

В. В. Литвин, О.В. Оборська, Р. В. Вовнянка  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційних систем та мереж

## ВИКОРИСТАННЯ АДАПТИВНИХ ОНТОЛОГІЙ ПІД ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ ПЕТЛІ БОЙДА

© Литвин В. В., Оборська О. В., Вовнянка Р. В., 2016

Розроблено модель петлі Бойда на основі автомата Мура. Станами автомата є етапи петлі Бойда, а також процеси редагування онтології та пошук релевантних знань в онтології. Визначено можливі переходи між станами автомата і параметри, які при цьому передаються. Розроблений автомат є основою для побудови СППР командирами тактичних ланок СВЗСУ.

**Ключові слова:** система підтримки прийняття рішень, онтологія, база знань, петля Бойда, генетичний алгоритм, математичне сподівання, ймовірність.

**This paper deals with the model of Boyd loop developed on the basis of Moore automaton. The states of the machine are represented by phases of Boyd loop, by ontology editing process and by search of relevant information in the ontology. Possible transitions between states of the machine parameters have been determined and thus transmitted. The fabricated machine serves as the basis for building tactical units DAFU by DSS commanders**

**Key words:** decision-making support system, ontology, knowledge database, Boyd loop, genetic algorithm, mathematical expectation, probability.

### Вступ. Загальна постановка проблеми

Ефективність застосування військ (сил) сучасних збройних сил значною мірою залежить від рівня розвитку системи управління, який, своєю чергою, визначається ступенем їх автоматизації. Автоматизація управління може суттєво підвищити бойові можливості військ (сил) і одночасно в декілька разів скоротити час, які витрачають органи управління на оперативне планування і доведення завдань до підлеглих. Автоматизована система управління (АСУ) тактичної ланки Сухопутних військ збройних сил України (СВЗСУ) – це сукупність взаємозалежних органів та пунктів управління, обладнаних комплексом комп’ютерних апаратно-програмних засобів підтримки прийняття рішень та засобів зв’язку, що забезпечують ефективне управління з’єднаннями, частинами і підрозділами. Система підтримки прийняття рішень (СППР) є центральною компонентою такої АСУ. Вона дає змогу моделювати перебіг бойових дій, виробляти близькі до оптимальних за певними критеріями варіанти рішень та надавати їх для рекомендацій командирам тактичних ланок. Слід зазначити, що середовище, в якому функціонує така СППР, є конкурентним, тобто взаємодіють кілька суб’єктів управління, які є суперниками. Сучасний підхід до моделювання процесу підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі, наприклад, як військова сфера, полягає у використанні петлі Бойда, що передбачає багаторазове повторення циклу, який складається з чотирьох послідовних взаємодіючих процесів (етапів): спостереження (observation); орієнтація (orientation); прийняття рішення (decision); дія (action). Таку петлю Бойда в літературі також називають петлею OODA (перші букви назв 4 процесів). Згідно із гіпотезою Бойда, вища швидкість свого циклу і точність оцінок етапів циклу забезпечують перевагу над противником і перемогу у військових діях.

Під час математичного моделювання бойових дій можна виділити важливі показники, які безпосередньо впливають на їх результат. Такими показниками для моделювання бойових дій сухопутних військ є: відстань між військами; характеристики маневрових можливостей військ; прохідність місцевості (коефіцієнт супротиву руху); видимість цілі (ймовірність виявлення цілі);

ймовірність знищення цілі; сектор пошуку цілі; щільність розподілу вогневих засобів по цілям противника; кількість пострілів, необхідних для знищення цілі (характеристика розсіювання, захищеність цілі, відстань тощо). У більшості випадків значення цих показників безпосередньо залежить від бойового статуту, тактико-технічних характеристик (ТТХ) різних видів озброєння та військової техніки (ОВТ) та організаційно-штатної структури з'єднань, частин і підрозділів. Окрім того, ЗСУ зараз знаходяться на перехідному етапі, тобто вводяться нові стандарти й водночас необхідно ще враховувати старі. Тому необхідні потужні програмні засоби для зберігання відповідної інформації. Така інформація повинна зберігатися в базі знань (БЗ), а не в базі даних, оскільки під час моделювання бойових дій важливу роль відіграє логічне виведення, яке можна реалізувати на основі знань про предметну область (ПО). Оскільки ТТХ ОВТ та організаційно-штатна структура військ ґрунтуються на певних нормативних документах, то ядром такої бази знань слугуватиме онтологія СВЗСУ.

Отже, за основу для моделювання обрано кібернетичну модель OODA (Observation-Orientation-Decision-Action) Джона Бойда. Така модель передбачає багаторазове повторення петлі, яка складається з чотирьох послідовних взаємодіючих процесів: спостереження (observation); орієнтація (orientation); прийняття рішення (decision); дія (action). На основі такої моделі розроблено архітектуру системи підтримки прийняття рішень, основною компонентою якої є база знань. Запропонована СППР є центральною компонентою АСУ і тактичною ланкою СВЗСУ. Знання, які використовуються в цій предметній області, є об'єктивними й містяться у нормативних документах (військовий статут, тактико-технічні показники, нормативні показники тощо). Тому запропоновано як ядро бази знань такої СППР використати онтологію.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

В Україні та колишньому Радянському Союзі значний внесок у розроблення методів та засобів підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі, зокрема у військовій сфері, зробили такі вчені, як А. Я. Вайнер [1], Є. С. Вентцель, П. Н. Ткаченко, Л. Н. Куцев [2], Г. А. Мещеряков, А. М. Чавкін [3], А. Д. Чебикін, І. Я. Дінеру, В. П. Кравченко, Л. А. Овчаров, за кордоном можна відзначити таких вчених, як Д. Бойд, Е. Хові, Г. Х. Гуд, Р. Є. Макол.

