МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬОТНА АКАДЕМІЯ
НАЦІОНАЛЬНОГО АВІАЦІЙНОЇ УНІВЕРСИТЕТУ

СОРОКА Михайло Юрійович

УДК 629.73:656.7.260

МЕТОДИ ПОБУДОВИ МУЛЬТИАГЕНТНОГО СЕРЕДОВИЩА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

05.22.13 – навігація та управління рухом

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Кропивницький – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Льотній академії Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук професор
Тимочко Олександр Іванович,
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба Міністерства оборони України, професор кафедри повітряної навігації та бойового управління авіацією

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Писарчук Олексій Олександрович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського Міністерства освіти та науки України,
професор кафедри обчислювальної техніки

кандидат технічних наук
Данілов Юрій Олександрович
Центральне управління Командування Сил логістики Збройних Сил України Міністерства оборони України, начальник відділу – заступник начальника управління

Захист відбудеться "18" грудня 2020 р. о 12^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 23.144.01 при Льотній академії Національного авіаційного університету за адресою:
250005, м. Кропивницький, вул. Добровольского, 1а

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Льотної академії Національного авіаційного університету за адресою:
25005, м. Кропивницький, вул. Добровольського, 1а.

Автореферат розісланий " 17 " листопада 2020 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 23.144.01 Ю.Г. Ковальов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність дослідження.

У сучасних системах управління повітряним рухом, що реалізовані з використанням інформаційних технологій, значна увага приділяється інтелектуальним засобам підготовки відповідних фахівців. На сьогоднішній день отримали розвиток навчальні системи, що ґрунтуються на моделях та методах штучного інтелекту. Ряд закордонних та вітчизняних науковців вважають, що зараз формується та активно розвивається новий напрямок наукових досліджень “штучний інтелект (ШІ) у навчальному процесі”. Даний напрямок включає методологію психологічних, дидактичних, педагогічних, психологічних, технічних, ергономічних досліджень щодо моделювання поведінки, мотивації людини в процесів засвоєння знань, яке базується на інженерії знань. Підвищення ефективності навчання, інтенсифікація навчального процесу для диспетчерів УПР та перехід на нові технології неможливі без створення інтелектуальних навчальних систем (ІНС).

Такі системи будуються на основі синтезу імітаційно-моделюючих комплексів у складі адаптивних тренажерів, реалізованих, як правило, у вигляді розподілених систем обробки даних і призначених для імітації поведінки середовища навчання.

Рівень підготовки диспетчерів УПР при застосуванні таких навчальних системах у значному ступені залежить від розробки моделей, методів і принципів прийняття рішень для максимальної реалізації їх функціональних можливостей. Складні організаційно-технічні системи (СОТС), до яких відноситься система УПР, у яких люди є складовою частиною, мають властивості активності, що характеризуються можливістю вибору і реалізації стратегії взаємодії, а також наявністю властивості розумної поведінки. Це означає, що такі ж властивості повинні бути реалізовані і в імітаторах обстановки, засобах взаємодії навчаємих.

На даний час створене технічне підґрунтя впровадження та використання інтелектуальних навчальних систем адаптивних тренажерів диспетчерів УПР. Однак потребують розвитку моделі та методи агентно-орінтованого підходу (АОП) для побудови програмного забезпечення імітаційно-моделюючих комплексів (ІМК). Одним із можливих способів реалізації таких комплексів є застосування мультиагентних систем. Розвиток мультиагентних систем, які здатні реалізувати інтелектуальне управління, дозволить розширити клас завдань процесу навчання диспетчерів УПР.

Проблемі побудові адаптивних тренажерних систем присвячена достатня кількість публікацій як вітчизняних, так і закордонних фахівців, на яких ґрунтуються дисертаційні дослідження. У межах теми наведеної роботи їх слід поділити на чотири значні групи:

а) теоретичні роботи в галузі ШІ та побудови мультиагентних систем (МАС);

б) загальнотеоретичні роботи з побудови адаптивних інтелектуальних навчальних систем (в т. ч. і з застосуванням АОП);

в) роботи щодо побудови адаптивних тренажерів авіаційних фахівців (зокрема, диспетчерів УПР);

г) роботи, присвячені педагогічним та дидактичним проблемам

автоматизованого навчання.

До першої групи віднесемо роботи Д.А. Поспєлова, Г.М. Попова, В.К. Фіна, К.С. Амеліна, О.П. Кузнєцова, Г.С. Осіпова, І.Б. Фоміних, В.Ф. Хорошевского, Основні підходи до моделювання мультиагентных систем з інтелектуальним поводженням на основі різних математичних апаратів досить докладно відображені в роботах В.І. Городецького, В.І. Варшавського, В.Б. Тарасова, О.В. Карасева, М. Вудриджа (M. Wooldridge), Н. Джепнингса (N. Jennings.), П. Мюллера (P. Muller). Однак практичне використання існуючих методів для побудови навчальних систем на основі мультиагентних систем вимагає проведення додаткових досліджень.

До другої групи віднесемо роботи С.Д. Айзінова, С.П. Борсука, І.І. Верещагіна, М.Б. Лазиріна, Ю.Ю. Громова, В.Є. Снитюка, P. Ardimento, N. Boffoli, V.N. Convertini, A.C. Graesser, S. Oxman, W. Wong, які досліджували принципи, моделі та методи побудови інтелектуальних навчальних систем. Роботи П.І. Федорука, В.Д. Гогунського, О.В. Нарожного, С.В. Титенка присвячені окремому класу навчальних систем – дистанційних, які використовують схожі моделі та методи.

До третьої групи віднесемо роботи А.Н. Горенкова, С.М. Неділька, А.С. Пальоного, К.Ю. Суркова, М.А. Павленка, О.І. Тимочка, В.Г. Чернова. Окремо слід відзначити роботу, в якій достатньо повно приводиться огляд мультиагентних систем прийняття рішення. Однак застосування мультиагентних систем у формуванні інтелектуальної навчальної системи (ІНС) адаптивних тренажерів диспетчерів УПР у даних роботах не розглянуто.

Четверта група джерел, на які спираються проведені в дисертаційній роботі дослідження представлена роботами: М.Є. Ломакіної, Образцова П.І., С.В. Сергєєва, Н.Ф. Тализіної, Н.К. Юркова, C.D. Wickens.

На думку даних авторів, застосування ІНС в адаптивних тренажерах диспетчерів УПР дозволить суттєво зменшити терміни підготовки диспетчерів УПР та заощадити на фінансових витратах, уникаючи негативного впливу на якість їх підготовки та безпеку польотів.

Відомі автоматизовані навчальні системи орієнтовані, як правило, на рішення окремих наукових і практичних завдань та не є комплексними системами інформаційного забезпечення й управління процесом навчання з урахуванням особливостей діяльності диспетчерів УПР. Такі системи застосовують методи інформатизації та автоматизації традиційного навчання. Розвиток МАС, що реалізують інтелектуальне управління процесом підготовки диспетчерів УПР, дозволить істотно розширити клас вирішуваних завдань процесу навчання і, таким чином, підвищити ефективність навчання. Основна роль при розробці інтелектуальних агентів навчальних систем відводиться методам планування їх поведінки. Саме застосування даних методів дозволяє реалізувати алгоритми, здатні адаптуватися до середовища функціонування ІНС і поведінці інших об'єктів у даній системі.

