

УДК 007:681.518.2

DOI: 10.31673/2412-9070.2020.020812

Н. А. САЛО, ст. викладач;

С. П. СЕДАШ, викладач,

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

МОДЕЛЬ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ПЛАНУВАННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРІВ КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Доведено, що підхід до розроблення систем планування і складання розкладів із використанням мультиагентної технології сьогодні розглядається фахівцями як один із найбільш перспективних. Запропоновано модель такої системи з акцентом на розроблення розподіленої бази знань, компонентами якої є бази знань інтелектуальних агентів. Знання агентів поділено на формальні та евристичні. Формальні знання відповідають тим знанням, що задають обмеження задачі. Евристичні знання частково відбивають суб'єктивний досвід експертів, а частково є результатом аналізу та узагальнення їх позитивного і негативного досвіду, здобутого на основі навчання системи за прецедентами. Формалізація евристичних знань має додаткові обмеження на можливі протоколи взаємодії агентів, на базі яких розглянуто модель керованого «аукціону». Головною проблемою розроблення систем розподіленого планування є створення розподіленої бази знань і моделі взаємодії агентів, що підтримують розподілене використання знань у процесі роботи системи.

Досліджено технологію створення мультиагентних систем планування і складання розкладів, що базуються на розробленому інструментальному засобі для підтримання процесів створення мультиагентних систем.

Значна кількість практично важливих прикладних задач в автоматизації навчального процесу зводиться до комбінаторної постановки. Насамперед до них належать задачі, формальна постановка яких лімітується моделлю планування і складання розкладів за умов обмежених ресурсів і обмежень реального часу. Даній моделі відповідає широке коло досить традиційних завдань складання розкладів. З урахуванням зміни підходів до навчання у зв'язку з уведенням карантинних обмежень, завдання складання ефективних розкладів занять є досить важливим. Останнім часом з огляду на нові тенденції в галузі використання мережних і інформаційних технологій у сфері організації навчального процесу з'явилися постановки, що можуть ураховувати рівень знань, завантаженість тренажерної та навчально-матеріальної бази, індивідуальну траєкторію навчання, навчання в групах для планування розкладів.

Ключові слова: диспетчер керування повітряним рухом; інтелектуальна навчальна система; інформаційно-аналітична система; модель підготовки; процес оцінювання та тестування.

Вступ

Значна кількість практично важливих прикладних задач в автоматизації навчального процесу зводиться до комбінаторної постановки. Передусім до них належать задачі, формальна постановка яких передбачає модель планування і складання розкладів за умов обмеження ресурсів і реального часу. Із такою моделлю узгоджується широке коло досить традиційних завдань складання розкладів. Зважаючи на зміни підходів до навчання у зв'язку з уведенням карантинних обмежень, завдання складання ефективних розкладів занять є досить актуальним. З огляду на нові тенденції в галузі використання мережних і інформаційних технологій у сфері організації навчального процесу останнім часом з'явилися постановки, що можуть ураховувати рівень знань, завантаженість тренажерної та навчально-матеріальної бази, а також індивідуальну траєкторію навчання, навчання в групах для планування розкладів. У статті досліджено технологію побудови моделі мультиагентної системи (МАС), заснованої на знаннях, та її застосування для розподіленого вирішення прикладної задачі планування і складання розкладів. У цьому класі задач мультиагентна технологія

нині розглядається як найбільш перспективна [1; 4; 6]. Причини цього досить чіткі. Вони зумовлені високою комбінаторною складністю прикладних задач планування і складання розкладів. Ефективно впоратися з комбінаторною складністю таких задач можливо тільки у разі використання деконпозиції, розподіленої технології вирішення та із залученням моделей та методів керування знаннями. Такі можливості надаються зараз тільки технологією МАС.

