

М. Ю. Сорока

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

## МЕТОД АДАПТАЦІЇ ПОВЕДІНКИ АГЕНТІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ НАВЧАЛЬНІЙ СИСТЕМІ ПІДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

**Анотація.** В рамках агентно-орієнтованого підходу з метою підвищення варіативності середовища підготовки диспетчерів управління повітряним рухом у статті удосконалено метод адаптації поведінки агентів навчального середовища інтелектуальної навчальної системи, що ґрунтується на знаннях про результати взаємодії агентів. На етапі внесення змін до параметрів підсистеми планування при настоюванні систем моделювання поведінки агентів запропоновано використовувати механізм самонастроювання. Для управління процесом самонастроювання поведінки інтелектуальних агентів в статті розроблено інструментарій адаптації системи планування поведінки агента. Застосування моделей поведінки агентів із методами планування дозволить збільшити показник успішності реалізації очікуваної поведінки агентів при побудові інтелектуальних навчальних систем. Запропонований у статті підхід адаптації поведінки агентів навчального середовища інтелектуальної навчальної системи дозволить підвищити його варіативність. Як наслідок, така інтелектуальна навчальна система дозволить вивести на якісно новий рівень підготовку диспетчерів управління повітряним.

**Ключові слова:** агент, адаптація, диспетчер управління повітряним рухом, середовище інтелектуальної навчальної системи, мультиагентні системи, планування, самонастроювання, теорія нечітких множин, ефективність навчання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Розвиток методів штучного інтелекту та апаратних засобів дозволяє зробити висновок про перспективу використання інтелектуальних навчальних систем (ІНС) у підготовці диспетчерів управління повітряним рухом (УПР) для підвищення ефективності їх навчання та вдосконалення навчального процесу. Підготовка диспетчерів УПР потребує особливої уваги через високу "ціну помилки". Відомо ряд прикладних досліджень реалізації моделей та методів адаптивного навчання авіаційних фахівців. Проте однією з головних проблем досліджень в сфері побудови інтелектуальних навчальних систем залишається створення навчального середовища, що відповідає реальному світу. Усунення даної проблеми можливо шляхом застосування агентно-орієнтованого підходу та удосконалення моделей і методів планування поведінки агентів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідження, що розглядається у статті ґрунтується на відомих методах теорії нечітких множин та нечіткої логіки [1, 2].

Серед відомих робіт у галузі побудови мультиагентних систем та адаптації планів слід відзначити дослідження К.С. Амеліна [3], А.П. Карпенка [4], М.Г. Коляди [5]. Теорія адаптації розкрита в роботі [6], а її прикладне використання в навчальних системах в [7-12]. Дослідження методів побудови мультиагентних систем користуються увагою і закордонних авторів [13-16].

**Метою статті** є удосконалення методу адаптації поведінки агентів навчального середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, який ґрунтується на знаннях про результати взаємодії агентів, що дозволило підвищити варіативність середовища та правильність прийняття рішення диспетчерами управління повітряним рухом.

### Виклад основного матеріалу

Однією з найважливіших особливостей інтелектуальної поведінки є здатність об'єкта пристосовуватися до зміни стану навколишнього середовища (середовища його функціонування) і параметрів, що характеризують його власний стан. Одним зі способів забезпечення такої поведінки є наділення об'єкта властивостями адаптації. У рамках методу синтезу інтелектуальних агентів навчального середовища диспетчерів УПР за властивості адаптації пропонується реалізувати в моделі планування їх поведінки. Таким чином, адаптивне планування - це метод планування поведінки, що дозволяє пристосовуватися до зміни параметрів системи шляхом модифікації алгоритму планування за рахунок корегування структури підсистеми планування.