Під час математичного моделювання бойових дій можна виокремити низку важливих показників, які безпосередньо впливають на їхній результат. До таких показників належать: відстань між військами; характеристики можливостей військ; прохідність місцевості (коефіцієнт супротиву руху); видимість цілі (ймовірність виявлення цілі); ймовірність знищення цілі; сектор пошуку цілі; щільність розподілу вогневих засобів по цілям противника; кількість необхідних пострілів для знищення цілі (характеристика розсіювання, захищеність цілі, відстань) тощо. Значення цих показників безпосередньо залежить від бойового статуту, тактико-технічних характеристик (ТТХ) різних видів озброєння та військової техніки (ОВТ), організаційно-штатної структури з'єднань, частин і підрозділів тощо. Окрім того, ЗСУ зараз перебувають на перехідному етапі, а саме вводяться нові стандарти. Тому необхідно враховувати відповідність між новими та старими стандартами. Все це приводить до того, що необхідні потужні програмні засоби для зберігання відповідної інформації у базі знань (БЗ). Оскільки ТТХ ОВТ, організаційно-штатна структура військ, інші показники ґрунтуються на певних нормативних документах, то ядром такої БЗ є онтологія СВ ЗСУ. Саме тому розроблення методів та засобів побудови СППР на основі петлі Бойда з використанням онтологічного підходу є актуальним завданням, а результати таких наукових досліджень надають нові можливості щодо аналізу та синтезу пропонуваніх рішень у конкурентному середовищі.

#### **Формування цілей**

У статті розроблено модель петлі OODA з використанням онтологічного підходу у вигляді скінченного автомату, який би враховував взаємодію етапів цієї петлі з онтологією.

#### **Використання онтології в петлі OODA**

Онтологія – це знання, формально відображені на основі концептуалізації. Формально онтологія складається з понять (термінів, концептів), організованих у таксономію, відношень між поняттями, а також пов'язаних з ними аксіом і правил виведення.

Враховуючи вищенаведене, під *формальною моделлю онтології*  $O$  розуміють:

$$O = \langle C, R, F \rangle, \quad (1)$$

де  $C$  – скінченна множина понять (концептів, термінів) ПО, яку задає онтологія  $O$ ;  $R: C \rightarrow C$  – скінченна множина відношень між поняттями (термінами, концептами) заданої ПО;  $F$  – скінченна множина функцій інтерпретації (аксіоматизація, обмеження), заданих на поняттях чи відношеннях онтології  $O$ .

Надалі постають такі задачі, як розроблення методів та засобів використання онтології в петлі OODA, побудова онтології СВЗСУ, розроблення програмних модулів у складі СППР моделювання поведінки інтелектуального агента (тактичної ланки) в конкурентному середовищі на основі онтологій [4, 5].

Згідно із робленим методом, зміст онтології напряму впливає на 2-й і 3-й етапи петлі OODA, а сама структура та наповнення онтології залежать від 1-го та 2-го етапів.

Розглянемо детальніше кожний етап петлі OODA у процесі його взаємодії з онтологією предметної області та задач, які в цій області виникають (рис. 1).

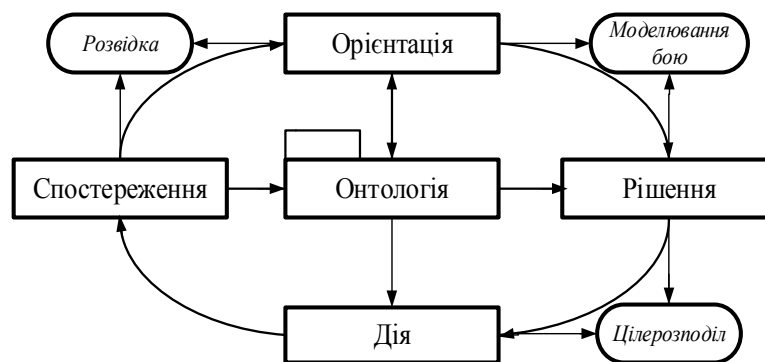


Рис. 1. Етапи петлі Бойда (OODA) та їх взаємодія з онтологією

Етап **спостереження** дає змогу здійснювати процес розбудови онтології, а також аналізувати її з метою вибору релевантної інформації, яка потрібна на наступних етапах петлі OODA [6, 7].

Аналіз онтології здійснюється на основі отримання розвідувальних даних. Розвідники передають інформацію про наявні засоби противника, які відшукуються в онтології, опрацьовуються й надходять командирі тактичної ланки.

