих систем, яка органічно об'єднує в собі всі відомі методи штучного інтелекту, що не дозволяє поки однозначно оцінити і описати роль і місце в цій ієрархії засобів і методів теорії побудови інтелектуальних САУ, зокрема нечітких САУ, і теорії нечітких множин як однієї з її складових [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробкам застосування інформаційних технологій в управлінні на транспорті і технологій інтелектуального управління на основі нейронних нечітких мереж приділено велику увагу в працях багатьох вчених і дослідників: Сікірда Ю.В., Пальоний А.С., Артеменко О.В., Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С., Шмельова Т.Ф., Тимошенко А.С. та інших [2–7]; зарубіжних розробників: An Caris, Cathy Macharis, Gerrit K. Janssens, Teodor Gabriel Crainic, Michel Gendreau, Jean-Yves Potvin, Ronald R. Yager, Ching-Yu Tyan, Paul P. Wang, Dennis R. Bahler, Timon Chih-Ting Dua, Philip M. Wolfef, Vilém Novák, Witold Pedrycz та інших [8–9].

Таким чином, багато вчених своїми дослідженнями підтверджують, що використання інтелектуальних моделей в управлінні є засобом підвищення ефективності управління складними організаційними системами різних галузей діяльності. Разом з цим, стосовно специфіки управління повітряним рухом, глибина існуючих наукових досліджень з даної тематики не достатня. Залишаються неопрацьованим питання впливу системи управління на кінцеві результати діяльності осіб групи керівництва польо-

тами, недостатньо використовуються інтелектуальні інформаційні технології в системах підтримки прийняття управлінських рішень в умовах неповної невизначеності складних динамічних процесів формування потоків літаків, недостатньо визначена сукупність факторів і особливостей, що впливають на продуктивність осіб групи керівництва польотами.

Мета статті – розробка моделі процесу управління повітряним рухом на основі нейронних нечітких мереж.

Виклад основного матеріалу

Нечіткі системи управління знайшли широке застосування в умовах невизначеності, нечіткості інформації про систему, і умовах її функціонування, складності системи, неможливості або недоцільності її опису традиційними формалізуємими математичними методами або навіть неможливістю повноти опису [10–16]. Це означає, що значну частину відомостей про систему можна представити у вигляді експертної інформації або евристично описати процеси функціонування системи в формі нечітких правил або залежностей різного типу. Інформаційні системи управління повітряним рухом відносяться до такої системи.

Для опису об'єктів і явищ будь-якої системи вводяться поняття нечіткої множини, нечіткої і лінгвістичної змінної.

Поняття нечіткої множини дозволяє формалізувати лінгвістичну інформацію для побудови специфічних математичних моделей. Заде Л. визначив, що основу даного поняття становить уявлення про те, що елементи, які складають дану множину, володіють загальною властивістю, вони можуть володіти нею з різним ступенем і, отже, належати до цієї множини з різним ступенем [17–18].

Під штучними нейронними мережами в системах управління повітряним рухом мають на увазі обчислювальні структури, що складаються з великої кількості однотипних елементів, кожен з яких виконує відносно прості функції. Процеси в штучних нейронних мережах іноді асоціюють з процесами, що відбуваються в нервовій системі живих організмів [19]. За допомогою апарату штучних нейронних мереж в основному вирішуються завдання класифікації, кластеризації та розпізнавання образів. Однак в даний час нейронні мережі знаходять широке застосування, в тому числі в задачах управління [20].

Гібридна нейронна мережа – це нейронна мережа з нечіткими сигналами, вагами і активаційною функцією з використанням t – норми, t – конорми або деяких інших безперервних операцій. Входи, виходи і ваги гібридної нейронної мережі – дійсні числа, що належать відрізка $[0, 1]$.

В основу гібридних мереж лягли переваги систем з нечіткою логікою, в яких висновки робляться

на основі апарату нечіткої логіки, а відповідні функції приналежності підлаштовуються з використанням алгоритмів навчання нейронних мереж. Такі системи не тільки використовують апріорну інформацію, але можуть набувати нових знань і для користувача є логічно прозорими [21–22].

У даній роботі використана архітектура гібридної нейронної мережі ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) з логічним висновком Сугено.

База знань цієї мережі будується у вигляді сукупності правил нечітких продукцій (ПНП) і входних змінних, якими є фактори, що впливають на процес управління повітряним рухом. У загальному вигляді ПНП можна представити так:

$$\begin{aligned} P_i : x_1 = V_{1i} \quad i \quad x_{21} = V_{2i} \quad i \dots \quad x_n = V_{Ni}, \\ \text{то} \quad y_i = p_{io} + \sum_j^N p_{ij} x_j, \end{aligned} \quad (1)$$

де $i = 1, 2, \dots, M$.

Вихід системи – y_i (оцінка ефективності процесу).

При умові якщо $x_i = V_i$, то реалізується функція приналежності (фазифікація) сигмоїдного типу: $\mu V(x_i)$.