Корегування структури підсистеми планування пропонується забезпечити за допомогою механізму синтезу нових нечітких правил на основі існуючих, використовуючи поточні значення параметрів середовища функціонування і самого агента. Операцію синтезу вирішено виконувати за рахунок зміни таких параметрів як функції приналежності нечітких правил планування. Для реалізації даного підходу, нечіткому правилу ставляться у відповідність дві різні функції приналежності для різних станів моделі, тобто для деякого параметра  $x$ , що представляє собою характеристику агента, задається два граничних стани  $(x_1)$ ,  $(x_2)$ . Для даних станів у нечіткому правилі визначаються функції приналежності, відповідно  $(\mu_1)$ ,  $(\mu_2)$ . З метою оцінки поточного стану агента  $x^*$  використовується підхід, що розроблений в [1], який полягає у визначенні ступеня близькості  $\omega$  стану  $x^*$  до станів  $(x_1)$ ,  $(x_2)$ . Якщо  $\omega = 0$  у випадку стану  $(x_1)$  та  $\omega = 1$  у випадку стану  $(x_2)$ , то функцію приналежності для стану  $x^*$  у загальному випадку можна визначити як:

$$\mu^* = \mu_1(1-\omega) + \mu_2\omega, \quad (1)$$

або в графічному вигляді, як це представлено на рис. 1.

На рис. 1 функція приналежності  $\mu^*$  правила планування змінюється безперервно від  $\mu_1$  до  $\mu_2$  та

пропорційно зміні параметру стану агента  $x^*$  від  $x_1$  до  $x_2$ . Таким чином, нечітке адаптивне планування можна представити як метод планування, в якому здійснюється адаптація параметрів правил планування на основі формули (1) у відповідності зі станом агента та зовнішнім середовищем.

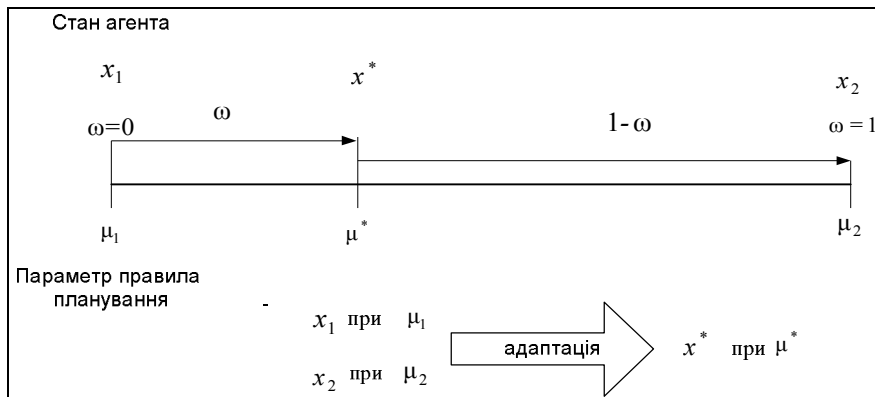


Рис. 1. Механізм адаптації нечіткого правила

Наведемо приклад нечіткої адаптації плану. Нехай деякому нечіткому правилу для граничних станів агента задані функції приналежності  $\mu_1$  до  $\mu_2$ , які базуються на функціях  $s$  та  $\pi$  класу, відповідно до [1, 2]. Для визначення  $\mu_1$  запишемо вираз:

$$\mu_1(x) = \mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \quad (2)$$

де  $\mu_A(x)$  – функція приналежності до нечіткої множини  $A \subseteq X$ ;  $\mu_B(x)$  – функція приналежності до нечіткої множини  $B \subseteq X$ .

Перепишемо формулу (2) у виді:

$$\mu(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \quad (3)$$

де  $\mu_A(x) = s(x; a, b, c), \quad (4)$

Функцію  $S$  запишемо як у [1, 2]:

$$s(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a; \\ 2 \cdot \left(\frac{x-a}{c-a}\right)^2, & a \leq x \leq b; \\ 1 - 2 \cdot \left(\frac{x-a}{c-a}\right)^2, & b \leq x \leq c; \\ 1, & x \geq c; \end{cases} \quad (5)$$

де  $a, b, c$  – параметри функції приналежності.

Для визначення  $\mu_B(x)$  використаємо формулу:

$$\mu_B(x) = \mu_A(x) \times (1-\omega), \quad (6)$$

Тоді, для значення  $\omega = 0,8$ , нечітку множину з функцією приналежності  $\mu_1(x, \omega)$  можна представити, як це показано на рис. 2.

Аналогічно, отримаємо для  $\mu_2$ :

$$\mu_2(x) = \min\{\mu_C(x), \mu_D(x)\}, \quad (7)$$

де  $\mu_C(x) = \pi(x, b, c)$ .