Задача обробки розвідувальних даних в загальному випадку виглядає так: група розвідників приносить про стан системи  $X$  сукупність повідомлень (у загальному випадку різнобічних); необхідно визначити стан системи з найбільшою ймовірністю і розподілити ймовірність за іншими станами. Крім того, обробляючи розвідувальні дані, беруть до уваги правдоподібні повідомлення, тобто попередньо необхідно оцінити тим чи іншим способом ймовірності станів  $x_1, x_2, \dots, x_k$   $P_0(x_1), P_0(x_2), \dots, P_0(x_k)$ . Будемо їх називати попередніми, на відміну від кінцевих, які будуть отримані в результаті розвідки. Очевидно, ці кінцеві ймовірності стану залежать від того, яку множину повідомлень принесе розвідник. Позначимо цю множину  $\tilde{S}$ , а кінцеву ймовірність станів, визначену на основі цієї множини, через  $P_p(x_1 / \tilde{S}); P_p(x_2 / \tilde{S}); \dots; P_p(x_k / \tilde{S})$ . Ці ймовірності є умовні ймовірності станів  $x_1, \dots, x_k$ , обчислені за умови, що розвідка доставила множину повідомлень  $\tilde{S}$ , які обчислюють за формулою Байеса (2):

$$P_p(x_i / \tilde{S}) = \frac{P_0(x_i)P(\tilde{S} / x_i)}{P_0(x_1)P(\tilde{S} / x_1) + \dots + P_0(x_i)P(\tilde{S} / x_i) + \dots + P_0(x_k)P(\tilde{S} / x_k)}, \quad (2)$$

де  $P(\tilde{S} / x_1)$  – ймовірність множини повідомлень  $\tilde{S}$ , якщо система була в стані  $x_1$ ;  $P(\tilde{S} / x_2)$  – ймовірність сукупності повідомлень, якщо система була в стані  $x_2$ , і .д.

Для збирання опрацювання та передачі розвідувальних даних розроблено мобільний застосунок “Military Intelligence”.

Повідомлення, отримані від розвідника, поділяють на 5 категорій залежно від їх важливості:

1) зберігається на автоматизованому робочому місці (АРМ) командира тактичної ланки і за відповідного запиту оператора АРМ відображається на моніторі;

2) повідомлення відображається на електронній карті та в командному вікні;

3) повідомлення відображається на електронній карті та в командному вікні, супроводжується звуковим сигналом, не вимагає негайної зворотньої реакції оператора АРМ, який отримав повідомлення;

4) повідомлення відображається на електронній карті та в командному вікні, супроводжується звуковим сигналом, на екрані АРМ відображається окреме вікно, яке тимчасово блокує попередню роботу оператора АРМ та вимагає підтвердження, що повідомлення прочитано;

5) повідомлення відображається на електронній карті та в командному вікні, супроводжується звуковим сигналом, на екрані АРМ відображається окреме вікно, яке тимчасово блокує попередню роботу оператора АРМ та вимагає підтвердження, що повідомлення прочитано, вимагається зворотня реакція (рішення, відповідь) командира на отримане повідомлення.

На етапі **орієнтація** здійснюється побудова плану дій. З цією метою розроблено модуль імітаційного моделювання перебігу бою. Розроблено математичне забезпечення функціонування ІА планування діяльності за онтологічним підходом [8]. Суть діяльності таких агентів полягає у знаходженні шляху із початкового стану в стан мети Path із задоволенням певних критеріїв. Як правило, такі критерії задають раціональну поведінку інтелектуального агента. Суть їх полягає в знаходженні такого Path, щоб затрати на перехід були оптимальними, а вигреш (реакція зовнішнього середовища, в межах якого функціонує ІА) від такого переходу був максимальним. Така раціональна поведінка чимось подібна на відому економічну модель „ціна-якість” (ми шукаємо товар якомога найдешевший й найякісніший). Тобто така задача є двокритеріальна.

Задача планування діяльності  $ZP$  містить три складові: множину станів  $S$ , множину дій  $A$ , множину станів мети  $Goal$ , тобто

$$ZP = \langle S, A, Goal \rangle.$$

Для ефективного планування діяльності ІА повинен вміти оцінювати стани та дії. З цією метою скористаємось моделлю адаптивної онтології, яку ввів В. В. Литвин. Цю онтологію визначають так:

$$\hat{O} = \langle \hat{C}, \hat{R}, F \rangle, \quad (3)$$

де  $\hat{C} = \langle C, W \rangle$ ,  $\hat{R} = \langle R, L \rangle$ ,  $W$  – вага важливості понять  $C$ ,  $L$  – вага важливості відношень  $R$ .

Суть запропонованого методу звуження простору пошуку Path полягає в наступному: окремим поняттям  $\tilde{C} = \{\tilde{C}_1, \tilde{C}_2, \dots, \tilde{C}_m\}$  онтології, які задають альтернативи переходу між станами, надаємо вагу  $W_i$ ,  $i=1, 2, \dots, m$ . З часом ця вага змінюватиметься, а саме зростатиме залежно від міри довіри  $\sigma$  до джерела, на основі якого цю альтернативу було додано до онтології. Поняття із множини  $\tilde{C}$ , збільшення ваг яких за певний термін не перевищуватиме деякого порогу  $\lambda$ , вилучатимемо. Зазначимо, що існують альтернативи  $C' = \{C'_1, C'_2, \dots, C'_m\}$  переходів між станами, які вилучати із онтології не можна, тобто  $\tilde{C} \cap C' = \emptyset$ . Такі елементи онтології визначають експерти ПО. Крім того, експерти зазначають, які концепти онтології переходять із множини  $\tilde{C}$  в  $C'$  і навпаки.

Після того, як простір пошуку Path звужено, розглянемо задачу вибору шляху переходу між двома сусідніми станами. Як згадувалось вище, така задача є двокритеріальною. Спочатку розглянемо кожний критерій окремо, а потім зведемо двокритеріальну задачу до одного критерію.