Вихід мережі при M правилах матиме вигляд:

$$y(x) = \frac{\sum_{i=1}^M w_i y_i(x)}{\sum_{i=1}^M w_i}, \quad (2)$$

$$y_i(x) = p_{io} + \sum_{j=1}^M p_{ij} x_j, \quad (3)$$

де w_i – вага (значимість компонентів $\mu V(x_i)$).

Тоді відповідно до формул (2) і (3) багатошарова нечітка нейронна мережа (ННМ) має вигляд, представлений на рис. 1.

ННМ в загальному вигляді може бути описана так [18]:

Перший шар: фазифікація кожної змінної.

Другий шар: агрегування окремих змінних, визначення ваг w_i для x_i , визначення результуючого коефіцієнта приналежності:

$$w_i = \mu_V^i(x). \quad (4)$$

Третій шар: генератор функції Сугено, розрахунок значень $y_i(x)$ за формулою (3); також розрахунок множення $w_i y_i(x)$, де w_i сформовані в попередньому шарі.

Четвертий шар: два нейрона-суматора – один розраховує суму сигналів $y_k(x)$, другий – суму ваг w_i , $i = 1, 2, \dots, N$.

П'ятий шар: один нейрон – це нормалізуючий шар, в якому вихідний сигнал агрегується за формулою (2).

Рис. 1. Нечітка нейрона мережа
Джерело: розроблено авторами.

Висновки

Таким чином, розроблена модель процесу управління повітряним рухом на основі нейронних нечітких мереж має ряд переваг, необхідних для вирішення задачі моделювання інформаційної системи управління повітряним рухом. Але процес навчання мережі часто відбувається досить повільно. Для прискорення процесу навчання мережі ввести

будь-яку апіорну інформацію (знання експерта) неможливо. До того ж аналіз навченої нейронної мережі досить складний, зазвичай вона являє собою чорний ящик для користувача. Усунути або мінімізувати існуючі недоліки нейронної мережі здатні системи на базі нечіткої логіки, які вирішують погано формалізовані задачі і пояснюють одержувані висновки роботи системи.

Список літератури

1. Гладкий А.А. Системи керування з нечіткою логікою [Електронний ресурс] / А.А. Гладкий. – Режим доступу: <https://scinse.donntu.edu.ua/sp/hladkiy/diss/indexu.htm>.
2. Сікірда Ю.В. Нейросіткова модель інформаційної підтримки оператора авіаційної ергатичної системи в особливих випадках польоту / Ю.В. Сікірда // Автоматика-2003: 10-а міжнар. конф. по автоматичному управлінню, Севастополь, 15-20 верес. 2003 р.: тези доповідей. – Севастополь: СевНТУ, 2003. – С. 109.
3. Пальоний А.С. Розробка методу і моделей оцінки діяльності авіадиспетчерів / А.С. Пальоний // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. 3. – С. 120-127.
4. Артеменко О.В. Построение нейросетевой модели анализа возможности выполнения полета / О.В. Артеменко, Т.Ф. Шмельова, А.С. Тимошенко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2012. – Вип. 1 (21). – Т. 2. – С. 68-74.
5. Дранишников Л.В. Интеллектуальні методи в управлінні / Л.В. Дранишников; Мін-во освіти і науки України. – Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 416 с.
6. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – Горячая Линия-Телеком, 2007. – 284 с.
7. Levchenko N. Optimization of hard formalized processes using fuzzy neural model / N. Levchenko. // Asia-Pacific Journal of Marine Science&Education. – 2012. – Vol. 2, No. 1. – P. 101-111.
8. Vilém Novák. Reasoning about mathematical fuzzy logic and its future / Novák Vilém // Fuzzy Sets and Systems. – April 2012. – Vol. 192. – P. 25-44.