Таким чином, необхідно удосконалити існуючу систему професійної підготовки диспетчерів УПР за рахунок впровадження інтелектуальної навчальної системи адаптивної тренажної підготовки із застосуванням мультиагентних методів ШІ, що вимагає рішення актуального наукового завдання – *розробки методів*

побудови мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота є логічним продовженням досліджень з питань обґрунтування рекомендацій щодо побудови ефективної системи навчання диспетчерів УПР та створення ІНС для фахівців цивільної авіації, а саме науково-дослідних робіт, що проводилися за планами наукової та науково-технічної діяльності в Льотній академії Національного авіаційного університету: РК 0112U002683 "Розробка та впровадження віддаленої самостійної підтримки авіадиспетчерів на базі інтелектуальних тренажерів", номер ДР 0111U001980 "Розробка інформаційного та програмного забезпечення електронних засобів навчання операторів авіаційних систем", номер ДР 0118U001610 "Моделювання адаптивної професійної підготовки диспетчерів повітряного руху".

Вибраний напрямок досліджень тісно пов'язаний із Стратегічним планом розвитку авіаційного транспорту до 2020 року, затвердженим наказом Міністерства інфраструктури України №546 від 21.12.2015 р.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності навчання диспетчерів управління повітряним рухом, підвищення оперативності та правильності прийняття ними рішень.

Завдання дисертаційного дослідження спрямовані на досягнення мети та відповідають змісту дисертаційної роботи:

- провести аналіз сучасного стану підготовки диспетчерів УПР;
- провести аналіз агентно-орієнтованої технології розробки навчальних систем та довести актуальність її застосування в ІНС підготовки диспетчерів УПР;
- обґрунтувати показники та критерії оптимальності планування навчання із застосуванням мультиагентних систем;
- розробити моделі інтелектуального агента навчальної системи диспетчерів УПР та багатоагентної навчальної системи;
- удосконалити метод планування поведінки агентів в інтелектуальній навчальній системі підготовки диспетчерів УПР;
- удосконалити метод самонастроювання поведінки агентів навчального середовища інтелектуальної начальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом;
- оцінити ефективність розроблених методів та адекватність моделей;
- розробити рекомендації щодо впровадження інтелектуальної мультиагентної системи підготовки диспетчерів УПР у практику навчання.

Об'єкт дослідження: процеси підготовки диспетчерів УПР для управління повітряними судами за допомогою автоматизованих систем.

Предмет дослідження: моделі і методи побудови навчального середовища інтелектуальних навчальних систем підготовки диспетчерів УПР.

Методи дослідження. Наукові дослідження, проведені в дисертаційній роботі, ґрунтуються на використанні відомих методів:

системного аналізу – для пошуку проблемних питань створення навчальних систем підготовки диспетчерів УПР;

теорії множин та *теорії нечітких множин* – для розробки методів планування

поведінки інтелектуальних агентів навчальних систем;

методи математичного моделювання та математичної логіки – для формування моделей інтелектуальних агентів та їх поведінки;

синтезу – при формуванні структури системи адаптивної тренажерної підготовки диспетчерів УПР;

теорії ергономічного проектування – при аналізі діяльності диспетчера УПР, розробці та кодуванні інформаційних ознак для формування інформаційного середовища навчання, оцінки ефективності розробленої адаптивної тренажерної системи.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Удосконалена модель середовища навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, яка, на відміну від існуючих, ґрунтується на агентно-орієтованому підході, що дозволило створити об’єкти середовища зі змінною поведінкою та знаннями й надати навчальній системі ознак інтелектуальності.

2. Удосконалений метод планування поведінки агентів у середовищі навчальної системи диспетчерів управління повітряним рухом, що, на відміну від відомих, базується на модифікованому методі формування множини нечітких бінарних умов виконання і продовження елементарних планів з використанням набору нечітких правил, що дозволило підвищити ефективність навчання диспетчерів управління повітряним рухом.

3. Отримав подальший розвиток метод самонастроювання поведінки агентів навчального середовища інтелектуальної начальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, що, на відміну від відомих, ґрунтується на визначеному наборі нечітких правил, знаннях про результати взаємодії агентів, що дозволило підвищити варіативність опису ситуаційної обстановки та підвищити оперативність та правильність прийняття рішень диспетчерами управління повітряним рухом.

Обґрунтованість і вірогідність отриманих у роботі наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується результатами експериментів для оцінки впливу розроблених методів на оперативність і безпомилковість рішення завдань УПР; коректним використанням методів системного аналізу, теорії множин і нечітких множин на етапах моделювання, обробки експериментальних даних та аналізу результатів досліджень, а також залученням широкої наукової громадськості до апробації результатів роботи на наукових конференціях і їх публікації у визнаних наукових фахових виданнях.

Практичне значення отриманих результатів полягає у доведенні теоретичних методів до їх практичної реалізації. Застосування мультиагентного середовища та проведення повного циклу навчань дозволило знизити кількість помилок диспетчера повітряного руху на 10–18% залежно від типу потенційно-конфліктних ситуацій (ПКС) та обставин припущення ПКС, що засвідчує ефективність розроблених методів. Для різних умов відтворюваної повітряної обстановки розроблене середовище інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом переважає існуючі тренажери підготовки диспетчерів управління повітряним рухом на 16 – 22%.

Результати роботи впроваджені у практичну діяльність (акти ДП «КБ «Південне»» від 18.12.2019 та Харківського регіонального структурного підрозділу «Украерорух» від 19.05.2020).

Апробація результатів дисертаційної роботи.

Основні результати дисертаційної роботи було апробовано на: Міжнародній науково-практична конференція “Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем” (27-28 жовтня 2011 року, м. Кіровоград) [9]; III Міжнародній науково-практичній конференції “Управління рухомими об’єктами та професійна підготовка операторів складних систем” (27-28 листопада 2014 року, м. Кіровоград) [10]; X Міжнародній науково-практичної конференції «Modern information and innovation technologies in transport MINTT-2018» (29-31 травня 2018 року, м. Херсон) [11]; XI Міжнародній науково-практичної конференції «Modern information and innovation technologies in transport MINTT-2019» (28-30 травня 2019 року, м. Херсон) [12].

Публікації результатів дисертації.

Публікації по темі дисертації включають 6 наукових статей у наукових фахових виданнях, що індексуються міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних: Scientific Indexed Service, Index Copernicus, Academic Resource Index, Google Scholar, Open Academic Journals Index, General Jmpact Factor з них 1 (одна) без співавторів, 2 розділи колективних монографій (1 закордонне видання), 4 тезисів доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях.

Особистий внесок здобувача.

У дисертаційній роботі автором особисто розроблені моделі середовища мультиагентної інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом та методи планування поведінки агентів для підвищення варіативності опису ситуаційної обстановки.

Робота [6] виконана одноосібно. В роботах, що виконані у співавторстві, здобувачу належать такі положення:

в роботі [1] обґрунтовано вибір моделей та структуру мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів УПР;

в роботі [2] розроблено метод планування поведінки агентів в середовищі інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів УПР;

в роботі [3] розроблено метод побудови адаптивного тренажеру підготовки диспетчерів УПР;

в роботі [4] введені показники якості підготовки диспетчерів УПР, що дозволило в подальшому порівняти ефективність існуючих та розроблених методів;

в роботі [5] розроблено метод формування навчальних завдань для підготовки сучасних фахівців УПР;

в роботі [7] розроблено принципи побудови інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів УПР з урахуванням мультиагентного підходу;

в роботі [8] розроблено модель мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів УПР, яка прийнята базовою для дисертаційного дослідження.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу,

чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і 5 додатків. Загальний обсяг роботи становить 219 сторінок друкованого тексту, що включає 5 таблиць, 34 рисунків, 126 найменувань використаних джерел на 14 сторінках і 5 додатків на 41 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, визначений зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і визначено основні завдання, об’єкт, предмет і методи дослідження, подано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів із вказівкою відомостей про впровадження результатів роботи, описано особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію результатів роботи і про публікації, а також структуру роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз структури, моделей та методів побудови інтелектуальних навчальних систем підготовки диспетчерів УПР.

Однією з головних проблем досліджень у сфері побудови ІНС є проблема моделювання знань та розуміння осіб, які навчаються, а також планування навчального процесу відповідно до цих знань.

