Теоретичні основи розробки та експлуатації систем озброєння

УДК 004.896

DOI: 10.30748/soivt.2020.63.08

І.М. Будур, С.А. Бойко

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

МУЛЬТИАГЕНТНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПО УПРАВЛІННЮ РОЗПОДІЛЕНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Об'єкти військової критичної інфраструктури є першочерговими для створення диверсій, вогневих впливів, ударів з повітря. Ускладнення процесів охорони та оборони таких об'єктів, а також збільшення кількості технічних засобів вимагає побудови для людини, яка приймає рішення, системи підтримки прийняття рішення. Елементи охорони та оборони об'єктів військової критичної інфраструктури відносяться до класу організаційно-технічних систем та розподілених систем управління. Вихід з ладу (деградація) одного елементу може привести до втрати цілісності й стійкості всієї системи. Отже система підтримки прийняття рішення повинна з визначеним інтервалом аналізувати стан кожного розподіленого об'єкту та знаходити рішення щодо відновлення системи охорони та оборони. Сучасні концепції управління складними розподіленими об'єктами (РОУ) в різних галузях людської діяльності (в тому числі і у військовій справі) базуються на парадигмі людино-машинної організації процесів управління, у якій роль прийняття рішень віддається людині, а машина забезпечує інформаційну підтримку етапів вироблення і генерування альтернативних варіантів рішень. Використання даного підходу є змушеною мірою подолання високого рівня невизначеності умов рішення завдань управління складними, нелінійними, динамічними, розподіленими об'єктами та наявності інтелектуальної протидіючої сторони (противника). При цьому ефективність системи управління багато в чому визначається суб'єктивними властивостями людини (групи людей), які діють в контурі управління, що у свою чергу вимагає високого рівня компетенції у виникаючих проблемних ситуаціях. Для управління територіально розподіленими об'єктами (до яких відносяться елементи системи охорони та оборони військових аеродромів), відомим є підхід, що базується на застосуванні мультиагентних моделей СППР, у яких сполучаються централізовані та децентралізовані методи аналізу ситуацій, що реалізуються колективами агентів. В статті розроблена мультиагентна модель системи підтримки прийняття рішення по управлінню розподіленими об'єктами.

Ключові слова агент, військова критична інфраструктура, завдання охорони та оборони, мультиагентні технології, система підтримки прийняття рішення, розподілений об'єкт управління.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні концепції управління складними розподіленими об'єктами (РОУ) в різних галузях людської діяльності (в тому числі і у військовій справі) базуються на парадигмі людино-машинної організації процесів управління, у якій роль прийняття рішень віддається людині, а машина забезпечує інформаційну підтримку етапів вироблення і генерування альтернативних варіантів рішень. Використання даного підходу є змушеною мірою подолання високого рівня невизначеності умов рішення завдань управління складними, нелінійними, динамічними, розподіленими об'єктами та наявності інтелектуальної протидіючої сторони (противника). При цьому ефективність системи управління багато в чому визначається суб'єктивними властивостями лю-

дини (групи людей), які діють в контурі управління, що у свою чергу вимагає високого рівня компетенції у виникаючих проблемних ситуаціях.

Відомим і широко застосованим методом подолання суб'єктивності та підвищення рівня компетентності людини у прийнятті управляючих рішень є використання систем підтримки прийняття рішень (СППР), які забезпечують коректність рішення завдань вибору раціональних варіантів управління за рахунок інфокомунікаційної підтримки кінцевого користувача на різних етапах його діяльності за допомогою сукупності технологічно взаємопов'язаних сервісів, які реалізують сучасні інформаційні технології. Для управління територіально розподіленими об'єктами (до яких відносяться елементи системи охорони та оборони військових аеродромів), відомим є підхід, що базується на застосуванні мультиагент-

них моделей СППР, у яких сполучаються централізовані та децентралізовані методи аналізу ситуацій, що реалізуються колективами агентів.