Аналіз досліджень і публікацій. Найбільш близькою моделлю стосовно тієї, що розглядається в даній статті, є модель, яку розробив Т. Сандхольм в роботі [8]. У моделі Т. Сандхольма агентам-контракторам дозволено виконувати кілька робіт, які агент здатний здійснити послідовно, а механізм керування аукціоном базується на мінімізації агентами-контракторами своїх витрат на виконання робіт (на вирішення задач).

Однак змістовна модель, розглянута в статті, відрізняється від моделі Т. Сандхольма та інших пропозицій щодо використання ринкових механізмів для координації поведінки агентів кількома аспектами. Передусім розглядувана модель належить до істотно більш складної задачі, в якій

складність зумовлена, насамперед, наявністю обмежень реального часу і низки інших обмежень. У зв'язку з цим у ній істотно зростає роль інтелектуальних компонентів, зокрема знань і механізмів навчання. Якість виконання контракту в розробленій моделі характеризується багатьма показниками, що ускладнює розв'язок задачі впорядкування пропозицій агентів-контракторів і вибір переможця аукціону. Окрім того, розглядувана задача має компонент централізованого керування, що виконується метаагентом, і роль цього керування досить значна.

Мета дослідження. Метою статті є розроблення моделі мультиагентної системи планування розкладу занять для диспетчерів керування повітряним рухом

Основна частина

Результати дослідження. Традиційний підхід до проектування програмних систем у загальному випадку використовує трирівневу модель: «структура даних – правила – інтерфейс користувача». Однак для розглянутого класу завдань планування розкладів і вибраної технології розроблення більш доцільно використовувати чотирирівневу модель задачі планування «онтологія поняття – формальні знання – евристичні знання – інтерфейс користувача».

У цій моделі перший рівень відповідає не «структурі даних», як це зазвичай прийнято, а онтології понять, що зумовлено використанням знань.

Онтологія понять утворює необхідний базис для формування знань з елементарних лексем і відносин, що складають висловлення. Відомо, що онтологія понять природним чином визначає структуру відповідної бази даних [2; 5]. У використаному підході ця обставина дає можливість реалізувати формальний алгоритм генерації бази даних на основі онтології понять.

Саме тому на першому рівні доцільно розглядати модель онтології понять замість структури даних. Рівень правил у такому разі замінюється двома іншими: рівнями моделей формальних і евристичних знань. Поділ знань на два рівні відбиває характерне для задачі планування використання «об'єктивних» і «суб'єктивних» знань. До «об'єктивних знань» за такого розподілу належать ті, що відповідають нормативній, регламентуючій та іншій документації. Зокрема, обмеження на використання ресурсів є характерним прикладом фрагмента об'єктивних знань. До фрагментів об'єктивних знань належать знання, що називаються формальними. Суб'єктивні евристичні знання, як правило, відбивають або досвід експертів у вирішенні завдань планування, або їх переваги за можливими методами вирішення завдання.

Поділ фрагментів знань на два рівні природно під час проектування систем планування з використанням мультиагентної моделі. При цьому формальні знання більшою мірою визначають функціональні можливості агентів і базові риси схеми їх взаємодії у процесі розв'язання прикладних завдань. Евристичні знання здебільшого визначають специфіку сценаріїв поведінки агентів і схем їх взаємодії.

Для трьох розглянутих рівнів моделі задачі планування, незважаючи на їх специфіку в конкретних завданнях, маються загальні риси, властиві багатьом класам прикладних задач, зокрема, для них є загальними ключові (базові) поняття і постановки задач. Приклад онтології понять, загальних для класу задач планування розкладу, унаочнює рис. 1. У рамках конкретної прикладної задачі може знадобитися введення нових понять і уточнення тих класів понять, що вже є в онтології, наведеної на рис. 1. «Уточнення класів понять» — це передусім визначення їх семантики в термінах атрибутів (властивостей) класів об'єктів та їх специфікації.