Нехай множину понять  $S$  описано характеристиками (властивостями)  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ .  $Di$  – домен властивості  $x_i$ ; значення властивості  $x_i$  позначатимемо  $z_i = z(x_i)$ . Нехай  $v(S_k)$  – оцінка стану

$S_k$ .  $a_j^{kl}$  – перехід із стану  $S_k$  у стан  $S_l$ , з використанням альтернативи  $\alpha_j$ ;  $v(a_j^{kl})$  – оцінка дії  $a_j^{kl}$ . Стан мети *Goal* визначається тим, що деяка підмножина ознак  $X$  має досягати певних значень  $z(x, Goal) \forall x \in X$ .

Вибираючи дії, ґрунтуємося на раціональності поведінки ІА, тобто на прагненні мінімізувати витрати ресурсів для досягнення стану мети. Кожна дія  $a_j^{kl}$  визначається витратами ресурсів  $g_j^{kl}$  (ціна переходу зі стану в стан). Так, у задачі фізико-механічної діагностики виробів тривалої експлуатації кожна альтернатива характеризується витратами ресурсів та терміном експлуатації. Інформація про альтернативи, витрати ресурсів, а також термін експлуатації зберігається в онтології. Очевидно, що можуть з'явитися нові альтернативи, тому необхідний модуль поповнення онтології.

Оцінка дії прямо пропорційна до витрати ресурсів, тобто  $v(a_j^{kl}) = E \cdot g_j^{kl}$ , де  $E$  – скалярна величина. З одного боку, задача ІА полягає у мінімізації величини

$$V^* = \sum_{i \in Path} v(a_{j_i}^i) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де  $i = (k, l)$  задає шлях переходу із стану  $S_k$  у стан  $S_l$ ;  $j_i$  – номер альтернативи, яку було вибрано для такого переходу.

Для оцінювання реакції зовнішнього середовища на поведінку ІА розроблено метод, який ґрунтуються на стимулювальному навчанні. Формально задача має такий вигляд. Нехай на кожному кроці агент перебуває у стані  $s$  з деякої множини станів  $S$ . На кожному кроці він вибирає з наявного набору дій  $A$  деяку дію  $a$ . У відповідь на це навколишнє середовище повідомляє агенту, яку винагороду він отримав і в якому стані. У загальному випадку агент повинен досліджувати навколишнє середовище і вибирати оптимальну поведінку.

Позначимо через  $Q^*(S)$  очікуваний виграш ІА у стані  $S$ ;  $Y: S \times A \rightarrow Y$  – функції заохочення;  $T: S \times A \rightarrow S'$  – функції переходу між станами. Задача полягає в максимізації виграшу. Зрозуміло, що в реальній ситуації на початку процесу агент перебуває в абсолютному невіданні – не відома реакція системи на жодні дії, зокрема й переходи між станами. Однак вважаємо, що модель задачі, яку розв'язує ІА, відома.

Згідно з теорією стимулювального навчання, оптимальне значення стану – це та нагорода, яку отримуємо, якщо ІА діє якнайкраще. Це значення можна визначити як розв'язок рівнянь:

$$Q^* = \max_{a \in A} \left( Y(S, a) + \gamma \sum_{Path} T(S, a, S') Q^*(S') \right). \quad (5)$$

Якщо його знати, то оптимальну стратегію вибираємо за формулою

$$\pi^*(s) = \arg \max_a \left( Y(S, a) + \gamma \sum_{Path} T(S, a, S') Q^*(S') \right).$$

Таку задачу розв'язують ітераційним способом.

Беручи до уваги (4) та (5), отримуємо двокритеріальну задачу. З математичного погляду не існує ідеального методу або способу розв'язання таких задач. Кожний з них має свої певні переваги та недоліки і область застосування. Проаналізувавши відомі методи, обрано метод головної компоненти, якщо цільові функції (4) або (5) можна оцінити відповідно знизу або згори; якщо їх оцінити неможливо, то використовуємо метод комплексного критерію. Так отримуємо одну із 3-х задач:

$$\min V^*, Q^* \geq Q; \quad (6)$$

$$\max Q^*, V^* \leq V; \quad (7)$$

$$\min f = \frac{V^*}{Q^*}. \quad (8)$$

Задачі (6)–(8) є багатокроковими оптимізаційними задачами, тобто задачами динамічного програмування. Використовуючи метод розв'язання таких задач (наприклад, функціональних рівнянь), знаходимо шлях переходу із початкового стану в стан мети.

Під час математичного моделювання бойових дій можна виділити параметри, які впливають на результат. До таких параметрів для моделювання бойових дій сухопутних військ належать: відстань між військами; характеристики ходових властивостей механізованих військ; місцевість: проходження місцевості (коефіцієнт супротиву руху); видимість цілі (ймовірність знаходження цілі); ймовірність знищення цілі; сектор пошуку цілі; розподіл вогню за цілями супротивника; число необхідних пострілів для знищення цілі (характеристика розсіювання, захищеність цілі, відстань). У більшості випадків значення цих параметрів безпосередньо залежить від озброєння військ (тактико-технічних показників (ТПП) різного виду озброєнь), тобто від їх складу. Наведені дані зберігаються в онтології.