Основним недоліком відомих моделей СППР для управління РОУ є відсутність у них механізмів реструктуризації, що спрацьовують у випадку виникнення непередбачених ситуацій структурних змін РОУ. Це у свою чергу, обумовлює часткову деградацію структур СППР. Прикладом таких структурних змін РОУ для системи охорони та оборони військових аеродромів можуть бути:

- терористичний вплив на військовий аеродром;
- нанесення ударів з повітря;
- створення загроз вибухопожежобезпеці аеродрому;
- електромагнітний вплив на радіоелектронні засоби аеродрому, тощо.

Дані впливи призводять до топологічної зміни структури РОУ та вимагають реконфігурації СППР, що можливо при застосуванні мультиагентного підходу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у становлення та розвиток теорії побудови мультиагентних СППР внесли такі дослідники Д.А. Поспелов [1], Г.А. Атанов [2], В.К. Фін [3], К.С. Амелін [4], В.В. Литвин [5], Г.С. Осіпов, І.Б. Фоміних, В.Ф. Хорошевський. Основні підходи до моделювання мультиагентних систем з інтелектуальною поведінкою на основі різних математичних апаратів досить докладно відображені в роботах В.І. Городецького [6–8], В.І. Варшавського, В.Б. Тарасова, О.В. Карасева, М. Вудриджа (M. Wooldridge), Н. Дженнінгса (N. Jennings.), П. Мюллера (P. Muller). Однак практичне використання існуючих методів для побудови СППР по управлінню розподіленими об'єктами на основі мультиагентного підходу вимагає проведення додаткових досліджень.

Мета статті – розробка мультиагентної моделі системи підтримки прийняття рішення по управлінню розподіленими об'єктами.

Виклад основного матеріалу

Дослідження в галузі розробки СППР в останні роки усе більше переходять від створення систем у виді традиційної множини інструментів управління до парадигми співробітництва та інтеграції незалежних додатків. Швидко зростаюча область досліджень інтелектуальних агентів та мультиагентних систем дозволяє створювати більш ефективні системи на основі єдиного підходу. Інтелектуальні агенти – це нова парадигма для розробки програмних додатків. Важливим в розумінні “агент” є поняття делегування та автономії. Це означає обмежене безпосереднє управління і значна розмаїтість у системах, у яких працюють відразу кілька агентів.

Перед розробкою мультиагентної моделі СППР, сформуємо критеріальний простір порівняння ефективності моделей:

– вимоги до обчислювальних ресурсів вузлів. Обумовлюється рівнем “інтелекту” агентів, а також їх кількістю для одного вузла;

– використання мережевого трафіку. Обумовлюється “розосередженням” фрагментів знань (тобто моделей РОУ) та функцій управління між агентами, а також наявністю в агентів такої властивості як мобільність;

– оперативність системи. Обумовлюється рівнем “розосередження” знань та функцій між агентами. З ростом показника розосередження, збільшується число необхідних взаємодій між агентами, що в умовах асинхронності взаємодії призводить до збільшення часу прийняття рішення, а як наслідок і зменшенню оперативності. Задана оперативність СППР є найбільш важливим критерієм, оскільки погіршення кожного з перерахованих показників зрештою позначиться на оперативності СППР;

– точність системи. Визначається можливістю підтримки моделі об'єкта управління в актуальному стані;

– стійкість до збоїв. Обумовлюється можливістю дублювання агентами виконуваних функцій;

– складність відновлення програмного забезпечення системи управління обумовлюється кількістю типів агентів.