Для формальних знань ключовими є задачі формування класів сценаріїв виконання завдань (підзадач), визначення обмежень на плани робіт, зумовлені, наприклад, правилами використання ресурсів (часу, навчального навантаження викладачів, роботи тренажерної бази), а також специфікація окремих завдань і функцій, логічно пов'язаних із класами сценаріїв їх виконання та обмеженнями. Зокрема, сукупність таких задач і функцій має забезпечувати пошук допустимих планів.

Евристичні знання мають на меті покращити якість вирішення завдань і задачі в цілому, наприклад для запобігання тупикових варіантів пошуку допустимих планів. У розглянутій моделі евристичним знанням, наприклад, відповідає та їх частина, яка необхідна для керування аукціоном, що забезпечує координацію рішень окремих агентів [3; 7; 12].

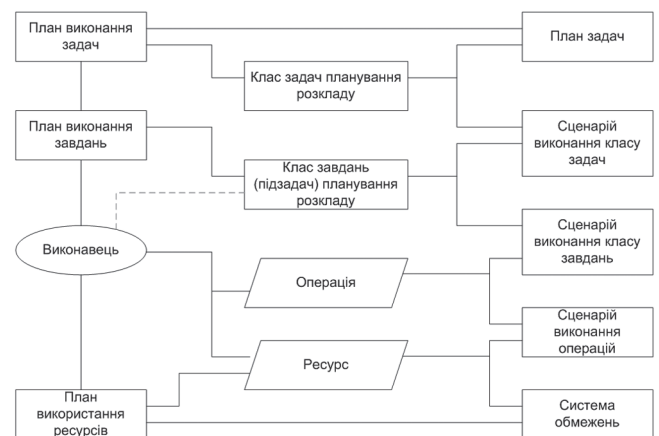


Рис. 1. Базова онтологія для задачі планування розкладу

Пояснимо коротко структуру онтології, деякі з понять, що складають онтологію, і зв'язку між ними. Базовими поняттями онтології є класи задач планування, класи завдань, операції і ресурси. Клас задач визначає конкретний сценарій або клас сценаріїв їх виконання. Останні мають описуватися за допомогою автоматизованої системи підготовки диспетчерів керування повітряним рухом. Сценарії виконання задач описуються в термінах окремих класів завдань і порядку їх виконання. Класам завдань, як і класам задач, у свою чергу, можуть відповідати сценарії їх виконання. Опис сценаріїв виконання завдань може задаватися в термінах інших завдань, більш детальних, і в термінах операцій. Таким чином, операціям і завданням відповідають різні рівні докладності опису сценаріїв поведінки.

Специфікація операцій, на відміну від завдань, допускає відповідність їм сценаріїв виконання. До основи опису таких сценаріїв належать специфікації дій, що задають порядок використання ресурсів, необхідних для їх реалізації. Над множиною ресурсів визначається система обмежень, що задає правила їх використання. Клас виконавців використовується для специфікації суб'єктів (і об'єктів) системи, що виконують завдання та операції. Згідно з цим опис суб'єктів-виконавців допускає визначення відношень між ними, операціями та ресурсами. Це відношення має семантику «виконавець X має ресурс R ». Відповідно до даного правила кожному суб'єкту-виконавцю ставиться у відповідність план використання ресурсів. Відношення над суб'єктами-виконавцями та операціями визначає потенційну можливість виконання суб'єктами-виконавцями відповідних операцій. Таке відношення може вводитися також і для суб'єктів-виконавців і класів завдань, які суб'єкт може виконувати відповідно до наявних у нього ресурсів. Слід зазначити, що наявність або відсутність зв'язку між суб'єктами-виконавцями і класами завдань залежить від прийнятої схеми розподілу знань між класами агентів системи планування.

