УДК 519.816

УДОСКОНАЛЕННЯ ФУНКЦІЙ ПРИДАТНОСТІ СТРАТЕГІЇ ВІДСТУПУ В ІГРОВОМУ ШТУЧНОМУ ІНТЕЛЕКТІ НА ОСНОВІ TOPSIS

Пендига В.В.; Волкова Н.П., к.т.н., доц.
Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, Одеса
pendygaonpu@stud.op.edu.ua; volkova.n.p@op.edu.ua

Анотація. *Удосконалено функції придатності стратегії відступу в методі вибору тактичної стратегії агентами ігрового штучного інтелекту на основі TOPSIS: поріг функцій за запасом боєприпасів і витривалістю прирівняно до максимального запасу ресурсу. У симуляції бою команд по п'ять агентів (400 боїв, парна схема) частка перемог зросла з 67,0 до 83,5 %, частка нічиїх зменшилася з 29,0 до 14,75 % ($p < 0,0001$). Перевага зберігається за зміни параметрів середовища.*

Ключові слова: *ігровий штучний інтелект; багатокритеріальне прийняття рішень; TOPSIS; функції придатності; тактична стратегія.*

Вступ. У попередніх дослідженнях авторів сформовано модель прийняття рішень ігрового штучного інтелекту (ІШІ) [1] і запропоновано метод вибору тактичної стратегії, у якому показники стану агента перетворюються на оцінки придатності стратегій Attack, Defense і Retreat, після чого стратегії ранжуються методом TOPSIS [2, 3]. У симуляції бою двох команд по п'ять агентів команда під керуванням методу перемогла у 67,0 % боїв, проте 29,0 % боїв завершилися нічиєю, а стратегію відступу агенти обирали лише в 6,9 % рішень [2].

Однією з причин є вигляд функцій придатності стратегії відступу за критеріями запасу боєприпасів S_1 і витривалості S_2. Оцінки придатності стратегії відступу за цими критеріями дорівнюють нулю, коли запас боєприпасів становить не менше 50 %, а рівень здоров'я – не менше 30 % від максимальних значень. Це може зменшувати ймовірність вибору відступу.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення ефективності методу вибору тактичної стратегії на основі TOPSIS шляхом удосконалення функцій придатності стратегії відступу та оцінювання впливу цієї зміни в комп'ютерній симуляції бою.

Матеріали та методи. Метод [2] формує для агента матрицю рішень розміром 3×6: рядки відповідають стратегіям, стовпці – критеріям S_1–S_6 (запас боєприпасів, витривалість, кількість союзників і ворогів поруч, наявність укриття, потенційна загроза). Оцінки придатності обчислюються за шкалою від 0 до 10 із застосуванням функції $\varphi(u) = \max(0, \min(1, u))$.

У базовому варіанті методу (К1) оцінки відступу за критеріями S_1 і S_2 задано функціями $10 \cdot \varphi(1 - s_1/15)$ і $10 \cdot \varphi(1 - s_2/30)$. У запропонованому варіанті (К2) поріг кожної функції дорівнює максимальному запасу відповідного ресурсу: $10 \cdot \varphi(1 - s_1/30)$ і $10 \cdot \varphi(1 - s_2/100)$. Оцінка відступу зменшується лінійно на всьому діапазоні ресурсу й дорівнює нулю лише за повного запасу (рис. 1).

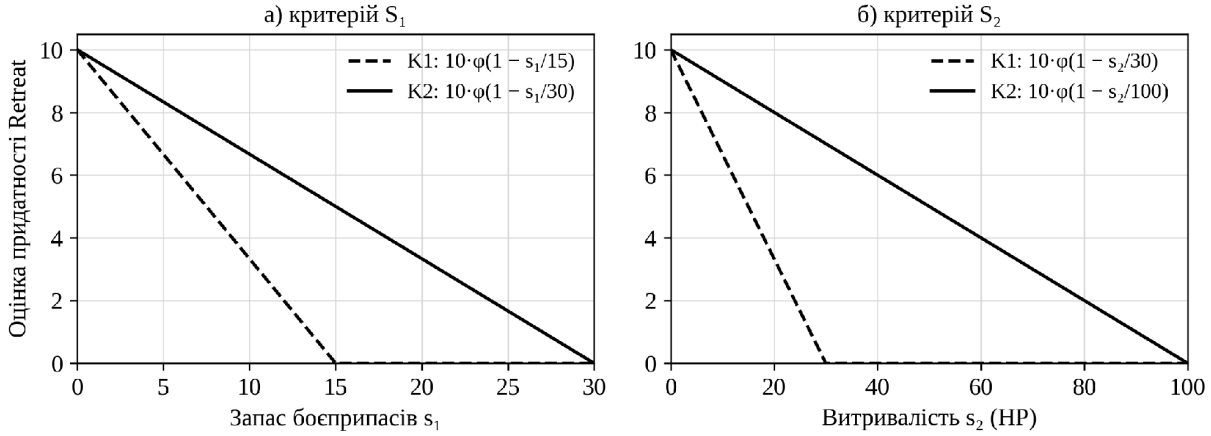


Рис. 1. Функції придатності стратегії Retreat за критеріями S_1 (а) і S_2 (б) у варіантах К1 і К2

Решту функцій придатності, ваги критеріїв w = (0,20; 0,20; 0,15; 0,20; 0,10; 0,15) і процедуру TOPSIS залишено без змін. Тому відмінність результатів зумовлена лише зміною двох функцій.