Для запису функції  $\pi$  використаємо, згідно [1, 2]:

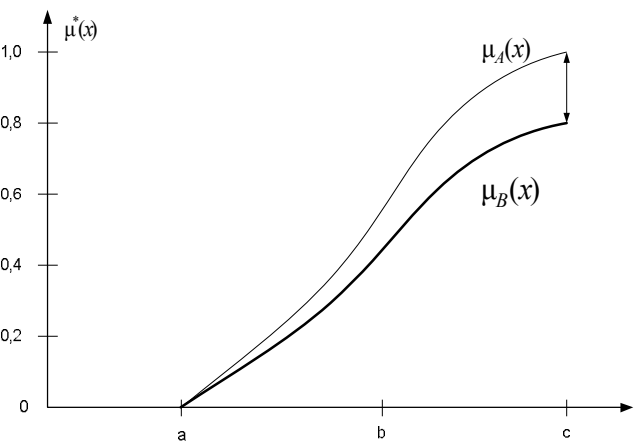


Рис. 2. Нечітка множина з функцією приналежності  $\mu_1(x, \omega)$

$$\pi(x; b, c) = \begin{cases} s(x; c-b, c-b/2, c); & x \leq c; \\ 1 - s(x; c, c+b/2, c+b); & x \geq c, \end{cases} \quad (8)$$

де  $b, c$  – параметри функції приналежності:

$$\mu_D(x) = \mu_C(x) \times \omega, \quad (9)$$

Тоді, наприклад, для значення  $\omega = 0,8$  нечітку множину з функцією приналежності  $\mu_2(x, \omega)$  має вигляд, наведений на рис. 3. Отже, адаптовану функцію приналежності можна представити як:

$$\mu^*(x, \omega) = \mu_1(x, \omega) \cup \mu_2(x, \omega) = \max\{\mu_1(x, \omega), \mu_2(x, \omega)\}, \quad (10)$$

Формулу (10) перепишемо у вигляді

$$\mu^*(x, \omega) = \max\{\mu_A(x) \times (1-\omega), \mu_C(x) \times \omega\}, \quad (11)$$

Тоді графічно нечітку множину з функцією приналежності  $\mu^*(x, \omega)$  для прикладу, що наведено на рис. 2, 3, можна представити формою (рис. 4).