– спеціалізація стосовно різних користувачів. Обумовлюється рівнем урахування функцій, що виконуються різними користувачами системи. У випадку, якщо ієрархічна система побудована з однакових модулів, можна говорити про низьку спеціалізацію. Якщо ж кожен тип користувачів характеризується своїм набором агентів, то спеціалізація буде високою;

У процесі попереднього аналізу було виявлено, що на даний час можна виділити три основних підходи до побудови СППР:

– ієрархічні системи, розділені на рівні по організаційній ознаці, що характеризуються низьким рівнем спеціалізації стосовно різних рівнів;

– ієрархічні системи, розділені на рівні по ознаці масштабу управління (стратегічний, оперативний, тактичний рівні), що обумовлюють високу спеціалізацію агентів;

– системи на основі мобільних агентів. Даний підхід є більше теоретичним, що знаходить застосування в рішенні досить вузького кола завдань;

Відмітимо, що у розподілених системах, до якої відноситься і система охорони та оборони військових аеродромів, вихід з ладу одного елемента рідко приводить до генерації тільки однієї події. Як правило, така відмова викликає ланцюжок подій, що повідомляють системі управління про неможливість

виконання іншими елементами своїх функцій. З метою згортки параметрів функціонування розподіленої системи, у складі управляючого додатка використовується компонент фільтрації подій.

Даний компонент призначений для надання людині, яка приймає рішення інформації про стан системи охорони та оборони військового аеродрому та локалізації виникаючих у її середовищі подій. В даний час використання систем фільтрації подій у системах управління є переважним.

Як вже було зазначено, при розподіленій фільтрації подій, з метою зменшення розмірності простору станів, що припадає на вузол СППР, проводиться розбиття єдиної моделі РОУ на ряд підмоделей. При цьому права на контроль елементів кожного фрагмента приписуються окремому вузлу. Однак даний підхід призводить до ряду проблем, пов'язаних з розподіленою фільтрацією подій. Внаслідок відсутності повноти опису на окремому вузлі можуть виникати неоднозначні ситуації, пов'язані з відсутністю у вузловій СППР інформації про стан граничних елементів РОУ, що належать іншим вузлам. Тобто в певний момент часу вузлова СППР має набір подій, який може відповідати двом або більше базовим причинам. Для вирішення цієї неоднозначності необхідна "Повнота картини".

У мультиагентній СППР взаємодія відбувається не безпосередньо, а за допомогою агентів контексту подій, організованих в систему. Крім функцій забезпечення доступу, агенти контексту подій також виконують функції збору статистик, звертання інших агентів до елементів. Дані статистики в подальшому використовуються агентами реконфігурування розподіленої СППР при обчисленні цільової функції мультиагентної системи.

Накопичення вибірки для кожної з оцінюваних величин недоцільно через істотне зростання обсягу статистичних даних. Важливіше проводити оцінювання в реальному часі. Для цього раціонально скористатися алгоритмами послідовного оцінювання. Серед них найбільш відомі такі, як послідовна лінійна оцінка за методом найменших квадратів, алгоритми стохастичної апроксимації Роббінса-Монро, Кіфера-Волфовітца і Кестен. Кожен з них має свої особливості, які визначають придатність алгоритму для вирішення конкретного завдання. Найбільш вдалим з них з точки зору обчислювальної складності, точності і швидкості отриманих результатів є алгоритм Роббінса-Монро [28]. Для нього отримана рекурентна формула обчислення y_{n+1} за середнім значенням вибірки y_n після n вимірювань і по виконаному після цього нового вимірювання z_{n+1}

$$y_{n+1} = y_n + (1/(n+1)) \times (z_{n+1} - y_n). \quad (1)$$

Аналіз цього відношення показує, що нова оці-

нка y_{n+1} дорівнює сумі старої оцінки y_n і коригуючого члена з ваговим коефіцієнтом $1/(n+1)$. Вплив коригуючого члена зменшується з ростом n . Цей алгоритм не вимагає спеціальних знань про імовірнісний розподіл або статистичні характеристики помилки вимірювання. Він дозволяє в реальному часі отримувати оцінки середніх величин, які використовуються в подальшому при оптимізації структури СППР. При цьому точність таких оцінок зростає з ростом n .

Розглянемо процес взаємодії агента і елемента розподіленого РОУ в процесі прийняття рішення, схема якого наведена на рис. 1.

Рис. 1. Потoki даних між компонентами СППР в процесі управління
Джерело: розроблено авторами.