Математична модель бою задається двома множинами  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  та  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ , що визначають якісний і кількісний склад воюючих сторін. Для кожного елемента  $q_i \in Q$  існує багатовимірна випадкова функція  $\zeta_i(t) = \zeta(\zeta_{i1}(t), \zeta_{i2}(t), \dots, \zeta_{ir(i)}(t))$  для  $T_0 \leq t \leq T_1$ , де  $T_0$  і  $T_1$  відповідно позначають моменти початку і кінця бою. Випадкові функції  $\zeta_{i1}(t), \zeta_{i2}(t), \dots, \zeta_{ir(i)}(t)$  називаються параметрами елемента  $q_i$ ,  $l$  – реалізація випадкової функції  $\zeta_i(t)$ :  $\zeta_i^l(t) = \zeta(\zeta_{i1}^l(t), \zeta_{i2}^l(t), \dots, \zeta_{ir(i)}^l(t))$ . Зріз випадкової функції  $\zeta_i(t)$  при деякому заданому моменті часу  $T_0 \leq t_z \leq T_1$  називається станом елемента  $q_i$  й позначається через  $C_i(t_z)$ . Вектор  $\zeta_i^l(t_z) = (\zeta_{i1}^l(t_z), \zeta_{i2}^l(t_z), \dots, \zeta_{ir(i)}^l(t_z))$  задає стан елемента  $q_i$  в  $t_z$  для  $l$ -ї реалізації й позначається через  $C_i^l(t_z)$ . Сукупність  $\{C_i^l(T_0)\}$  для всіх  $i=1, 2, \dots, n$  задає початковий стан елементів  $Q$  для  $l$ -ї реалізації. Аналогічно описують елементи  $U_j (j=1, 2, \dots, m)$ .

$$\xi_j(t) = \xi_j(\xi_{j1}(t), \xi_{j2}(t), \dots, \xi_{jr(j)}(t)), \quad \xi_j^l(t) = \xi_j(\xi_{j1}^l(t), \xi_{j2}^l(t), \dots, \xi_{jr(j)}^l(t)),$$

$$D_j(t_z) = \xi_j(t_z) = (\xi_{j1}(t_z), \xi_{j2}(t_z), \dots, \xi_{jr(j)}(t_z)), \quad D_j^l(t_z) = \xi_j^l(t_z) = (\xi_{j1}^l(t_z), \xi_{j2}^l(t_z), \dots, \xi_{jr(j)}^l(t_z)).$$

Сукупність  $\{D_j^l(T_0)\}$  для всіх  $j=1, 2, \dots, m$  називається початковим станом сторони  $U$  для  $l$ -ї реалізації, а сукупність  $\{D_j^l(T_1)\}$  – об’єктивним результатом бою сторони  $U$  для  $l$ -ї реалізації. Множини елементів  $\{C_i^l(T_1)\}$  і  $\{D_j^l(T_1)\}$  разом називають об’єктивним результатом бою для  $l$ -ї реалізації, а  $\{C_i^l(T_0)\}$  і  $\{D_j^l(T_0)\}$  – початковим станом бою для  $l$ -ї реалізації.

Як параметри для обраних елементів бою приймають такі випадкові функції від дійсного аргументу часу  $t$ :  $\eta_1(t)$  – функція боєздатності;  $\eta_2(t)$  – функція місця розташування;  $\eta_3(t)$  – функція швидкості;  $\eta_4(t)$  – функція характеру дії;  $\eta_5(t)$  – функція кількості боєприпасів. Детальніше математичні моделі перебігу бойових дій, які нами використано в модулі імітаційного моделювання, наведено у книзі “Математичні моделі бойових дій” за редакцією П. Н. Ткаченка [9].

Для визначення важливості цілей противника використано модель адаптивної онтології, яку розробив В. В. Литвин [10]. Важливість цілі визначається шкодою, яку ми завдаємо противнику, знищивши цю ціль. Для градації цілей опитано експертів військової галузі для оцінювання важливості елементів онтології за 10-бальною шкалою (1 – важливість цілі *кулетет*, 10 – важливість цілі *командний пункт бригади*). Важливість елемента онтології, який задає ціль противника, визначається як середнє арифметичне експертних оцінок, тобто  $W \in [1, 10]$ . Тоді ціль противника з максимальною вагою як елемент онтології визначають за формулою (9):

$$C_{z^*} = \arg \max_{C_z} \left( \sum_{\tilde{C}_i \rightarrow C_z} W_{\tilde{C}_i} + W_{C_z} \right). \quad (9)$$

Нехай у деякий момент часу  $t$  вага концепту  $\tilde{C}_k$  онтології  $O$  дорівнює  $W_k^t$ . Для зростання ваг концептів використовують електронні природномовні документи  $T$  (статті, тези конференцій, анотації статті, якщо сама стаття недоступна, монографії тощо). Кожний такий документ  $T$  належить до певного джерела інформації  $U$  (науковий журнал, сайт тощо). Тобто існує множина джерел  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_K\}$ , а кожне таке джерело містить множину текстових документів  $U_i = \{T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{ik_i}\}$ . Міру довіри до джерела  $U_i$  позначатимемо  $\sigma_i \in [0,1]$ ;  $\sigma_i = 0$  – повна недовіра до джерела  $U_i$ ,  $\sigma_i = 1$  – максимальна довіра до джерела  $U_i$ . Насамперед вважаємо, що міра довіри усіх джерел дорівнює 0,5. Під час наповнення онтології концептами із текстових документів міра довіри до джерела змінюється. Запропоновано такий метод зміни міри довіри: нова міра довіри  $\sigma_H$  до джерела дорівнює  $\sigma_H = 2 \cdot \sigma_C - \sigma_C^2$ , якщо експерт використав текстовий документ із цього джерела для наповнення онтології, де  $\sigma_C$  – стара міра довіри і  $\sigma_H = \sigma_C - \sigma_C^2$ , якщо експерт не використав жодного текстового документа із цього джерела для наповнення онтології. Якщо  $\sigma_H < 1$ , то таке джерело інформації далі не розглядається. Тобто, якщо з певного джерела 6 разів поспіль не взято жодного документа для наповнення онтології, то його  $\sigma_H \approx 0,099$ , й таке джерело вилучають з подальших переглядів.