Розробка методу індивідуалізації підготовки з урахуванням індивідуальних особливостей диспетчера УПР дозволить підвищити якість його та підтримувати належний рівень навичок та вмінь. Адаптивне навчання при адекватній реалізації моделей і методів здатне підвищити ефективність навчання на 36%, порівняно з традиційним навчанням.

Важливим елементом ІНС, на який не достатньо звернуто увагу, є середовище ІНС – під яким розуміється сукупність методологічних, алгоритмічних та програмних засобів, що забезпечують функціонування самої системи. Центральним елементом середовища ІНС є ІМК, призначений для імітації роботи обладнання робочого місця диспетчера УПР, моделювання ситуацій, дій інших операторів, колективної поведінки груп, колективної роботи зміни та окремих представників.

Але в той самий час, як показали результати проведеного аналізу, найбільш розповсюдженим підходом до моделювання поведінки об'єктів у ІНС залишається типова схема поводження кінцевих автоматів:

$$S(t+1) = \psi\lfloor S(t), b(t)\rfloor; \tag{1}$$

$$p(t) = \Phi\lfloor S(t), b(t)\rfloor; \tag{2}$$

де $b(t)$ – вхідний сигнал в момент часу t; $S(t)$ – внутрішній стан автомату в момент часу t; вихідний сигнал, дії автомата в момент часу t.

Основним недоліком такого підходу до організації ІМК ІНС є передбачуваність дій об'єктів, навіть якщо система використовує випадкові показники. ІМК сучасних ІНС у більшості випадків реалізовані у вигляді складних розподілених програм. Одним з перспективних підходів до розробки таких систем є використання мультиагентних технологій. У зв'язку з цим у дисертаційній роботі використаний АОП до побудови середовища ІНС підготовки диспетчерів УПР. В основі реалізації інтелектуальної поведінки об’єктів у рамках даного підходу

пропонується використовувати методи планування поведінки інтелектуальних агентів.

Мультиагентна ІНС повинна містити агента, що генерує нові знання та модифікує онтологію предметної області згідно з концептами, зв’язками та коефіцієнтами їх важливості. Тоді завдання підвищення ефективності ІНС підготовки диспетчерів УПР за рахунок створення інтелектуального середовища на базі модифікованих методів планування поведінки інтелектуальних агентів можна представити в такий спосіб:

$$\tilde{Z} = F^*(M^*, P^*, C^*) \rightarrow opt, \qquad (3)$$

де $\tilde{Z} = \{z_1, z_2, ..., z_n\}$ – показники ефективності використання ІНС підготовки диспетчерів УПР в системі підготовки, що відповідають кінцевій меті функціонування системи Z^*.

$M^* = \{m_1, m_2, ..., m_k\}$ – методи планування поведінки інтелектуальних агентів в ІНС (к – кількість таких методів);

$P^* = \{\{p_{11}, p_{12}, ..., p_{1m_1}\}, \{p_{21}, p_{22}, ..., p_{2m_2}\}, ..., \{p_{k1}, p_{k2}, ..., p_{km_k}\}\}$ – можливі параметри елементів конфігурації ІНС, m_i – кількість параметрів і–го методу планування поведінки, $i = \{1, 2, ..., k\}$.

$C^* \geq C_D$; C_D – задана продуктивність ІНС підготовки диспетчерів УПР; $C = \{c_1, c_2, ..., c_j\}$ – показники продуктивності ІНС у системі підготовці диспетчерів УПР.

Підвищення ефективності ІНС підготовки диспетчерів УПР в цілому можливо за рахунок удосконалення методів планування поведінки інтелектуальних агентів та розширення їх функціональних можливостей.

Спираючи на результати проведеного аналізу, наведено перелік вимог для опису інтелектуального агента ІМК (середовища) ІНС підготовки диспетчерів УПР. Необхідність розроблення моделей та методів планування поведінки агентів пов’язана з підвищеною складністю обстановки, яку потрібно моделювати в ІМК ІНС підготовки диспетчерів УПР (рис. 1).

У другому розділі дисертаційного дослідження обґрунтовані обрані методи проведення дослідження для вирішення наукового завдання. Формується та приводиться схема дослідження та отримання результатів, вводяться допущення та обмеження щодо роботи. Вводяться показники та критерії оцінювання ефективності розроблених (удосконалених) моделей та методів планування поведінки інтелектуальних агентів у мультиагентному середовищі ІНС підготовки диспетчерів УПР. Проводиться порівняння методів планування та існуючих інструментальних засобів та технологій проектування. Основним результатом, отриманим у даному розділі є схема проведення дослідження, що використовується в подальших розділах для досягнення мети роботи. У результаті отримано логічну структуру та зв'язок методів та моделей, запропонованих для розробки.

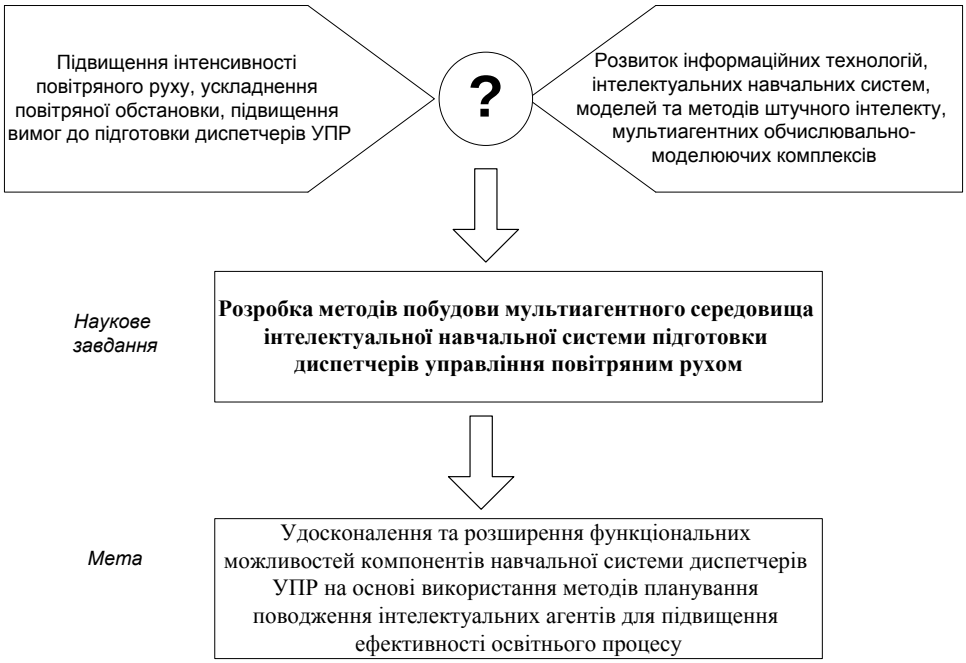

Рисунок 1 – Постановка наукового завдання

У третьому розділі наведено моделі та методи мультиагентного середовища ІНС підготовки диспетчерів УПР. Побудуємо математичну модель агента зі станами. У даному випадку агент задається кортежем:

$$AG = (S, A, env, I, refine, action) \tag{4}$$

де S – непорожня множина станів зовнішнього середовища; A – не порожня кінцева множина дій агентів; $env: S \times A \rightarrow 2^S$ функція поведінки зовнішнього середовища, яка співставляється з поточним станом зовнішнього середовища та обраною агентом дією не порожня множина можливих станів зовнішнього середовища.

Таким чином, дії інтелектуального агента ІНС можуть впливати на зовнішнє середовище, але не контролюють його повністю; I – не порожня кінцева множина внутрішніх станів інтелектуального агента; $refine: I(j-1) \times S(j) \rightarrow I(j)$ - функція відновлення станів, що співставляє попередньому внутрішньому стану агента $I(j-1)$ та новому стану зовнішнього середовища $S(j)$ новий внутрішній стан агента $I(j)$, де j – стан; $action: I \rightarrow A$ - функція прийняття рішення, що співставляє поточному внутрішньому стану агента деяку дію.