Специфіка класів агентів МАС планування та генеровані на їх основі програмні агенти, окрім фрагмента онтології понять предметної сфери, складається також із використанням конкретних фрагментів знань, що належать до другого і третього рівнів моделі задачі планування «формальні знання та евристичні знання». Приклад варіанта (прототипу) базової архітектури МАС планування і структури розподіленої бази знань зображено на рис. 2. Даний прототип, в основному, використовує формальні знання. Саме тому він є «базовим». Такий варіант архітектури дає можливість вирішувати деякі прикладні завдання, якщо формальні знання мають необхідну повноту, а рівень

складності задачі планування не досить великий. Експериментальні оцінки якості розв'язання конкретних задач можуть бути основою для висновку щодо необхідності використання евристичних знань, які зумовили б підвищення якості здобутих вирішень.



Рис. 2. Схема розподілу формальних знань у системі планування розкладів

У розробленій моделі МАС планування використовуються два класи агентів:

1) метаагент (МА), функції і поведінка якого відповідають задачам рівня «підрозділів планування»;

2) агенти-контрактори (АК), функції і поведінка яких відповідають рівню конкретних суб'єктів (підрозділів), що безпосередньо виконують плановані роботи та операції. Приклад інших архітектур МАС можна знайти в роботах [3; 7]. Зауважимо, що розроблена модель відповідає первинній стадії ітеративного процесу розроблення додатка. На подальших стадіях як архітектура МАС у цілому, так і зміст розподіленої бази знань можуть ітеративно розвиватися. Розроблення базового і наступного прототипів МАС підтримується розробленою інструментальною системою.

Відповідно до прийнятої архітектури для агента кожного класу (див. рис. 2) формуються п'ять взаємозалежних між собою компонентів. Компонент «Сценарії поведінки агента» містить сукупність усіх сценаріїв поведінки конкретного класу агентів. Процес функціонування агента подається у вигляді послідовності сценаріїв поведінки, які реалізуються. Порядок їх виконання визначається вхідними повідомленнями і компонентом «Моделі керування поведінкою». Сценарії поведінки агента можуть виконуватися із залученням компонентів «Бази знань» і «Бібліотеки класів». Вибір необхідного сценарію поведінки агента на підставі правил із «Моделі керування поведінкою» залежить від поточного стану буфера актуальних подій в агента, в якому можуть міститися:

- повідомлення, отримані від інших агентів;
- події, згенеровані самим агентом у попередні моменти часу;

- події навколишнього світу;
- команди, згенеровані користувачем системи.

Окрім того, оброблення поточного стану за потреби може включати в себе аналіз передісторії поведінки агента. За реалізацію схем взаємодії агента з іншими агентами системи відповідає компонент «Підтримання протоколів взаємодії». Цей компонент, зокрема, містить:

- частково зазначені шаблони вихідних повідомлень, остаточне означення яких відбувається пізніше залежно від поточних оперативних даних і прийнятих на їх основі вирішень;
- сценарії діалогів обміну повідомленнями з іншими агентами.

Сценарій функціонування базового прототипу МАС планування у загальному вигляді такий. У процесі планування МАС використовує кілька сесій аукціонів, у кожній з яких міститься одне з допустимих вирішень. У результаті визначаються кілька планів, з яких вибирається найкращий. Процесу планування передують етап, на якому МА вирішує такі задачі:

- сповіщає всіх АК про початок процесу планування та період планування;
- класифікує задачі планування і вибирає відповідні їм сценарії виконання;
- для вибраного списку сценаріїв виконання задач формує повний перелік завдань. Ці завдання далі розподіляються для виконання між АК у кожному аукціоні.

У процесі виконання цих задач (див. рис. 2) здійснюються сценарії поведінки МА «Загальне керування процесом планування» і той компонент «Бази знань», що називається «Каталог класів задач». На цьому самому етапі МА задає кількість допустимих вирішень, що має бути знайдено.

Схема функціонування МА та АК у кожному аукціоні (під аукціоном розуміється процедура, в якій розподіляється весь пакет завдань, що формують план, а крок аукціону — це результат торгів за конкретне неподільне завдання) полягає ось у чому.