Тоді ваги концептів  $\tilde{C}_k$  змінюються за такою формулою:

$$W_k^{t+1} = W_k^t + \sum_{T_{ij} \otimes U_i} \sigma_i,$$

де запис  $T_{ij} \otimes U_i$  означає, що текст  $T_{ij}$  було використано для наповнення онтології.

Із онтології вилучають ті концепти, для яких  $W_k^{t+1} - W_k^t < \Delta^t$ .

**Прийняття рішення** (decision) – третій етап циклу OODA. Якщо до цього етапу ОПР змогла сформулювати тільки один реальний план, то приймається рішення – виконувати цей план чи ні.

Вдосконалюючи етап прийняття рішення ми використали задачу цілерозподілу. Цілерозподіл – це операція, яка полягає в призначенні певної цілі певному вогневому засобу. Необхідно знайти оптимальний (найкращий) цілерозподіл, призначивши кожній гарматі певну ціль, по якій вона повинна стріляти (при цьому можливо, що одна і сама ціль буде обстріляна кількома гарматами).

Нехай у нашому розпорядженні є  $n$  засобів ураження й нам потрібно обстріляти групу, що складається з  $N$  цілей. Кожний засіб ураження робить лише один постріл і може в принципі стріляти по кожній цілі, але не з однаковою ефективністю. Ймовірність ураження  $i$ -м засобом ураження  $j$ -ї цілі задана й дорівнює  $P_{ij}$ . Для визначення цих ймовірностей використовують таблиці з нормативних документів, які зберігаються в онтології СВЗСУ [11–13].

Щоб вирішити завдання цілерозподілу [14], необхідно насамперед вибрати показник ефективності. Таким показником залежно від умов стрільби може бути:

- математичне сподівання числа уражених цілей (ймовірність того, що у складі групи буде уражено не менше заданого числа цілей);
- ймовірність того, що будуть уражені всі без винятку цілі.

Показником ефективності цілерозподілу за математичним сподіванням є величина  $M_n = M[X_n]$ , де випадкова величина  $X_n$  – кількість уражених цілей.

Під час стрільби по груповій цілі середнє число уражених цілей дорівнює сумі ймовірностей ураження окремих елементарних цілей (одиниць):  $M_n = W_1 + W_2 + \dots + W_N$ , де  $W_1$  – ймовірність ураження першої цілі;  $W_2$  – ймовірність ураження другої цілі;  $W_N$  – ймовірність ураження  $N$ -ї цілі. Тим самим ми отримуємо задачу (10):

$$M_n = \sum_{j=1}^N W_j \rightarrow \max. \quad (10)$$

Отже, під час цілерозподілу за математичним сподіванням потрібно так розподілити засоби ураження за цілями, щоб сума ймовірностей ураження досягала максимуму.

Для зменшення обчислювальної складності задачі цілерозподілу (10) запропоновано використати методи штучного інтелекту, а саме генетичні алгоритми. Функцією пристосованості (fitness function) у нашому випадку є формула (10). Якщо кількість засобів ураження набагато менша від кількості цілей ( $n \ll N$ ), то цілі наперед ранжуємо за формулою (9).

Для реалізації запропонованого підходу в базі даних зберігають інформацію про наші наявні засоби ураження, розвідані цілі противника та матриця ймовірностей знищення цілей певним вогневим засобом. Хромосома – це вектор, де номер елемента вектора – відповідає ключу засобу знищення в базі даних, а значення елемента – ключ цілі в базі даних. Кращим розв’язком вважається хромосома з найбільшим значенням функції пристосованості.

Для моделювання обирали певну кількість генерації поколінь хромосом. Результати експериментів показали, що при генерації 30 поколінь знайдена найкраща хромосома близька до оптимального цілерозподілу. Розроблений модуль цілерозподілу на основі генетичних алгоритмів входить до складу СППР.

Основною перевагою запропонованого підходу є зменшення складності обчислення алгоритму цілерозподілу, оскільки складність повного перебору – експотенційна, а генетичного алгоритму – лінійна. Тим самим прискорюється процес прийняття рішень. Особливо це важливо, коли події щодо цілерозподілу відбуваються в реальному часі. Хоча отриманий розв’язок цілерозподілу не є завжди оптимальним, однак він близький до оптимального, а виграш у часі отримання розв’язку є значним.

**Дія** (action) – завершальний етап циклу, що передбачає практичну реалізацію обраного задуму або плану.

Підсумовуючи вищенаведене, розробимо модель петлі Бойда з використанням онтологій у вигляді автомату Мура.

Скінченний автомат можна подати в вигляді математичної схеми (F-схеми), яка характеризується шістьма елементами:

- скінченною множиною  $X$  вхідних сигналів (вхідний алфавіт);
- скінченною множиною  $Y$  вихідних сигналів (вихідний алфавіт);
- скінченною множиною  $Z$  внутрішніх станів (внутрішній алфавіт або алфавіт станів);
- початковим станом  $z_0$ ,  $z_0 \in Z$ ;
- функцією переходів  $\varphi(z, x)$ ;
- функцією вихідів  $\psi(z, x)$ ;

Автомат задається F-схемою  $F = \langle Z, X, Y, \varphi, \psi, z_0 \rangle$ . Він функціонує у дискретному автоматному часі, моментами якого є такти, кожному з яких відповідають однакові значення вхідних і вихідних сигналів та внутрішнього стану. Автомат Мура – це F-автомат другого роду, для якого:

$$z(t+1) = \varphi[z(t), x(t)], t = 0, 1, 2, \dots ; \quad (11)$$

$$y(t) = \psi[z(t)], t = 0, 1, 2, \dots ; \quad (12)$$

тобто функція виходів не залежить від вхідної змінної  $x(t)$ .