Для моделювання подання знань інтелектуального агента про поведінку зовнішнього середовища, введемо відношення $bel \subseteq S \times A \times S$. Якщо деяка трійка $(s, a, s^{/})$ входить до відношення $bel((s, a, s^{/}) \in bel)$, то за представленням агента, при виконанні дій у зовнішньому середовищі s, зовнішнє середовище може перейти до стану $s^{/}$.

Для реалізації даної моделі розроблена структура інтелектуального агента на базі елементів InterRRa архітектури. Створена архітектура наведена на рисунку 2. Розроблена структура відрізняється тим, що взаємодія агента з зовнішнім світом, у тому числі з іншими агентами, здійснюється через модель фізичного представлення

об'єкта.

Таким чином, досягається поділ моделювання інтелектуальної поведінки об'єктів у середовищі навчальної системи від їх фізичного подання, в яке, в тому числі, можуть входити засоби комунікації. У той самий час запропонована на рисунку 2 структура допускає прямі керуючі впливи на поведінку агентів з автоматизованих робочих місць ІНС підготовки диспетчерів УПР.

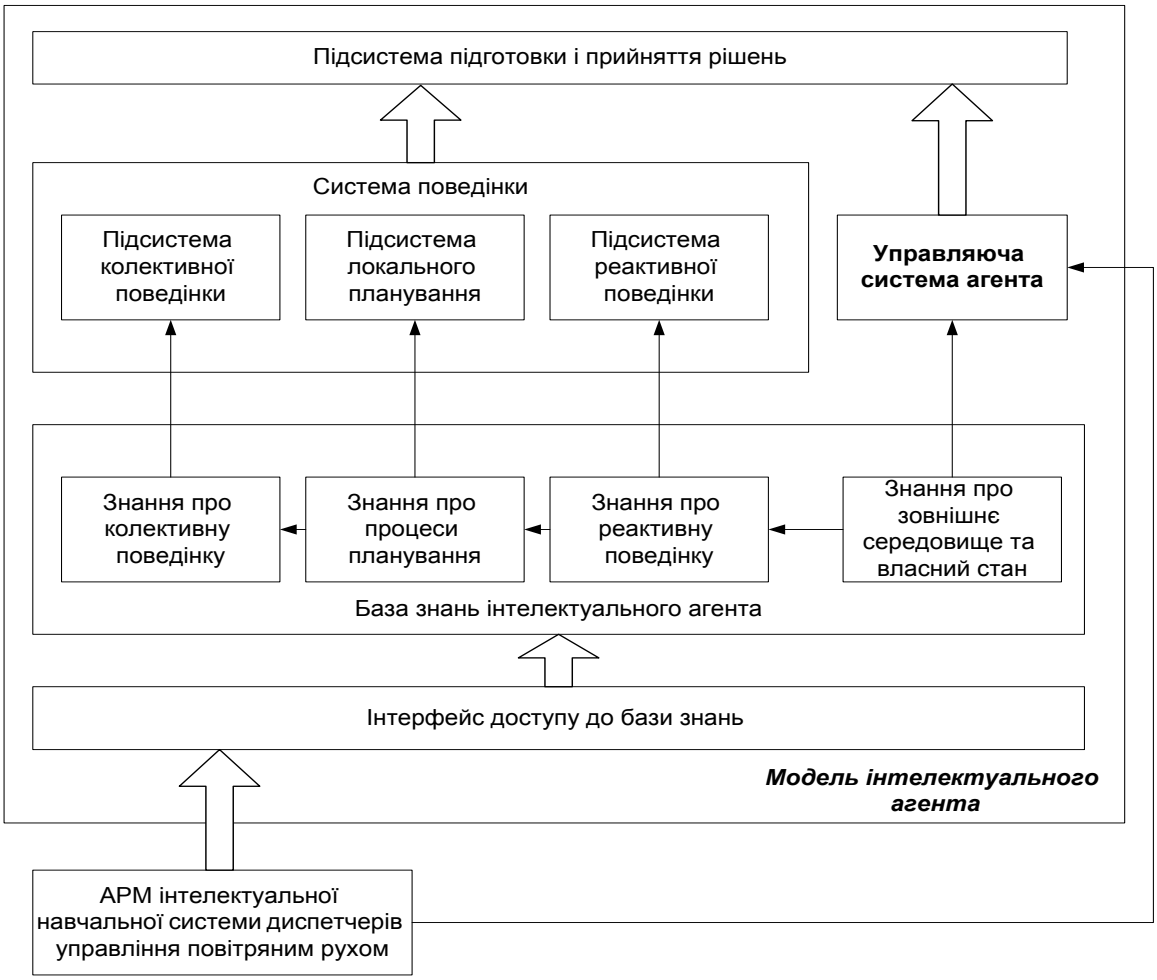

Рисунок 2 – Архітектура інтелектуального агенту навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом

У рамках АОП розроблена така модель мультиагентного середовища ІНС підготовки диспетчерів УПР:

$$V_s = (W, E, O, R, C, St), \tag{5}$$

де $W = \{w_1, w_2, ..., w_s\}$ – множина моделей об’єктів реального світу в середовищі інтелектуальної навчальної системи; $E = \{e_1, e_2, ..., e_t\}$ – множина моделей середовищ; $O = \{\{o_1^U, o_2^U, ..., o_n^U\}, \{o_1^I, o_2^I, ..., o_k^I\}\}$ – множина неоднорідних об’єктів (агентів) середовища навчальної інтелектуальної системи, де: o_i^U – керуєма диспетчером УПР модель об’єкта $i = \{1,2,...,n\}$, n – кількість моделей, які

управляються УПР; o_j^I – інтелектуальна модель об'єкту $j = \{1,2,...,k\}$, де k – кількість інтелектуальних моделей управління; R – множина відношень між елементами системи; C – множина зовнішніх дій (дії диспетчера УПР); St – множина станів системи.

Розробка методів планування поведінки агента у ІМК ІНС підготовки диспетчерів УПР.

Базовий метод можна представити у вигляді кортежа:

$$Ps = (Al, \pi, Prior, Int, R, F), \tag{6}$$

де Al – алфавіт плануючої системи; π – множина елементарних планів; $Prior$ – множина відношень пріоритету; Int – відношення переривання; R – множина правил; F – функція планування.

Алфавіт планувальної системи можна представити у вигляді:

$$Al = (\pi^* \cup \{*,*,0\} \times (\pi \cup \{*,*,0\}) \times \{0,...,n_i\}), \tag{7}$$

де: $\pi^* \supseteq \pi$ – розширення множини π відповідно з правилами $R_i \subset R$; n_i – кількість рівнів ієрархії, яка визначається сімейством множин $D_i \subset \pi$, де $i \in I = \{1,...,n_i\}$, заданих таким чином, що $\bigcup_{i \in I} D_i = \pi$ та $D_i \cap D_j \neq D_i$ для $i < j$.

Множину елементарних правил представимо так:

$$\pi = \{p_1, p_2, ..., p_n\}, \tag{8}$$

де p_i – елементарний план, $i \in I$.

Під елементарним планом розуміється деяка дія агента $a_j \in Ac$, де $j \in J = \{1,...,k\}$; Ac – множина дій, яку здатен виконувати агент (або деяка послідовність таких дій $\{a_k\}$.