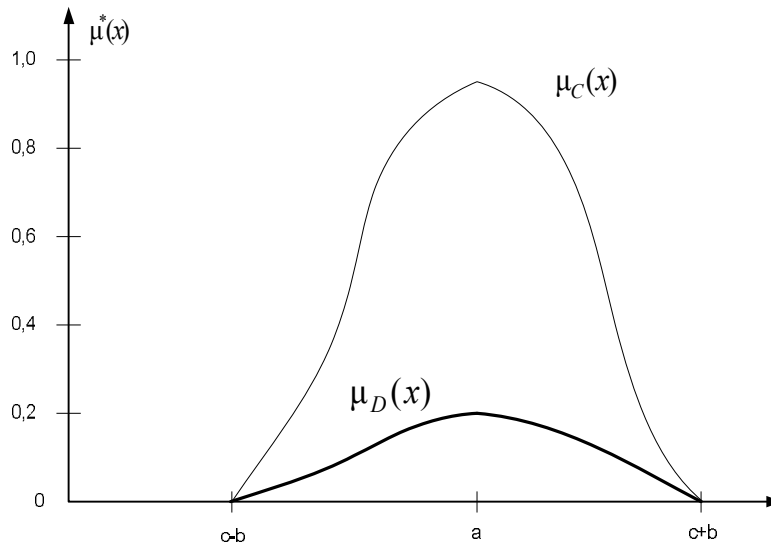


Рис. 3. Нечітка множина з функцією приналежності  $\mu_2(x, \omega)$

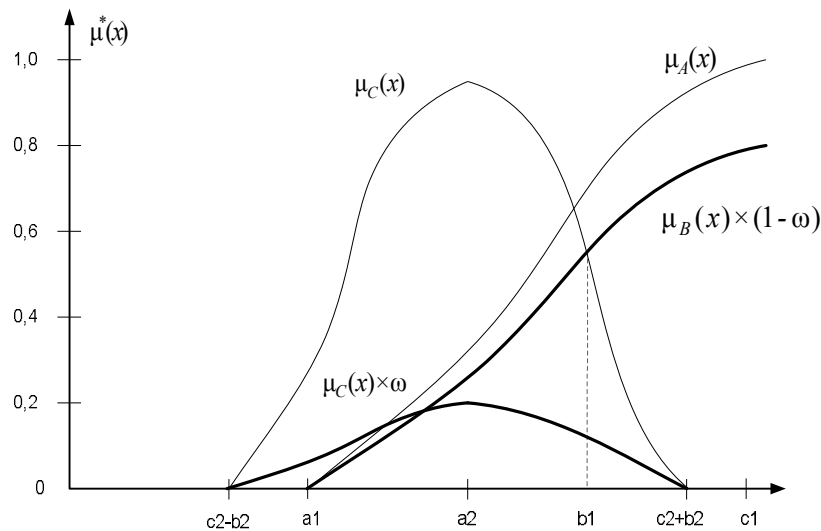


Рис. 4. Отримана в результаті адаптації нечітка множина з функцією приналежності  $\mu^*(x, \omega)$

В умовах значних змін у середовищі інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів УПР можливо отримати небажану поведінку агентів, що входять до її складу. У даних випадках зміну поведінки агентів пропонується здійснювати шляхом перенастроювання їх параметрів. У рамках розробленого підходу операцію настроювання системи моделювання поведінки інтелектуальних агентів пропонується виконувати автоматично за рахунок внесення змін до параметрів підсистеми планування, які налаштовуються, за допомогою механізму самонастроювання. З цією метою до множини параметрів системи планування необхідно включити підмножину параметрів  $V_T \subset V$ , які настроюються та підмножину поправок до цих параметрів  $V_{cor} \subset V$ .

Дані підмножини представимо так:  $V_T = \{v_i\}_{i \in I}$ ,  $V_{cor} = \{\Delta v_i\}_{i \in I}$ , де  $v_i$  – параметр, який настроюється;  $\Delta v_i$  – поправка до параметру  $v_i$ ;  $I = \{1, \dots, N\}$  – множина індексів;  $N$  – кількість таких параметрів.

Як інструментарій управління процесом самонастроювання в роботі використовується підмножина правил, яка представляється як  $R_{ST}^f \subset R$ , де  $R$  – множина правил системи планування поведінки інтелектуального агента.

Відповідно до розробленого інструментарію, адаптація системи планування поведінки агента починається, коли виконується правило  $st < 0$ :

$$st = \min \{ \mu_{P_1}(P_1), \mu_{P_2}(P_2), \dots, \mu_{P_L}(P_L) \}, \quad (12)$$

де  $st$  – параметр, який відхилення стану системи від еталонного значення;  $\mu_{P_i}(P_i)$  – значення функції приналежності, яка характеризує міру відхилення  $i$ -го контролюємого параметру агента  $P_i$ ,  $i = \{1, \dots, L\}$  від еталонного  $P_i^*$ ;  $L$  – кількість контролюємих параметрів;  $\Theta \in V_S$  – множина службових параметрів.

Відповідно, припинення самонастроювання відбувається у випадку, коли виконується така умо-

ва:  $st \geq 0$ . Настроювання параметрів моделі здійснюється чергово, щоб уникнути їх взаємного впливу на контрольовані характеристики агента. Вибір першого параметру (при початку роботи системи) або наступного параметра виконується на основі випадкового значення, отриманого з заданого інтервалу, розподіленого по нормальному закону. Кількість настроювань, зроблених підряд, одного параметра системи фіксується, і у випадку його перевищення константи  $k \in V_S$  виконується вибір наступного параметру налаштування.

### Висновки

В статті отримав подальший розвиток метод адаптації поведінки агентів навчального середовища

інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, який ґрунтується на знаннях про результати взаємодії агентів, що дозволило підвищити варіативність середовища.

На основі отриманих значень була проведена рекомбінація розробленого середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.

Отримані експериментальні дані дослідження інтелектуальних навчальних систем.