Нехай множина J завдань містить список із N завдань. Тоді кожний аукціон послідовно здійснює кроки, названі «торгами», у кожному з яких МА розподіляє одне завдання з множини J . Загальне керування поведінкою МА у процесі аукціону виконує сценарій поведінки «Керування аукціоном».

Цей сценарій забезпечує ухвалення таких рішень:

- вибір послідовності винесення завдань на «торги»;
- уточнення допустимого інтервалу часу виконання чергового завдання;
- ініціацію сценарію, що керує «торгами»;
- фіксацію моменту закінчення аукціону і формування допустимого варіанта плану.

Схема взаємодії МА та АК у ході торгів така. МА повідомляє всім АК вибране завдання. Отримавши це повідомлення, кожний із АК намагається знайти свої допустимі вирішення. При цьому АК задіює сценарій «Пошук варіантів виконання завдання» і, у разі потреби, інші компоненти. Вибравши вирішення, АК повідомляють їх МА. Діставши перелік пропозицій від АК, МА вибирає «переможця торгів». Це здійснюється на підставі деякого критерію (мінімізації часу підготовки, максимізації засвоєння матеріалу, раціонального розподілу навчально-матеріальної бази), і своєї «Бази знань» (зазвичай, на основі її евристичного компонента). Вибравши переможця торгів, МА повідомляє про прийняте рішення. АК, отримавши дозвіл на виконання завдання, заносить здобуті дані в план своїх робіт і модифікує модель використання ресурсів.

Після закінчення вибору кількості аукціонів МА ухвалює кінцеве рішення. Допускається, що даний вибір здійснюється користувачем. Оптимальний варіант розкладу повідомляється всім АК, які після цього видаляють із бази даних інші вирішення.

Висновки

У даній статті розглянуто модель МАС планування і складання розкладів, заснованих на знаннях. Для її підтримання розроблено спеціальний інструментальний засіб, що дає можливість значно спростити і прискорити процес розроблення таких систем. Передусім МАС орієнтовано на розроблення систем розподіленого планування і складання розкладів. Процес проектування починається зі створення онтології понять конкретної предметної сфери підготовки диспетчерів керування повітряним рухом. Інструментальний засіб уже містить деякі найбільш загальні шаблони, зокрема з проблемної сфери, пов'язаної з плануванням і складанням розкладів. Наприклад, воно містить деякі ключові поняття онтології, інваріантні для широкого класу систем планування. Онтологія понять, у свою чергу, використовується для розроблення розподіленої системи знань. Запропонована технологія випробувана створенням прототипу МАС складання розкладів.

Список використаної літератури

1. Маслобоев А. В. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // Вестник МГТУ. 2009. №1. С. 67–78.
2. Городецкий В. И., Карасев О. В. Технология разработки прикладных многоагентных систем в инструментальной среде MASDK // Труды СПИ-ИРАН. Вып. 3. Т. 1. СПб.: Наука, 2006. С. 23–54.
3. 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. P. 183–192.

4. Wooldridge M., Jennings N., and Kinny D. *The Gaia Methodology for Agent-Oriented Analysis and Design // International Jour. of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems. 2000. №3(3). P. 285–312.*

5. Бережний А. О., Сорока М. Ю., Сало Н. А. *Методи рішення завдань планування поведінки агентів в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень: зб. наук. праць Харків. нац. ун-ту Повітряних Сил. 2019. № 4(62). С. 18–24.*

6. Trystan A. V., Soroka M. Yu. *Automation of the educational process in Ukraine higher military education institutions 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.*

7. Сорока М. Ю., Сало Н. А. *Кібербезпека та інформаційні технології: монографія. Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020. 380 с.*

8. *Proceeding of the Fifth International Conference «The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-agent Technology» (PAAM'2000), London, UK, 2000.*