Допустимо, що паралельно основній мережі існує мережа управління M з вузлами m_i та пропускними здатностями ребер ω_{ij} , в вузлах якої розміщуються агенти і елементи РОУ.

В процесі реалізації контуру управління, між компонентами системи можна виділити такі потоки даних:

а) між агентом управління і елементом РОУ:

– взаємодія, що полягає в опитуванні агентом значень параметрів елемента і відповіді останнього. Позначимо такий обсяг даних $V_{пар}$. А частоту, з якою проводиться дана операція $\nu_{пар}$ згідно зі схемою взаємодії між агентом і елементом, обсяг даних при опитуванні параметра складається із запиту і відгуку. Таким чином:

$$V_{пар} = \nu_{пар}^{запит} + \nu_{пар}^{відгук}, \quad (2)$$

– взаємодія, що полягає в повідомленні (без попереднього опитування) елементом РОУ агента. Позначимо цей обсяг даних $V_{нов}$. Частоту, з якою проводиться дана операція $\nu_{нов}$;

– установка агентом значень конфігураційних параметрів РОУ. Позначимо цей обсяг даних $V_{конф}$. Частоту, з якою проводиться дана операція $\nu_{конф}$;

б) між агентами:

– запит подій деякого елемента (граничного),

що не перебуває в зоні компетенції агента, але впливає на стан належних йому елементів РОУ. Позначимо цей обсяг V_{novid} . А частоту, з якою проводиться дана операція v_{novid} .

Якщо врахувати, що процес фільтрації подій і прийняття рішення виконується локально, і, отже, має постійний час, основний вплив на результуючий час прийняття рішення буде здійснювати час збору подій від елементів РОУ і опитування агентів, відповідальних за управління граничними елементами.

Таким чином, множину подій агента a_i можна розділити на множину локальних подій, що отримується від елементів РОУ, приписаних до даного агента і зовнішніх подій елементів, що знаходяться в компетенції сусідніх агентів:

$$E_a = E_{a_i}^{лок} + E_{a_i}^{зов} \quad (3)$$

Отже, сумарний час прийняття рішень агентом $a_i - T_{a_i}$ визначається як сумарний час, витрачений на прийом і передачу локальних і віддалених подій:

$$T_{a_i} = T(E_{a_i}^{лок}) + (E_{a_i}^{зов}). \quad (4)$$

Розглянемо складові наведеної формули.

Множина локальних подій агента визначається множиною подій, отриманих в результаті запитів агента до параметрів елемента РОУ і множиною повідомлень елемента РОУ до агента. Таким чином, час обробки локальних подій агентом визначається як величина:

$$T(E_{a_i}^{лок}) = T(E_{a_i}^{лок-пар}) + T(E_{a_i}^{нов}). \quad (5)$$

Допустимо, що опитування деякого параметра j елемента e_k проводиться із середньою частотою $v_{ik}^{парj}$ а час передачі даних від елемента до керуючого агента $T_{ik}^{парj}$ тоді, в разі прийняття рішення про стан елемента час виявлення деградації стану елемента і прийняття рішення про його стан T буде зверху обмежена величиною $T_{ik}^{парj} + \frac{1}{v_{ik}^{парj}}$, а мінімальне $T_{ik}^{парj}$ (рис. 2).

$$C_{m,N}(\varepsilon) \Rightarrow C_{1,N}(\varepsilon)^m \quad (6)$$

Будемо вважати, що величини частот опитувань елементів РОУ $v_{ik}^{парj}$ є незмінними і заданими виходячи з технології управління елементами РОУ і динаміки зміни контексту функціонування РОУ. Мінімізації буде піддаватися величина найгіршого часу $T_{ik}^{парj} + \frac{1}{v_{ik}^{парj}}$.

Рис. 2. Пояснення до вибору часу опитування параметрів елемента

Джерело: розроблено авторами.

Будемо вважати, що заданий РОУ, який складається з E елементів і A агентів.