Отриманий нами автомат Мура наведено на рис. 1. На цьому рисунку використано такі позначення:  $S = \{s_1, \dots, s_5\}$  – множина станів автомата;  $s_0 \in S$  – початковий стан,  $s_0$  – етап петлі Бойда “Спостереження”,  $s_1$  – етап петлі Бойда “Орієнтація”,  $s_2$  – процес “Редагування онтології”,  $s_3$  – процес “Пошук релевантних знань”,  $s_4$  – етап петлі Бойда “Рішення”,  $s_5$  – етап петлі Бойда “Дія”.  $x_1$  – дані, яких немає в онтології,  $x_2$  – дані про супротивника,  $x_3$  – онтологічні дані ( $x'_3$  – для рішення,  $x''_3$  – для дії),  $x_4$  – оцінка обстановки,  $x_5$  – моделювання ситуації,  $x_6$  – синтез даних,  $x_7$  – аналіз даних,  $x_8$  – оцінювання рішення,  $x_9$  – збирання даних,  $x_{10}$  – пропонуване рішення,  $x_{11}$  – редагування онтології (нові дані),  $x_{12}$  – навколишнє середовище.



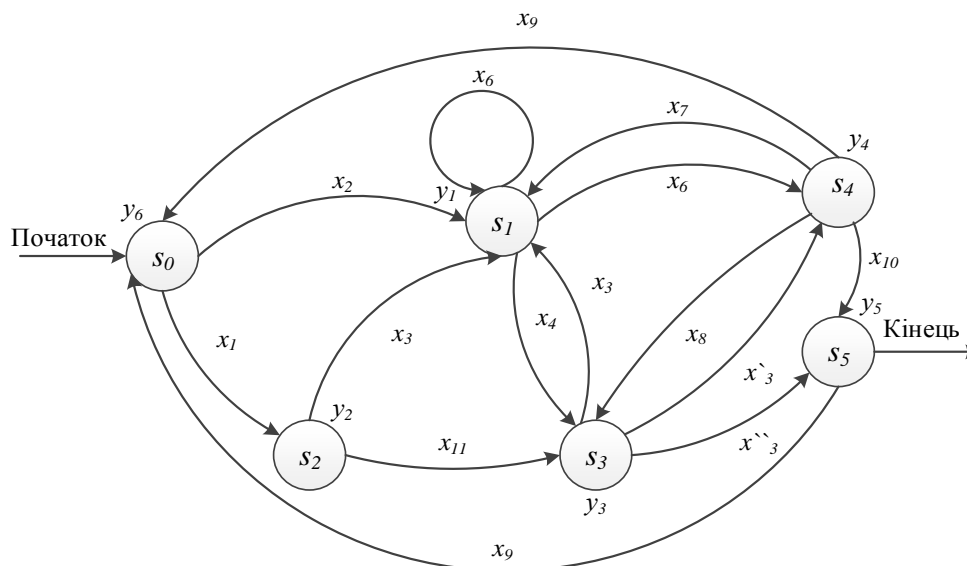


Рис. 1. Автомат Мура петлі Бойда з використанням онтологій

Автомат містить такі переходи між станами:  $\varphi(s_0, x_2) = s_2$ ,  $\varphi(s_2, x_3) = s_1$ ,  $\varphi(s_2, x_{11}) = s_1$ ,  $\varphi(s_2, x_{11}) = s_3$ ,  $\varphi(s_1, x_4) = s_3$ ,  $\varphi(s_1, x_5) = s_1$ ,  $\varphi(s_2, x_6) = s_4$ ,  $\varphi(s_4, x_7) = s_1$ ,  $\varphi(s_4, x_5) = s_0$ ,  $\varphi(s_4, x_8) = s_3$ ,  $\varphi(s_3, x_3) = s_4$ .

#### Табличний опис автомату Мура

	y6	y1	y2	y3	y4	y5
	s0	s1	s2	s3	s4	s5
x1	s2	-	-	-	-	-
x2	s1	-	-	-	-	-
x3	-	-	s1	s4	-	-
x4	-	s3	-	-	-	-
x5	-	s1	-	-	-	-
x6	-	s4	-	-	-	-
x7	-	-	-	-	s1	-
x8	-	-	-	s4	s3	-
x9	-	-	-	-	s0	s0
x10	-	-	-	-	s5	-
x11	-	-	s3	-	-	-

Розроблено модель петлі Бойда на основі автомата Мура. Станами автомата є етапи петлі Бойда, а також процеси редагування онтології та пошук релевантних знань в онтології. Визначено можливі переходи між станами автомата і параметри, які при цьому передаються. Розроблений автомат є основою для побудови СППР командирами тактичних ланок СВЗСУ.