9. Safra S., Tennenholtz M. *On Planning while Learning // Journ. of Artificial Intelligence Research. 1994. No. 9(2). P. 111–129.*

10. Левин В. И. *Теория расписаний и непрерывная логика. Москва: LAP, 2011. 124 с.*

11. Красный Д. Г., Нейдорф Р. А., Кобак В. Г. *Исследование неоднородных распределительных задач теории расписаний. Москва: LAP, 2011. 184 с.*

12. Сидоркина И. Г. *Системы искусственного интеллекта. Москва: КноРус, 2011. 248 с.*

Н. А. Сало, С. П. Седаш

МОДЕЛЬ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Доказано, что подход к разработке систем планирования и составления расписаний с использованием мультиагентной технологии рассматривается специалистами в настоящее время как один из самых перспективных. Предложена модель такой системы с акцентом на разработку распределенной базы знаний, компонентами которой являются базы знаний интеллектуальных агентов. Знание агентов делятся на формальные и эвристические. Формальные знания соответствуют тем знаниям, которые задают ограничения задачи. Эвристические знания частично отражают субъективный опыт экспертов, а частично являются результатом анализа и обобщения их положительного и отрицательного опыта, полученного на основе обучения системы по прецедентам. Формализация эвристических знаний имеет дополнительные ограничения на возможные протоколы взаимодействия агентов, в основе которых рассматривается модель управляемого «аукциона». Основной проблемой разработки систем распределенного планирования является создание распределенной базы знаний и модели взаимодействия агентов, поддерживающих распределенное использование знаний в процессе работы системы.

В статье рассматривается разработанная технология создания мультиагентных систем планирования и составления расписаний, основанная на разработанном инструментальном средстве для поддержки процессов создания мультиагентных систем.

Значительное количество практически важных прикладных задач в автоматизации учебного процесса сводится к комбинаторной постановки. Прежде всего, к ним относятся задачи, формальная постановка которых сводится к модели планирования и составления расписаний в условиях ограниченных ресурсов и ограничений реального времени. Данной модели соответствует широкий круг достаточно традиционных задач составления расписаний. С учетом изменения подходов к обучению из-за введения карантина, задача составления эффективных расписаний занятий является весьма важной. В последнее время в связи с новыми тенденциями в области использования сетевых и информационных технологий в сфере организации учебного процесса появились постановки, которые могут учитывать уровень знаний, загруженность тренажерной и учебно-материальной базы, учет индивидуальной траектории обучения, обучение в группах для планирования расписаний.

Ключевые слова: диспетчер управления воздушным движением; интеллектуальная обучающая система; информационно-аналитическая система; модель подготовки; процесс оценки и тестирования.

N. A. Salo, S. P. Siedash

MODEL OF A MULTI-AGENT SCHEDULE PLANNING SYSTEM FOR AIR TRAFFIC CONTROLLERS

The article proves that the approach to the development of planning and scheduling systems using multi-agent technology is currently considered by specialists as one of the most promising. This article developed a model of such a system with an emphasis on the development of a distributed knowledge base, the components of which are the knowledge bases of intelligent agents. Knowledge agents are divided into formal and heuristic. Formal knowledge corresponds to the knowledge that sets the constraints of the problem. Heuristic knowledge partially reflects the subjective experience of experts, and partially is the result of the analysis and generalization of their positive and negative experience obtained on the basis of training the system on precedents. The formalization of heuristic knowledge has additional restrictions on possible protocols for the interaction of agents, which are based on a model of controlled «auction». The main problem in the development of distributed planning systems is the creation of a distributed knowledge base and interaction models of agents supporting the distributed use of knowledge in the process of the system.

The article discusses the developed technology for creating multi-agent planning and scheduling systems, based on the developed tool to support the processes of creating multi-agent systems.