9. Witold Pedrycz. Genetic tolerance fuzzy neural networks: From data to fuzzy hyperboxes / Pedrycz Witold // Neurocomputing. – March 2007. – Vol. 70. – Iss. 7–9. – P. 1403-1413.
10. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс] / С.Д.Штовба. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>.
11. Гибридные нейросетевые методы моделирования сложных объектов: монография [Электронный ресурс] / А.А. Усков, С.А. Котельников, Е.М. Грубник, В.М. Лаврушин // Режим доступа: <http://www.uskov.net/index.files/Page337.htm>.
12. Субботін С. О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей: монографія / С. О. Субботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – 375 с.
13. Матвійчук А. В. Виявлення і запобігання ефекту перенаванчання нейронної мережі / А. В. Матвійчук // Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія “Економічні науки”. – 2002. – Вип. 3. – С. 124-131.
14. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі / О.Г. Руденко, Є.В. Бодянский. – Х.: Компанія СМІТ, 2006. – 404 с.
15. Тимошук П.В. Штучні нейронні мережі / П.В. Тимошук. – Львів: Видавництво Львівська політехніка, 2011. – 444 с.
16. Доманецька І.М. Нейромережеві технології опрацювання природномовних текстів в адаптивних системах навчання / І.М. Доманецька, О.В. Федусенко, В.М. Хроленко // Штучний інтелект. – 2017. – № 3-4. – С. 24-32.
17. Доманецька І.М. Удосконалення змісту дисциплін спеціалізації “штучний інтелект” засобами хмарних технологій / І.М. Доманецька // VI міжнародна наукова-практична конференція “Управління розвитком технологій”. – Київ: КНУБА. – 2019. – С. 225-226.
18. Кононюк А.Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми / А.Ю. Кононюк. – Київ: Корнійчук, 2008. – 446 с.
19. Глибовець М.М. Еволюційні алгоритми схеми / М.М. Глибовець, Н.М. Гулаєва. – Київ: НаУКМА, 2013. – 828 с.
20. Глибовець, М.М. Гібридний генетичний алгоритм вирішення задачі оптимізації структури інтегральної схеми / М.М. Глибовець, С.С. Гороховський, О.В. Краткова // Інженерія програмного забезпечення. – 2011. – № 1. – С. 68-74.
21. Надригайло Т.Ж. Аналіз нейронних алгоритмів / Т.Ж. Надригайло, К.А. Молчанова // Математичне моделювання. – 2015. URL: <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/74/68/13-st13.pdf>.
22. Субботін С.О. Нейронні мережі / С.О. Субботін, А.О. Олійник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – 132 с.
23. Степанов Г.С. Погляди щодо проблемних питань застосування Повітряних Сил в протиповітряній обороні / Г.С. Степанов, В.В. Камінський, М.А. Павленко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – № 1(30). – С. 18-23. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.30.03>.
24. Шамко В.Є. Розвиток форм і способів застосування Повітряних Сил Збройних Сил України в сучасних умовах ведення збройної боротьби / В.Є. Шамко, О.М. Жарик, В.В. Коваль // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – № 2(31). – С. 9-15. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.01>.
25. Особливості автоматизації процесів вироблення рішень при оцінці повітряної обстановки на пунктах управління Повітряних Сил Збройних Сил України / Н.О. Королюк, А.В. Леонов, М.Р. Будков, Д.А. Литвин // Системи озброєння і військова техніка. – 2020. – № 1(61). – С. 106-112. <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.61.12>.

Надійшла до редколегії 18.03.2021

Схвалена до друку 13.04.2021

Відомості про авторів:

Мажара Ігор Петрович

старший викладач кафедри
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7986-4992>

Тимочко Олександр Іванович

доктор технічних наук професор
професор кафедри Харківського національного
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4154-7876>

Information about the authors:

Igor Mazhara

Senior Instructor of Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv National
Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7986-4992>

Olexandr Timochko

Doctor of Technical Sciences Professor
Professor of Department of Ivan Kozhedub
Kharkiv National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4154-7876>

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ

И.П. Мажара, А.И. Тимочко

Нейронные сети имеют ряд преимуществ, необходимых для решения задачи моделирования информационной системы управления воздушным движением. Но процесс обучения сети часто происходит достаточно медленно. Для ускорения процесса обучения сети ввести любую априорную информацию (знания эксперта) невозможно. К тому же анализ обученной нейронной сети достаточно сложный, обычно она представляет собой черный ящик пользователя. Устранить или минимизировать существующие недостатки нейронной сети способны системы на базе нечеткой логики, которые решают плохо формализованные задачи и объясняют получаемые выводы работы системы.

Ключевые слова: управление воздушным движением, группа руководства полеты, нейронные нечеткие сети, правила нечетких продукций.

MODEL OF AIR TRAFFIC CONTROL PROCESS BASED ON NEURAL FUZZY NETWORKS

I. Mazhara, O. Timochko

At this stage of its development, the theory of fuzzy automatic control systems has not yet been finally formed, because until recently the main emphasis in the construction of fuzzy automatic control systems was on the practical aspect of their implementation. At the beginning of its formation, the theory of fuzzy sets was perceived ambiguously: many scientists argued that the introduction of Zade fuzzy, the measure does not give anything new in comparison with the already known probability. For a long time, the practical application of fuzzy set theory was limited to the representation and use of knowledge in expert systems. However, due to the progress of computer technology, the industrial implementation of the twentieth century fuzzy controllers, developed on the basis of classical works on fuzzy set theory, had a significant effect, which in turn stimulated further theoretical research in the development of fuzzy control systems. Thus, paradoxically, it is the practice of effective implementation of fuzzy automatic control systems, built at first often intuitively, stimulated great interest and caused a lot of theoretical work in this area. Most of the work on the above issues has not yet been systematized in the form of integrated methods of design, analysis, synthesis, optimization and modeling of fuzzy automatic control systems. The purpose of the article is to develop a model of the air traffic control process based on neural fuzzy networks.

Neural networks have a number of advantages necessary to solve the problem of modeling the air traffic control information system. but the learning process of the network is often quite slow. it is impossible to enter any a priori information (expert knowledge) to speed up the network learning process. in addition, the analysis of a trained neural network is quite complex, it is usually a black box for the user. eliminate or minimize the existing shortcomings of the neural network are able to systems based on fuzzy logic, which solve poorly formalized problems and explain the conclusions of the system.

Keywords: air traffic control, flight management team, neural fuzzy networks, fuzzy product rules.