Таким чином, на множині π можливе існування підмножини $\pi' \subset \pi$, яка містить такі елементарні плани, які представлені послідовностями інших елементарних планів: $\pi' = \{p_1', p_2', ..., p_m'\}$, де $p_1' = \{p_i\}$. Кожен елементарний план визначається як четвірка:

$$p = < B, C, \varphi, \psi >, \tag{9}$$

де B – умова початку виконання плану; C – умова продовження виконання плану; $\varphi : I \times \Omega \rightarrow \Omega$, де I – множина вхідних даних, яка визначається всіма можливими значеннями вхідних даних; Ω – множина внутрішніх станів агента; $\psi : I \times \Omega \rightarrow \mathrm{A}$, де A – множина дій, які здатен виконувати агент.

Множина правил плануючої системи представлена як:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3, \tag{10}$$

де R_1 – правила побудови розширення p^*; R_2 – правило побудови мови планів L; R_3 – правило роботи плануючої функції F; Плануюча функція представлена відображенням $F : L \times 2^{\pi} \times 2^{\pi} \to L$.

З метою опису стану агента в термінах нечіткої логіки задамо множину лінгвістичних змінних, які описують його характеристики в наступному вигляді $\mathrm{LV} = \{\mathrm{lv_i}\}_{\mathrm{i} \in \mathrm{I}}$, де $\mathrm{lv_i}$ – лінгвістична змінна, що описує i – й параметр агента; $\mathrm{I} = \{1,..., \mathrm{N}\}$ – множина індексів параметрів агента; N – кількість параметрів агента.

Для представленої лінгвістичної змінної використаємо набір:

$$Cd^H = App^H \cup Con^H, \tag{11}$$

де α_i – назва i-ої змінної; $T_i(\alpha_i)$ – терм–множина змінної α_i, позначення T_i відповідає множині назв лінгвістичної змінної, при цьому кожне з таких значень є нечіткою змінною X_i зі значенням з універсальної множини U_i з базовою змінною u_i -чіткою i-ою характеристикою агента; G_i – синтаксичне правило, яке породжує назви X_i значень змінної α_i; M_i – семантичне правило, яке ставить у відповідність кожній нечіткій змінній X_i нечітку підмножину $M_i(X_i)$ універсальної множини U_i. Тоді:

$$Cd^H = App^H \cup Con^H = \{\{p_1, b_1, v_1\},...,\{p_L, b_L, v_L\}\}, \tag{12}$$

де p_i – елементарний план; b_i – показник переваги; v_i – параметр, який настроюється, $l = \{1,...,L\}$, L – загальна кількість можливих та виконуємих планів агента.

Для визначення показників переваги виконання елементарного плану p_i на множині R_{Cd}^f задамо підмножину нечітких правил $R_{Cd}^l = \{R_1^l,...,R_{S_i}^l\} \subset R_{Cd}^f$, R_{Cd}^l – множина нечітких правил для визначення значень показників переваги для всіх елементарних планів; S_i – кількість правил.

Правила R^l запишемо у вигляді:

$$R_s^l : ЯКЩО\left(x_1 \to A_1 \vee x_2 \to A_2 \vee ... \vee x_{M_i} \to A_{M_i}\right) ТОДІ\left(y_s^l \to B_s^l\right), \tag{13}$$

де $s = \{1,...,S_i\}$; M_i – кількість врахованих параметрів в правилі R_s^i; $x \in X_s^i$ – параметр агента, де $i = \{1,...,M_s\}$; X_s^i – множина врахованих параметрів в правилі R_s^i; $A_i \in A_s^i$ – нечітка множина, що характеризує стан агента, де A_s^i – множина нечітких змінних в правилі R_s^i; $y_s^l \in Y$ – вихідна змінна лінгвістичної моделі; B_s^i –

нечітка множина, яка визначає істинність виведення.

Проведені дослідження дозволили модифікувати, розроблені в методи синтезу та планування мультиагентних систем та розробити такі моделі планування поведінки інтелектуального агенту (рисунок 3).

В основі розроблених моделей є поняття елементарного плану p_i, де $i = \{1,...,n\}$, під яким розуміється деяка проста дія агента $a_j \in A_c$, де $j = \{1,...,k\}$; A_c – множина дій, які здатні виконувати агент, або деяка послідовність таких дій $\{a_k\}$.

Вся сукупність елементарних планів представлена множиною $\pi = \{p_1, p_2,..., p_n\}$. На множині π можливе існування підмножини $\pi^{/} \subset \pi$, що містить такі елементарні плани, які представлені послідовностями інших елементарних планів: $\pi^{/} = \{p_i \in \pi : p_j \in \{ p_{ij} \in \pi \}_{j \in J}, J_i \neq \}_{i \in I}$.

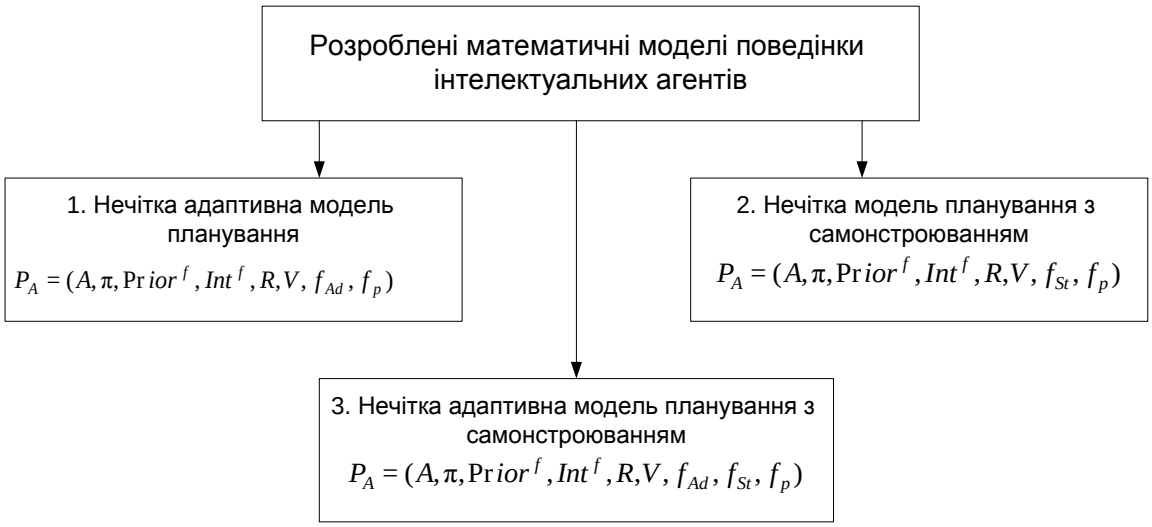

Рисунок 3 – Розроблені моделі планування поведінки інтелектуального агента

Множина нечітких відношень $prior^f$ визначається для множини $D_{\mathrm{i}} \subset \pi; i \in \{1,...,n_{lev}\}$, де n_{lev} – кількість рівнів ієрархії, визначених таким чином, що кожному $D_{\mathrm{i}} \subset \mathrm{D}$ відповідає множина $prior_i^f \{ f_i^p(p), f_i^p(p^{/})\} \subset prior^f$, де $p, p^{'/} \in \pi$ – елементарні плани.

Функція самонастроювання представлена у вигляді комбінації:

$$f_{St} : E^{/} \circ R_{St}^f \rightarrow D_k, \tag{14}$$

де $E^{/} = E_1 \times E_2$ – нечітка множина, яка характеризує відхилення стану агента від еталонного; E_1 – середнє відхилення стану агента та нечіткими операторами порівняння та операціями порівняння; E_2 приріст середнього відхилення стану агента та операціями порівняння; R_{St}^f – відповідає правилам самонастроювання; D_k – нечітка множина, яка характеризує значення нових поправок до настроювання системи $V_{cor} \subset V$.

У четвертому розділі наведено реалізацію мультиагентного ІМК ІНС підготовки диспетчерів УПР та оцінювання його ефективності.

Для дослідження якості розроблених методів проводилася порівняльна оцінка результатів роботи розробленої системи та системи, що використовує базовий метод планування і різних модифікацій системи моделювання поведінки агентів на базі створених методів.