A significant number of practically important applied tasks in the automation of the educational process is reduced to combinatorial formulation. First of all, these include tasks whose formal formulation is reduced to a planning and scheduling model in conditions of limited resources and real-time constraints. This model corresponds to a wide range of fairly traditional tasks of scheduling. Given the changing approaches to training in connection with the introduction of quarantine, the task of compiling effective class schedules is very important. Recently, in connection with new trends in the use of network and information technologies in the field of organization of the educational process, performances have appeared that can take into account the level of knowledge, workload of the simulator and training material base, taking into account the individual learning path, training in groups for planning schedules.

Keywords: air traffic control dispatcher; intelligent training system; information and analytical system; training model; assessment and testing process.



УДК 004.82

DOI: 10.31673/2412-9070.2020.021320

О. І. ТИМОЧКО¹, доктор техн. наук, професор;

Г. В. ДУБОВИК²;

В. М. ПАВЛЕНКО³,

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба

² Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського, Київ

³ Харківський національний університет імені В. М. Каразіна

МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ У НЕЧІТКИХ УМОВАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Запропоновано метод розпізнавання повітряних об'єктів для систем керування повітряним рухом, який уможливилює оброблення даних різної природи. Головною відмінністю розгляданого методу є його придатність до роботи за умов неповноти та протилежності даних. Такий підхід дає змогу діставати задовільні розв'язки навіть за умов високої невизначеності та обмеженого ліміту часу на прийняття рішень. В основу розробленого методу покладено ідеї сумісного оброблення даних, ієрархічного аналізу, семантичних мереж подання та оброблення даних, а також процедур прийняття рішення, ґрунтуючись на підході, запропонованому Демпстером. Застосування цих підходів та методів дозволило розробити гнучкі процедури та методи прийняття рішень під час розпізнавання повітряних об'єктів із використанням інтелектуальних моделей опису знань про процеси прийняття рішень та опису предметної сфери. Це дає змогу здійснювати коректне об'єднання неузгоджених розподілів можливостей класів алфавіту з використанням правила Демпстера. Досліджено застосовність розроблених моделей, методів та правила під час об'єднання неузгоджених розподілів імовірностей класів алфавіту. Метод пошуку вирішень про класи розпізнаваних повітряних об'єктів на графі функціональної мережі відрізняється від відомих розробленим способом отримання інтервального оцінювання ступеня істинності класів за умов відсутності даних щодо окремих ознак повітряних об'єктів і запропонованим евристичним правилом, що дає можливість скоротити розмірність множини вершин мережі, які перебираються під час пошуку вирішення про клас повітряних об'єктів. Метод дозволяє здійснювати пошук вирішень про класи повітряних об'єктів за умов неповноти і надмірності даних про ознаки.

Ключові слова: оброблення даних; ознаки повітряних об'єктів; розпізнавання; неповнота даних; прийняття рішень.

ВСТУП

Однією з умов успішного розв'язання завдань керування повітряними об'єктами за різних умов є своєчасне розпізнавання типів повітряних об'єктів, визначення їх характеристик та вироблення адекватних команд керування для попередження порушень правил використання повітряного простору. У сучасних системах керування використовуються активні методи отримання інформації про повітряні об'єкти, але існують умови, коли визначення типу повітряного об'єкта необхідно проводити за умов невизначеності та неповноти даних. Такими умовами можуть бути: захоплення повітряного судна терористами, використання застарілих повітряних суден, які не оснащені системами активного сповіщення, використання бойової авіації, за умов радіоелектронного припущення тощо.

Тому постає завдання потреби у прийнятті рішень про тип, належність, характеристики повітряного об'єкта навіть у разі браку даних для цього завдання, або вони перебувають у протиріччі одне до одного.

Отже, наукове завдання розроблення методу автоматизації процесу розпізнавання повітряного об'єкта за умов різнорідності, неповноти даних про повітряний об'єкт набуває особливої актуальності.

© О. І. Тимочко, Г. В. Дубовик, В. М. Павленко, 2020