Нехай кількість параметрів на елементі e_k , доступних до зчитування агентами – $P(e_k)$. Кількість повідомлень $N(e_k)$. Кількість елементів, що належать агенту $a_i - E(a_i)$. Швидкість передачі даних $\{a_i, e_k\}$ між агентом a_i і елементом e_k , $\omega(a_i, e_k)$ визначається величиною мінімальної пропускну здатності $\omega(a_i, e_k) = \min_{\omega_{ik} e_{\{a_i, e_k\}}} (\omega_{ik})$.

Частота запитів агента a_i до j -го параметра елемента e_k $v_{ik}^{парj}$. Розмір запиту при зверненні до параметру j $V_k^{парjзатум}$. Розмір відгуку $V_k^{парjвідгук}$. Позначимо факт того, що агент a_i звертається до j -го параметру k -го елемента предикатом $[Bel(a_i, p_{kj})]$, що приймає значення “одиниці” в разі істини, а “нуль” в протилежному випадку. Тоді максимальний час, що витрачається агентом на отримання параметрів $T(E_{a_i}^{лок-пар})$:

$$T_{MAX}(E_{a_i}^{лок-пар}) = \sum_{k=1}^{E(a_i)} \sum_{j=1}^{P(e_k)} \left(\frac{v_{ik}^{парj} \times (V_k^{парjзатум} + V_k^{парjвідгук})}{\omega(a_i, e_k)} \right) \cdot [Bel_{PAR}(a_i, p_{kj})]. \quad (7)$$

З урахуванням того, що в разі отримання повідомлення взаємодія одностороння і ініціюється елементом, а розмір повідомлення, як правило, постійний для всіх елементів, час, що витрачається агентом на отримання повідомлень, визначається величиною:

$$T(E_{a_i}^{лок-нов}) = \sum_{k=1}^{E(a_i)} \sum_{j=1}^{N(e_k)} \left(\frac{v_{ik}^{новj} \times V^{нов}}{\omega(a_i, e_k)} \right) \times [Bel_{NOT}(a_i, n_{kj})], \quad (8)$$

де v_{ik}^{novj} – частота повідомлень елементом, а $[Bel(a_i, n_{kj})]$, – набуває значення 1, якщо i -й агент приймає повідомлення номер j на k -му елементі складного розподіленого об'єкту.

$$T_{MAX}(E_{a_i}^{лок}) = T_{MAX}(E_{a_i}^{лок-пар}) + T(E_{a_i}^{лок-нов}) = \sum_{k=1}^{E(a_i)} \left(\sum_{j=1}^{P(e_k)} \left(\frac{v_{ik}^{парj} (V_k^{парj\text{запит}} + V_k^{парj\text{відгук}})}{\omega(a_i, e_k)} + \frac{1}{v_{ik}^{парj}} \right) \times \right. \\ \left. \times [Bel_{PAR}(a_i, p_{kj})] + \sum_{j=1}^{N(e_k)} \left(\frac{v_{ik}^{новj} \times V^{нов}}{\omega(a_i, e_k)} \right) [Bel_{NOT}(a_i, n_{kj})] \right). \quad (9)$$

Час прийому зовнішніх подій залежить від схеми взаємодії агентів. У процесі прийняття рішення про стан підпорядкованої групи елементів РОУ, агент змушений звертатися до елементів підпорядкованим іншим агентам, але взаємодіє з елементами даного агента. Описана проблема взаємодії має кілька рішень, що мають різні ступені ефективності і може застосовуватися в різних ситуаціях.

Найпростішим варіантом вирішення є схема дублювання частини параметрів і повідомлень граничного елемента (рис. 3). Хоча елемент залишається в підпорядкуванні іншого агента, частина параметрів і повідомлень передається агенту, в підпорядкуванні якого знаходяться елементи, які взаємодіють з даними.

Рис. 3. Схема дублювання параметрів управління
Джерело: розроблено авторами.

Основним недоліком такого методу є великий обсяг даних, викликаний необхідністю передачі необроблених (raw) даних. Однак, використання механізму має право на існування в разі якщо маршрут до елемента РОУ дозволяє здійснити передачу даних більш оперативно, ніж за маршрутом “Елемент РОУ” → “агент 1” → “агент 2”. Даний механізм підпадає під описане вище рівняння для локальних елементів.