Для проведення обчислювального експерименту використана дороблена версія програмного забезпечення середовища навчального тренажеру диспетчерів УПР, що знаходиться у ЛА НАУ м. Кропивницький. Доробка полягала в інтеграції програмних перемикачів, засобів збору статистики, а також засобів автоматизації проведення тестових запусків у базові тексти програмного забезпечення комплексу тренажера.

На основі отриманих значень була проведена рекомбінація розробленого середовища ІНС підготовки диспетчерів УПР. Отримані експериментальні дані наведені на рисунку 4, з яких видно, що застосування моделей поведінки з використанням методів планування дозволило збільшити показник успішності реалізації очікуваної поведінки агентів (Z) щодо існуючої системи підготовки диспетчерів УПР.

Рисунок 4 – Порівняння розроблених методів планування з існуючими

Таким чином, розроблені моделі та методи середовища ІНС підготовки диспетчерів УПР переважають існуючі.

Критерій оцінки “Швидкість реагування на проблемну ситуацію (ТІ)” – оцінюється витримування диспетчером вимог щодо виконання відповідних технологічних операцій (ТО) в межах проміжку часу, що є в нього на прийняття рішення, для успішного вирішення проблемної ситуації (зокрема, ПКС). Даний критерій визначає оперативність вирішення задачі диспетчером УПР. На рис. 5 показано зміну даного показника для групи навчаємих з шести осіб щодо реагування на типову проблемну ситуацію вирішення ПКС, яка моделюється у мультиагентному середовищі ІНС підготовки диспетчерів УПР.

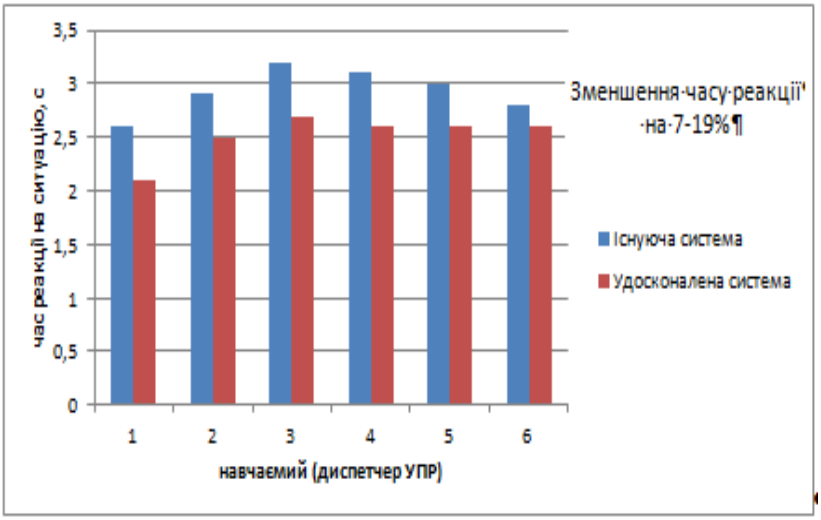

Рисунок 5 – Підвищення оперативності рішення потенційно-конфліктних ситуацій до і після навчання в створеному середовищі

Таким чином, оперативність рішень, які приймаються диспетчером УПР, зростає на 7–19%.

Аналізуючи представлені результати, можна зробити висновок, що врахування більшої кількості ознак дозволило підвищити повноту рішення завдання на 10 – 20 % (рис. 6).

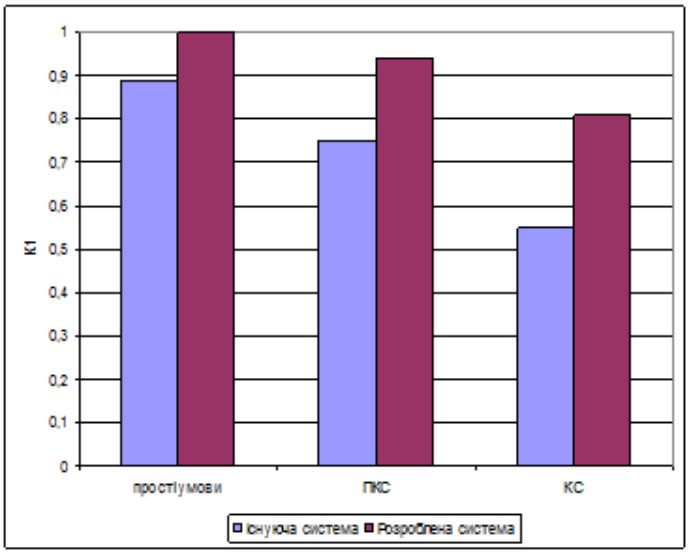

Рисунок 6 – Оцінка повноти рішення завдань у розробленій системі

Для простих умов підготовки перевага розробленої системи складає 11%. Для проведення навчання в умовах створення середовищем ПКС, і особливо в умовах конфліктних ситуацій (КС) перевага за повнотою розв'язуваних завдань становить до 20% та до 32% відповідно. Настільки значної переваги вдалося досягти за рахунок підвищення варіативності опису ситуацій в ІНС підготовки диспетчерів УПР на основі мультиагентного середовища навчальної системи.

Розроблена модель і програмний прототип мультиагентної середовища ІНС підготовки диспетчерів УПР формалізує сім сценаріїв використання системи, а саме (рис. 7):

(U1) ініціалізація екземплярів агента класу АР-агент і екземпляра агента класу

ААС-агент; (U2) виконання циклу симуляції; (U3) групування повітряних суден, призначена для декомпозиції множини АА-агентів на групи літаків, що потенційно можуть конфліктувати.; (U4) планування руху АА-агентів у зоні прибуття, що виконується екземплярами агента класу АР-агент; (U5) перепланування руху в зоні прибуття, виконуване екземплярами агента класу АА-агентів для запобігання конфлікту як з АА-агентами, так і з ААС-агентами; (U6) управління виконанням злету АА-агентів; (U7) управління прибуваючих АА-агентів у зоні підходу (від моменту одержання дозволу на вхід у зону підходу до посадки).