Застосування моделей поведінки з використанням методів планування дозволило збільшити показник успішності реалізації очікуваної поведінки агентів щодо існуючої системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. James V. Buckley, Esfandiar Eslami, Thomas Feuring. Fuzzy Mathematics in Economics and Engineering. – М.: Physica-Verlag, 2002. – 296 с.
2. Freerk A. Lootsma Fuzzy Logic for Planning and Decision Making (Applied Optimization, Vol. 8). – 2017.
3. Амелин К.С., Баклановский М.В., Граничин О.Н. и др. Адаптивная мультиагентная операционная система реального времени // Стохастическая оптимизация в информатике, 2013. - Т. 9. Вып. 1. - С. 3-16.
4. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. Методы и приложения / Л.А. Растринин.- Рига: Зинатне, 1981. - 375 с.
5. Карпенко А.П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор. [Текст] / А.П.Карпенко // Наука и образование – 2011. - №7. – С.2-64.
6. Шабалина О.А. Модели и методы для управления процессом обучения с помощью адаптивных обучающих систем: Дис...канд. техн. наук: 05.13.10 / О.А. Шабалина.- Астрахань, 2005.- 158 с.
7. Коляда М.Г. Виды моделей, обучаемых в автоматизированных обучающих системах / М.Г. Коляда // Искусственный интеллект, 2008, №2, С. 28-33.
8. Городецкий В.И. Многоагентные технологии для промышленных приложений: реальность и перспектива / В.И. Городецкий, П.О. Скобелев, А.В. Хабалов // Труды СПИИРАН. 2017. Вып. 6(55). С. 2-41.
9. Kuchuk N. Method for calculating of R-learning traffic peakedness / N. Kuchuk; O. Mozhaiev, M. Mozhaiev; H. Kuchuk // 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017. – 2017. – P. 359 – 362. URL : <http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
10. Mukhin, V., Kuchuk, N., Kosenko, N., Kuchuk, H. and Kosenko, V. (2020), "Decomposition Method for Synthesizing the Computer System Architecture, Advances in Intelligent Systems and Computing", AISC, vol. 938, pp 289-300, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_27)
11. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
12. Кучук Г.А. Метод дослідження фрактального мережного трафіка / ГА Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ІС, 2005. – Вип. 5 (45). – С. 74-84.
13. Leitao P., Vrba P. Recent Developments and Future Trends of Industrial Agents // Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing. 2011. LNCS 6867. pp. 15–28.
14. DeLoach S.A. Moving multi-agent systems from research to practice // International Journal Agent-Oriented Software Engineering. 2009. vol. 3. no. 4. pp. 378–382.
15. Müller J., Fisher K. Application Impact of Multi-agent Systems and Technologies: A Survey // Agent-oriented software engineering. 2014. pp. 27–53.
16. Bugaychenko, D. Y. MASL: A logic for the specification of multiagent real-time systems. // Proc. 5th International Central and Eastern European Conference on Multi-Agent Systems.- Leipzig (Germany): Springer-Verlag, 2017.- Pp. 183–192.

Received (Надійшла) 11.03.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.04.2020

### Agent behavior adaptation method in intelligent training manager preparation system air traffic control

M. Soroka

**Abstract.** In the framework of the agent-based approach, in order to increase the variability of the training environment for air traffic control dispatchers, the article improves the method for adapting the behavior of the agents of the learning environment of an intelligent learning system based on knowledge of the results of agent interactions. At the stage of making changes to the parameters of the planning subsystem, when insisting on agent behavior modeling systems, it is proposed to use the self-tuning mechanism. To manage the process of self-tuning the behavior of intelligent agents, the article developed a toolkit for adapting the agent behavior planning system. The use of agent behavior models with planning methods will increase the success rate for the implementation of the expected agent behavior in the construction of intelligent learning systems. The approach proposed in the article for adapting the behavior of the agents of the learning environment of the intellectual learning system will increase its variability. As a result, such an intelligent training system will bring to a new level the training of air traffic controllers.

**Keywords:** agent, adaptation, air traffic control manager, intelligent learning system environment, multiagent systems, planning, self-tuning, fuzzy set theory, learning efficiency.