Іншим механізмом взаємодії є опитування стану граничного елемента на вимогу. Дана ситуація виникає в разі неоднозначності фільтрації подій, тобто фільтрація може бути зведена до двох або бі-

льше результатів в залежності від тих чи інших подій, що генеруються граничним елементом.

В цьому випадку, для вирішення неоднозначності агент 2 здійснює запит з метою з'ясування агента, якому відомо стан даного елемента, запитує перелік подій, що сталися з елементом за деякий інтервал часу і після отримання здійснює фільтрацію.

Для простоти викладення матеріалу статті допустимо, що агент 2 безпосередньо звертається до агента 1 (рис. 4).

Рис. 4. Схема опитування на вимогу
Джерело: розроблено авторами.

В цьому випадку, сумарний час опитування на вимогу буде визначатися таким виразом:

$$T_{REQ}(E_{a_i}^{зн}) = \sum_{l=1}^{A(a_i)} \sum_{k=1}^{E(a_l)} \sum_{j=1}^{M(e_k)} \times \\ \times \left(\frac{v_{ilk}^{новj} \times (2V^{новид})}{\omega(a_i, a_l)} \right) \times [Bel_{REQ}(a_i, m_{ilk})], \quad (10)$$

де $A(a_i)$ – число агентів, з якими взаємодіє агент a_i ;

$E(a_l)$ – число елементів в зоні відповідальності агента a_l ;

$M(e_k)$ – число подій елемента e_k ;

$V^{новид}$ – розмір повідомлення, який пересилається між агентами;

v_{ilk}^{podj} – частота опитування i -м агентом j -ої події на k -му елементі, що належить l -му агенту;

$Bel_{REQ}(a_i, m_{ilk})$ “одиниця” якщо i -й агент запитує j -ту подію на k -му елементі, що належить l -му агенту, 0 в протилежному випадку.

Третій механізм реалізується в такий спосіб. Агент 2 укладає контракт (підписку) з агентом 1 на отримання подій від елемента РОУ, що належить агенту 1 (рис. 5).

Рис. 5. Схема взаємодії з повідомлення
Джерело: розроблено авторами.

Відповідно до контракту, в разі виникнення відповідної події, агент 1 автоматично виробляє ре-трансляцію події агенту 1.

У цьому випадку максимальний час буде визначатися таким чином:

$$T_{NOT}(E_{a_l}^{zn}) = \sum_{l=1}^{A(a_i)} \sum_{k=1}^{E(a_l)} \sum_{j=1}^{M(e_k)} \times \left(\frac{v_{ilk}^{novidj} \times V^{novid}}{\omega(a_i, a_l)} \right) [Bel_{NOT}(a_i, m_{ilk})], \quad (11)$$

де $A(a_i)$ – число агентів, з якими взаємодіє агент a_i ;

$E(a_l)$ – число елементів в зоні відповідальності агента a_i ;

$M(e_k)$ – число подій елемента e_k ;

V^{novid} – розмір повідомлення, який пересилається між агентами;

v_{ilk}^{novidj} – частота генерації j -ї події на k -м елементі, що належить l -му агенту;

$Bel_{NOT}(a_i, m_{ilk})$ – якщо i -й агент сповіщається про j -ту подію на k -м елементі j -ту подію на k -му елементі, що належить l -му агенту, “нуль” в протилежному випадку.