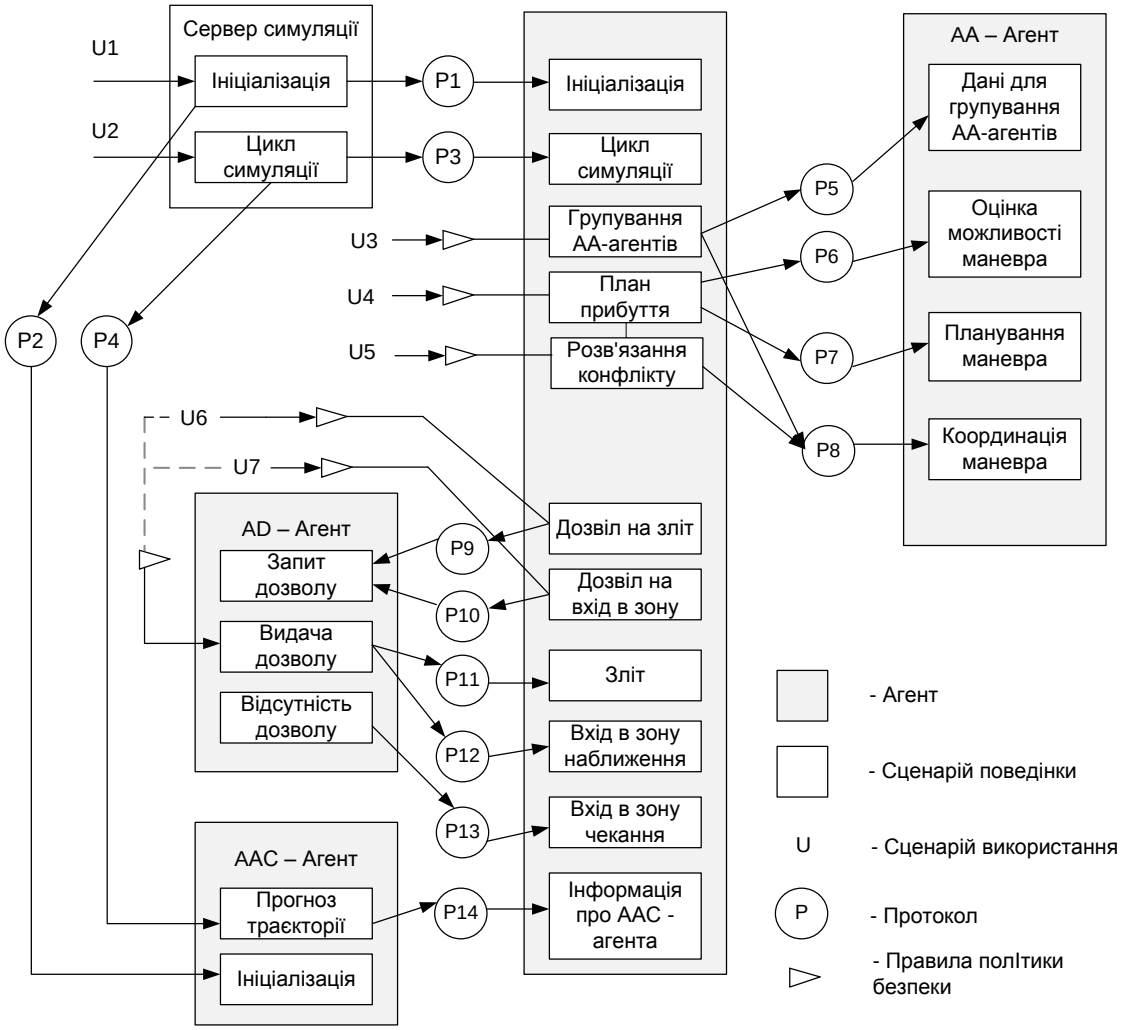

Рисунок 7 – Модель мультиагентного середовища інтелектуальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом

Розроблене мультиагентне середовище знайшло своє призначення у навчальній системі підготовки диспетчерів управління повітряним рухом та авіаційних тренажерах диспетчерів, що підтримує функції симуляції, відображення та оптимізації повітряного руху в районі аеропорту, а також дає оцінку якості роботи диспетчера УПР.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дисертаційної роботи отримані такі основні результати:

1. *Проведений аналіз сучасного стану та напрямків розвитку* методів побудови сучасних навчальних систем засвідчив, що інтелектуальні навчальні системи – це складні організаційно-технічні системи, які є визнаним засобом підвищення ефективності навчання диспетчерів УПР, обчислювально-моделюючі комплекси як технології реалізації моделі середовища сучасних ІНС у більшості випадків реалізовані у вигляді складних розподілених програм. Одним з перспективних підходів до розробки таких систем є використання мультиагентних технологій. Запропоновано використати АОП до побудови середовища ІНС підготовки диспетчерів УПР. Для реалізації поведінки об'єктів у рамках даного підходу удосконалені методи планування поведінки інтелектуальних агентів.

2. *У дисертації наведене теоретичне узагальнення та нове розв'язання наукового завдання,* яке полягає у розробці методів побудови мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.. У рамках поставленого завдання вирішені часткові завдання аналіз сучасного стану підготовки диспетчерів УПР, аналізу агентно-орієнтованої технології розробки навчальних систем, доведення актуальність її застосування в ІНС підготовки диспетчерів УПР, обґрунтуванні показників та критеріїв оптимальності планування навчання із застосуванням мультиагентних систем, розроблення моделі мультиагентного середовища ІНС диспетчерів УПР, удосконалення методу планування поведінки агентів в ІНС підготовки диспетчерів УПР, удосконалення методу самонастроювання поведінки агентів навчального середовища інтелектуальної начальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.

3. *Найбільш важливими науковими та практичними результатами, які отримано в роботі, є такі*:

удосконалена модель середовища навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, яка, на відміну від існуючих, ґрунтується на агентно-орієтованому підході, що дозволило створити об'єкти середовища зі змінною поведінкою та знаннями й надати навчальній системі ознак інтелектуальності.

удосконалений метод планування поведінки агентів у середовищі навчальної системи диспетчерів управління повітряним рухом, що, на відміну від відомих, базується на модифікованому методі формування множини нечітких бінарних умов виконання і продовження елементарних планів з використанням набору нечітких правил, що дозволило підвищити ефективність навчання диспетчерів управління повітряним рухом.

отримав подальший розвиток метод самонастроювання поведінки агентів навчального середовища інтелектуальної начальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, що, на відміну від відомих, ґрунтується на визначеному наборі нечітких правил, знаннях про результати взаємодії агентів, що дозволило підвищити варіативність опису ситуаційної обстановки та підвищити оперативність та правильність прийняття рішень диспетчерами управління повітряним рухом.

4. *Практичне значення отриманих результатів* полягає у доведенні теоретичних методів до їх *практичної реалізації***.** Застосування мультиагентного середовища та проведення повного циклу навчань дозволило знизити кількість помилок диспетчера

повітряного руху на 10–18% залежно від типу ПКС та обставин припущення ПКС, що засвідчує ефективність розроблених методів. Для різних умов відтворюваної повітряної обстановки розроблене середовище інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом переважає існуючі тренажери підготовки диспетчерів управління повітряним рухом на 16 – 22%.

5. Розроблені методи у комплексі забезпечують побудову мультиагентного середовища ІНС підготовки диспетчерів УПР, реалізація якої дозволило змінити підходи до організації навчального процесу та забезпечити підвищення ефективності навчання

6. Значення розв'язаної у дисертації задачі для науки та практики полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ створення інтелектуальних інформаційних технологій в навчанні для дослідження закономірностей діяльності операторів та їх колективів у системах навігаційного обслуговування і управління рухом..

7. Методи дослідження містять методи системного аналізу, теорії нечітких множин, теорії прийняття рішень, теорії розпізнавання, представлення знань, математичного моделювання.

8. Достовірність і обґрунтованість отриманих наукових результатів підтверджується коректною постановкою наукового завдання дослідження, відсутністю протиріч між отриманими результатами та відомими положеннями теорії побудови мультиагентних систем та методів штучного інтелекту, підтверджується результатами експериментів для оцінки впливу розроблених методів на оперативність і безпомилковість рішення завдань УПР; коректним використанням методів системного аналізу, теорії множин і нечітких множин на етапах моделювання, обробки експериментальних даних та аналізу результатів досліджень.

9. Наукові та прикладні результати досліджень, отримані в дисертації, доцільно використовувати: при розробці програмного забезпечення для удосконалення процедури підготовки диспетчерів УПР; у науково-дослідних організаціях – для обґрунтування напрямків розробки мультиагентних систем.

Таким чином, дисертаційна робота завершена, а її мета досягнута.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1. Извалов А.В. Модели процессов управления качеством подготовки авиадиспетчеров / А.В. Извалов, В.Н. Неделько, С.Н. Неделько, А.С. Палённый, **М.Ю. Сорока** // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 7. – С. 89-94.

2. Бережний А.О. Методи рішення завдань планування поведінки агентів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень / А.О. Бережний, **М.Ю. Сорока**, Н.А. Сало // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2019. – № 4(62). – С. 18-24. https://doi.org/10.30748/zhups.2019.62.02.

3. **Сорока М.Ю**. Моделі та методи побудови мультиагентних адаптивних навчальних систем (тренажерів) / **М.Ю. Сорока**, Н.А. Сало, В.В. Калачова // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил.

– 2019. – № 3(61). – С. 79-85. https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.10.