#### Висновки та перспективи подальших наукових розвідок

Для моделювання процесу підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі розроблено математичне забезпечення та методи використання онтології предметної області на чотирьох етапах петлі OODA (спостереження, орієнтація, рішення, дія). Так, для військової сфери на етапі спостереження розвідувальні дані аналізуються онтологією предметної області з метою визначення сильних та слабких сторін противника. На етапі орієнтації онтологічні дані використовують для імітаційного моделювання можливого перебігу бою й для оптимального розставлення власних сил. Для етапу рішення розроблено метод цілерозподілу на основі генетичних алгоритмів, що дало змогу зменшити обчислювальну складність, а отже, суттєво пришвидшити час, необхідний командирі тактичної ланки для прийняття рішення. Імовірнісні дані

знищення сил противника певним засобом, які є вхідними даними розробленого методу, беруть з онтології на основі аналізу нормативних таблиць. Також для підвищення ефективності можливих рішень в онтології подано експертні знання на основі дескриптивної логіки.

Розвинуто метод використання адаптивних онтологій у прикладних предметних областях, а саме у військових застосуваннях, завдяки визначенню експертами ваг окремих елементів онтології, що дало змогу підвищити ефективність етапів “Орієнтація” та “Рішення” петлі Бойда під час імітаційного моделювання перебігу бою та цілерозподілу. Для окремих ситуацій використання експертних правил, які містяться в онтології, дає змогу до 20 % підвищити ймовірність неушкодження власних військ.

Розроблено математичне забезпечення функціонування інтелектуальних агентів планування діяльності на основі онтологій, що дало змогу формалізувати поведінку таких агентів у просторі станів. Зважування елементів онтології дає змогу звужити простір пошуку шляху із початкового стану в стан мети, відкидаючи нерелевантні альтернативи.

1. Gruber T. A translation approach to portable ontologies / T. Gruber // *Knowledge Acquisition*. – 1993. – № 5 (2). – P. 199–220. 2. Guarino N. Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation / N. Guarino // *International Journal of Human-Computer Studies*. – 1995. – № 43(5–6). – P. 625–640. 3. Sowa J. Conceptual Graphs as a universal knowledge representation / J. Sowa // *Semantic Networks in Artificial Intelligence, Spec. Issue of An International Journal Computers & Mathematics with Applications*. (Ed. F. Lehmann). – 1992. – Vol. 23. – No. 2–5, Part 1. – P. 75–95. 4. Литвин В.В. Пошук релевантних прецедентів на основі адаптивних онтологій / В. В. Литвин, Р. Р. Даревич, Д. Г. Досин // *Штучний інтелект: наук.-техн. журн. / Національна академія наук України; Інститут проблем штучного інтелекту*. – Донецьк, 2011. – № 3. – С. 388–395. 5. Shakhovska N. Dataspace Class Algebraic System for Modeling Integrated Processes / Natalya Shakhovska, Mykola Medykovskij, Vasyl Lytvyn // *Journal of applied computer science*. – 2012. – Vol. 20, No. 1. – P. 69–80. 6. Литвин В. В. Метод моделювання процесу підтримки прийняття рішень у конкурентному середовищі / В. В. Литвин, О. В. Оборська, Р. В. Вовнянка // *Математичні машини й системи : наук. журн.* – К., 2014. – № 1. – С. 50–57. 7. Lytvyn V. Method of automated development and evaluation of ontologies' qualities of knowledge bases / Lytvyn V., Horyak M., Oborska O // *Applied computerscience*. – 2014. – Vol. № 10-4. – P. 92–97. 8. Литвин В.В. Проблема автоматизованої розбудови базової онтології / В.В. Литвин, Т. М. Черна // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”*. – 2014. – № 805: Інформаційні системи та мережі. – С. 306–315. 9. Математические модели боевых действий / П. Н. Ткаченко, Л. Н. Куцев, Г. А. Мецераков, А. М. Чавкин, А. Б. Чебыкин. – М.: Советское радио, 1969. – С. 350–365. 10. Lytvyn V. V. Intelligent agents based on adaptive ontology / V. V. Lytvyn, O. V. Oborska // *IV Міжнародна наукова конференція студентів, аспірантів та молодих вчених „Теоретичні та прикладні аспекти кібернетики” (ТААС-2014)*, Київ: 24–28 листопада 2014. – К., 2014. – С. 264–273. 11. Литвин В. В. Метод планування рішень у конкурентному середовищі на основі використання онтологій / В. В. Литвин, О. В. Оборська, М. Я. Гопяк, Р. В. Вовнянка // *Десята міжнародна науково-практична конференція „Математичне та імітаційне моделювання систем” (МОДС 2015)*, Чернігів: 22–26 червня 2015. – Чернігів, 2015. – С. 460–465. 12. Оборська О. В. Інформаційна система моделювання воєнних дій механізованих військ з використанням онтологічного підходу / О. В. Оборська // *Проблеми програмування: наук. журн. / Національна академія наук України; Інститут програмних систем*. – Київ, 2014. – № 4. – С. 59–66. 13. Литвин В. В. Моделювання автоматизованої системи управління тактичної ланки на основі онтологічного підходу / В. В. Литвин, О. В. Оборська // *Вісник Кременчуцького нац. ун-ту ім. М. Остроградського*. – Кременчук, 2014. – Вип. 5/2014(88). – С. 92–97. 14. Литвин В. В. Використання інформаційних технологій штучного інтелекту під час розв’язування задачі цілерозподілу та його реалізація як окремого модуля в складі АСУ артилерії / В. В. Литвин, В. Л. Живчук, О. В. Оборська // *Науково-практична конференція „Перспективи розвитку ракетних військ і артилерії Сухопутних військ”*, 6 листопада 2015, Львів. – Львів, 2015. – С. 72.