Вираз для максимального часу може бути отримано в результаті підсумовування вищенаведених виразів часу прийому для кожного агента (10)-(11). Або в скороченому вигляді:

$$T_{MAX}(E) = \sum_{i=1}^A \left(T_{MAX}(E_{a_i}^{lok}) + T_{REQ}(E_{a_i}^{3oe}) + T_{NOT}(E_{a_i}^{3oe}) \right). \quad (12)$$

Мінімізація наведеного функціоналу повинна проводитися при наступних обмеженнях:

– на коефіцієнт використання (KB_y) ребер ω_y ,

$$V_y^{\Sigma} \leq KB_y \times \omega_y. \quad (13)$$

Виходячи з практичного досвіду, величину KB_y слід покласти рівною 0,7;

– на можливих агентів, до яких проводиться прикріплення даного елемента з метою скорочення простору рішень за рахунок відкидання завідомо неоптимальних варіантів;

– на завантаження вузлів СППР. Виходячи з практичного досвіду навантаження, що створюється СППР на обчислювальну систему в разі первинної обробки даних (тобто без статистичного аналізу часових рядів параметрів РОУ), як правило, незначна. Проте, щоб уникнути створення ситуації при якій в мережі присутні кілька максимально завантажених агентів і безліч незадіяних, як додаткового обмеження може використовуватися умова наявності у агента деякого мінімального числа елементів РОУ E_{min} .

Висновки

В статті визначена цільова функція мультиагентної множини реструктуризації систем підтримки прийняття рішень у виді сумарного максимального часу збору даних від елементів РОУ та обробки подій вузлами СППР. Величина сумарного максимального часу складається з часу збору даних і обробки подій від елементів РОУ, що належать вузлам СППР і подій від граничних елементів РОУ, отриманих від агентів контексту подій сусідніх вузлів. Визначено основні модифікації структури мультиагентної СППР і зроблена їх оцінка з погляду введеної раніше цільової функції взаємодії. Основними видами модифікацій є: зміна прав по моніторингу елементів і зміна механізму взаємодії між агентами контексту подій.

Список літератури

1. Поспелов Д.А. Многоагентные системы – настоящее и будущее / Д.А. Поспелов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 1998. – № 1. – С. 14-21.
2. Атанов Г.А. Обучение и искусственный интеллект, или основы современной дидактики высшей школы / Г.А. Атанов, И.Н. Пустынникова. – Донецк: Изд-во ДОУ, 2012. – 504 с.
3. Фин В.К. Об интеллектуальном анализе данных / В.К. Фин // Новости Искусственного интеллекта. – 2004. – № 3. – С. 98-103.

4. Адаптивная мультиагентная операционная система реального времени / К.С. Амелин, М.В. Баклановский, О.Н. Граничин и др. // Стохастическая оптимизация в информатике. – 2013. – № 1(9). – С. 3-16.
5. Литвин В.В. Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології / В.В. Литвин // Штучний інтелект. – 2009. – № 2. – С. 24-33.
6. Инструментальные средства для открытых сетей агентов / В.И. Городецкий, О.В. Карсаев, В.В. Самойлов, С.В. Серебряков // Известия Российской Академии Наук. – 2008. – № 3. – С. 106-124.
7. Городецкий В.И. Технология разработки прикладных многоагентных систем в инструментальной среде MASDK / В.И. Городецкий, О.В. Карасев // Труды Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук. – 2006. – № 3. – С. 23-54.
8. Многоагентные технологии для промышленных приложений: реальность и перспектива / В.И. Городецкий, П.О. Скобелев, А.В. Хабалов // Труды Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук. – 2017. – № 6(55). – С. 2-41.
9. 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.
10. Иванов А.Ю. Мобильные распределенные базы данных автоматизированных информационно-управляющих систем МЧС России / А.Ю. Иванов. – СПб.: СПбУГПС МЧС России, 2008. – 152 с.
11. Трубецков Д.И. Введение в теорию самоорганизации открытых систем / Д.И. Трубецков, Е.С. Мchedлова, Л.В. Красичков. – М.: Физматлит, 2005. – 212 с.
12. Интеллектуальные агенты, многоагентные системы и семантический WEB: концепции, технологии, приложения / Д.В. Пузанков, В.И. Мирошников, М.Г. Пантелеев, А.В. Серегин. – СПб.: ООО "Технолит", 2018. – 292 с.