4. Trystan A.V. Automation of the educational process in Ukraine higher military education institutions. / A.V. Trystan, **M.Yu**. **Soroka** // Modern Problems Of Computer Science And IT-Education: collective monograph. / editorial board K. Melnyk, O. Shmatko. – Vienna : Premier Publishing s.r.o., 2020. – P. 224-236.

5. **Сорока М. Ю.** Моделі мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом / **М.Ю. Сорока**, Н.А. Сало // Кібербезпека та інформаційні технології : монографія. – Х. : ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020. – Розд. 1.1. – С. 12-29.

6. **Сорока М.Ю**. Метод адаптації поведінки агентів в інтелектуальній навчальній системі підготовки диспетчерів управління повітряним рухом / **М.Ю. Сорока**// Системи управління навігації та зв'язку – 2020. – № 2(60) – С. 17-20. https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.2.017

7. **Сорока М. Ю**. Метод планування поведінки агентів в середовищі інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом / **М.Ю. Сорока**, І.О. Гурін // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2020. – Вип. 1(66). – С. 22-31.

8. **Сорока М.Ю**. Інтелектуальна навчальна система підготовки диспетчерів управління повітряним рухом / **М.Ю. Сорока**, Н.А. Сало, О.Г. Матющенко // Системи обробки інформації. – 2020. – № 2(161). – С. 29-36. https://doi.org/10.30748/soi.2020.161.04.

Опубліковані праці апробаційного характеру

9. Неделько В.Н. Анализ метеоявлений аэропорта г.Кировоград для моделирования на тренажерном комплексе управления воздушным движением / В.Н. Неделько, С.А. Астафьев, С.М. Коренной, **М.Ю. Сорока** // Сучасні інформаційні технології в управлінні та професійній підготовці операторів складних систем : міжнар. наук.-практ. конф., 27-28 жовтня 2011 р.: матеріали допов. – Кіровоград, 2011. – С. 41-43.

10. **Сорока М.Ю**. Рекомендації для створення системи підтримки прийняття рішення інструктору тренажера управління повітряним рухом / **М.Ю. Сорока**, І.І. Невідома // Управління рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем : ІІІ міжнар. наук.-практ. конф., 27-28 листопада 2014 р.: матеріали допов. – Кіровоград, 2014. – С. 105.

11. Землянський А.В. Модульный метод формирования упражнений для тренажеров авиадиспетчеров / А.В. Землянський, **М.Ю. Сорока**, Н.А. Сало // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018) : Х міжнар. наук.-практ. конф., 29-31 травня 2018 р.: тези допов. – Херсон, 2018. – С. 38.

12. **Сорока М.Ю.** Модель холодного фронта первого рода для авиадиспетчерских тренажёров / **М.Ю. Сорока**, А.А. Мушин // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2019) : XI міжнар. наук.-практ. конф., 28-30 травня 2019 р.: тези допов. – Херсон, 2019. – С. 74.

АНОТАЦІЯ

Сорока М. Ю. **Методи побудови мультиагентного середовища**

інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом. – Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, 2020.

Удосконалена модель середовища навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом (УПР), яка, на відміну від існуючих, ґрунтується на агентно-орієтованому підході, що дозволило створити об'єкти середовища зі змінною поведінкою та знаннями й надати навчальній системі ознак інтелектуальності.

Удосконалений метод планування поведінки агентів у середовищі навчальної системи диспетчерів управління повітряним рухом, що, на відміну від відомих, базується на модифікованому методі формування множини нечітких бінарних умов виконання і продовження елементарних планів з використанням набору нечітких правил, що дозволило підвищити ефективність навчання диспетчерів управління повітряним рухом.

Отримав подальший розвиток метод самонастроювання поведінки агентів навчального середовища інтелектуальної начальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, що, на відміну від відомих, ґрунтується на визначеному наборі нечітких правил, знаннях про результати взаємодії агентів, що дозволило підвищити варіативність опису ситуаційної обстановки та підвищити оперативність та правильність прийняття рішень диспетчерами управління повітряним рухом.

Ключові слова: адаптивна навчальна система, диспетчер управління повітряним рухом, індивідуальна стратегія навчання, мультиагентна система підтримки прийняття рішень, онтологія, тренажер, штучний інтелект.

АННОТАЦИЯ

Сорока М. Ю. Методы построения мультиагентной среды интеллектуальной обучающей системы подготовки диспетчеров управления воздушным движением. - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.22.13 - навигация и управление движением. Летная академия Национального авиационного университета, Кропивницкий, 2020.

Усовершенствованная модель среды обучающей системы подготовки диспетчеров управления воздушным движением, которая, в отличие от существующих, основывается на агенто-ориентированном подходе, что позволило создать объекты среды с сменным поведением и знаниями и дать обучающей системе признаков интеллектуальности.

Усовершенствованный метод планирования поведения агентов в среде обучающей системы диспетчеров управления воздушным движением, который, в отличие от известных, базируется на модифицированном методе формирования множества нечетких бинарных условий выполнения и продолжения элементарных планов с использованием набора нечетких правил, что позволило повысить

эффективность обучения диспетчеров управления воздушным движением.

Получил дальнейшее развитие метод самонастройки поведения агентов обучающей среды интеллектуальной обучающей системы подготовки диспетчеров управления воздушным движением, который, в отличие от известных, основывается на определенном наборе нечетких правил, знаниях о результатах взаимодействия агентов, что позволило повысить вариативность описания ситуационной обстановки, повысить оперативность и правильность принятия решений диспетчерами управления воздушным движением.

Ключевые слова: адаптивная обучающая система, диспетчер управления воздушным движением, индивидуальная стратегия обучения, мультиагентная система поддержки принятия решений, онтология, тренажер, искусственный интеллект.

ANNOTATION

Soroka M. Yu. **Methods of building a multi-agent environment of intelligent training system for training air traffic controllers. – Manuscript.**

The Thesis submitted for the scientific degree of Doctor of Philosophy (engineering) (Candidate of Technical Sciences) on specialty 05.22.13 – Navigation and Traffic Control. – Flight Academy of National Aviation University. Kropyvnytskiy, 2020.

Improved model of the training system of air traffic controllers (ATC), which, unlike the existing ones, is based on an agent-oriented approach, which allowed to create objects of environment with variable behavior and knowledge and give the training system signs of intelligence.

Improved method of planning the behavior of agents in environment of the training system of air traffic controllers, which, in contrast to the known, is based on a modified method of forming a set of fuzzy binary conditions and continuing elementary plans using a set of fuzzy rules, which increased the efficiency of training air traffic controllers.

The method of self-tuning the behavior of agents of the training environment of the intelligent initial system of air traffic controllers, which, unlike the known ones, is based on a certain set of fuzzy rules, knowledge of the results of agent interaction, which allowed to increase the variability of decision-making by air traffic controllers, was further developed.

The practical significance of the obtained results is to bring the theoretical methods to their practical implementation. The use of a multi-agent environment and a full cycle of exercises reduced the number of air traffic controller’s errors by 10–18%, depending on the type of potentially conflict situations (PCS) and the circumstances of the PCS assumption, which proves the effectiveness of the developed methods. For different conditions of the reproducible air situation the developed environment of intelligent training system (ITS) of training of air traffic controllers prevails over existing simulators of training of air traffic controllers by 16 – 22%.

The significance of the problem solved in the dissertation for science and practice is to further develop the theoretical and applied foundations of intelligent information technology to study the patterns of operators and their teams in navigation systems and traffic management.

Keywords: adaptive training system, air traffic control manager, individual training strategy, multi-agent decision support system, ontology, simulator, artificial intelligence.

Формат 60 х 84/16. Ум. Друк. Арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 812

Підписано до друку 17.11.2020 р.
Свідоцтво держ. Реєстру ДК №977 від 05.07.2003р.

Видавництво Льотна академія НАУ
м. Кропивницький,
вул. Добровольського, 1,
Тел. 39-44-37.