Надійшла до редколегії 29.07.2020

Схвалена до друку 18.08.2020

Відомості про авторів:

Будур Ігор Миколайович
начальник кафедри
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7328-4126>

Бойко Сергій Андрійович
заступник начальника кафедри
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0545-8670>

Information about the authors:

Ihor Budur
Head of Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7328-4126>

Serhii Boiko
Deputy Head of Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0545-8670>

МУЛЬТИАГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

И.Н. Будур, С.А. Бойко

Объекты военной критической инфраструктуры являются первоочередными для создания диверсий, огневых воздействий, ударов с воздуха. Осложнения процессов охраны и обороны таких объектов, а также увеличение количества технических средств, требует построения для человека, который принимает решения, системы поддержки принятия решения. Элементы охраны и обороны объектов военной критической инфраструктуры относятся к классу организационно-технических систем и распределенных систем управления. Выход из строя (деградация) одного элемента может привести к потере целостности и устойчивости всей системы. Итак, система поддержки принятия решения должна с определенным интервалом анализировать состояние каждого распределенного объекта и находить решения по восстановлению системы охраны и обороны. Современные концепции управления сложными распределенными объектами (РОУ) в различных областях человеческой деятельности (в том числе и в военном деле) базируются на парадигме человеко-машинной организации процессов управления, в которой роль принятия решений отдается человеку, а машина обеспечивает информационную поддержку этапов выработки и генерирования альтернативных вариантов решений. Использование данного подхода является вынужденной мерой преодоления высокого уровня неопределенности условий решения задач управления сложными, нелинейными, динамичными, распределенными объектами и наличием ин-

интеллектуальной противоборствующей стороны (противника). При этом эффективность системы управления во многом определяется субъективными свойствами человека (группы людей), которые действуют в контуре управления, в свою очередь требует высокого уровня компетенции в возникающих проблемных ситуациях. Для управления территориально распределенными объектами (к которым относятся элементы системы охраны и обороны военных аэродромов), известен подход, основанный на применении мультиагентных моделей СИПР, в которых сочетаются централизованные и децентрализованные методы анализа ситуаций, реализуемых коллективами агентов. В статье разработана мультиагентная модель системы поддержки принятия решения по управлению распределенными объектами.

Ключевые слова: агент, военная критическая инфраструктура, задачи охраны и обороны, мультиагентные технологии, система поддержки принятия решения, распределенный объект управления.

MULTI-AGENT DECISION SUPPORT SYSTEM MODEL FOR MANAGING DISTRIBUTED OBJECTS

I. Budur, S. Boiko

Military critical infrastructure facilities are of primary importance for the creation of sabotage, fire attacks, and air strikes. Complications of the processes of protection and defense of such facilities, as well as an increase in the number of technical means, require the construction of a decision support system for the person who makes decisions. The elements of protection and defense of military critical infrastructure facilities belong to the class of organizational and technical systems and distributed control systems. Failure (degradation) of one element can lead to a loss of integrity and stability of the entire system. So, the decision support system should analyze the state of each distributed object at a certain interval and find solutions for restoring the security and defense system. Modern concepts of management of complex distributed objects (MDO) in various fields of human activity (including in military affairs) are based on the paradigm of the man-machine organization of control processes, in which the role of decision-making is given to a person, and the machine provides information support for the stages of development and generation. alternative solutions. The use of this approach is a forced measure to overcome the high level of uncertainty in the conditions for solving control problems for complex, nonlinear, dynamic, distributed objects and the presence of an intellectual opposing side (adversary). At the same time, the effectiveness of the control system is largely determined by the subjective properties of a person (group of people) that operate in the control loop, in turn, requires a high level of competence in emerging problem situations. For the management of geographically distributed objects (which include elements of the security and defense system of military airfields), an approach is known based on the use of multi-agent DSSM models, which combine centralized and decentralized methods for analyzing situations implemented by teams of agents. The article developed a multi-agent model of a decision support system for managing distributed objects.

Keywords: agent, military critical infrastructure, security and defense tasks, multi-agent technologies, decision support system, distributed control object.