Розглянемо агента з 10 боєприпасами і 45 одиницями здоров'я, одним союзником і двома ворогами поруч, поза укриттям. У варіанті К1 оцінки відступу за S_1 і S_2 становлять 3,33 і 0, і агент обирає Attack (C = 0,708). У варіанті К2 ці оцінки зростають до 6,67 і 5,50, і найкращою стає стратегія Retreat (C = 0,734). Для ситуації з числового прикладу [2] обидва варіанти обирають Attack.

Дослідження проведено в симуляторі бою [2]: поле [0; 100] умовних одиниць із двома зонами укриття, команди по п'ять агентів, суперник – «наївний» ІШІ, що завжди обирає атаку. Застосовано парну схему: для 200 початкових значень генератора випадкових чисел проведено по два бої зі зміною сторін, тобто 400 боїв для кожного варіанта на однакових початкових умовах. Для часток перемог, поразок і нічиїх обчислено 95 % довірчі інтервали Вілсона [4], для інших показників – за t-розподілом. Для порівняння часток перемог варіантів К1 і К2 за парною схемою застосовано точний тест Мак-Немара [5], де результати боїв поділено на дві категорії: перемога та відсутність перемоги.

Результати та обговорення. Результати серій наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати серій 5 проти 5 для варіантів К1 і К2 (N = 400 боїв, парна схема)

Показник	К1	К2
Перемоги, %	67,0 [62,2; 71,4]	83,5 [79,5; 86,8]
Поразки, %	4,0 [2,5; 6,4]	1,75 [0,9; 3,6]
Нічиї, %	29,0 [24,8; 33,6]	14,75 [11,6; 18,6]
Середнє HP агента наприкінці бою	34,1 [32,5; 35,6]	42,8 [41,2; 44,4]
Агентів, що вижили (з 5)	2,72 [2,60; 2,84]	3,23 [3,12; 3,34]
Знищень на один постріл	0,043	0,043
Середня тривалість бою, тіків	138,2 [126,4; 150,0]	104,3 [95,1; 113,6]
Частка рішень Attack / Defense / Retreat, %	69,9 / 23,2 / 6,9	63,4 / 24,0 / 12,6

Примітка: у квадратних дужках – 95 % довірчі інтервали.

Варіант К2 збільшив частку перемог з 67,0 до 83,5 % і майже вдвічі зменшив частку нічиїх. На однакових початкових умовах К2 виграв 101 бій, у якому К1 не переміг, а К1 – 35 таких боїв ($p < 0,0001$). Середнє HP агента зросло на 8,7 [7,2; 10,2] од., кількість агентів, що вижили, – з 2,72 до 3,23, а бій скоротився в середньому на 34 тіки.

Частка рішень Retreat зросла з 6,9 до 12,6 %: агенти частіше відходять на базу для поповнення ресурсів ще до їх повного вичерпання. Показник кількості знищень на один постріл в обох варіантах становив 0,043. Вплив початкової сторони статистично не значущий (82,5 % перемог за команду Red і 84,5 % за Blue; $p = 0,67$).

Перевага К2 над К1 зберігається за досліджених змін параметрів середовища. За чотирьох інших комбінацій коефіцієнтів, що зменшують імовірність влучання за руху стрільця і для цілі в укритті, частка перемог К2 була на 10,0–18,5 відсоткового пункту вищою, ніж К1. За відсутності обох коефіцієнтів К2 зберіг значущу перевагу над наївним ІШІ (53,75 % проти 43,25 %, $p = 0,037$), тоді як для К1 відмінність незначуща (43,75 % проти 48,25 %, $p = 0,38$).

Водночас удосконалення функцій відступу не усуває компенсаційного ефекту агрегації TOPSIS, виявленого в [2]. У 59 нічиїх, що залишилися, 136 із 187 агентів методу, які вижили, не мали боєприпасів, і 135 із них на останньому тіку обирали Attack.

Висновки. Запропоновано функції придатності стратегії відступу, поріг яких дорівнює максимальному запасу ресурсу, тому оцінка відступу зростає поступово в міру витрачання боєприпасів і зменшення рівня здоров'я. За незмінних інших функцій, ваг і процедури TOPSIS у проведених експериментах це підвищило частку перемог з 67,0 до 83,5 % і зменшило частку нічиїх з 29,0 до 14,75 % ($p < 0,0001$); перевага зберігається за досліджених змін параметрів середовища. Подальші дослідження передбачають поєднання удосконалених функцій з обмеженням допустимості атаки за відсутності боєприпасів та калібрування ваг критеріїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Пендига, В. В., & Волкова, Н. П. (2024). Модель прийняття рішення ігрового штучного інтелекту під час бойових подій в симуляціях, *Modern Information Technology 2024: матеріали XIV Міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених* (с. 167–169). Одеса: Національний університет «Одеська політехніка».

[2] Пендига, В. В., & Волкова, Н. П. (2026). Метод вибору тактичної стратегії агентами ігрового штучного інтелекту із застосуванням TOPSIS. *Інформатика. Культура. Техніка, Т.3* №2 (4), 851–865. https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.66

[3] Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9

[4] Wilson, E. B. (1927). Probable inference, the law of succession, and statistical inference. *Journal of the American Statistical Association, 22*(158), 209–212. https://doi.org/10.1080/01621459.1927.10502953

[5] McNemar, Q. (1947). Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. *Psychometrika, 12*(2), 153–157. https://doi.org/10.1007/BF02295996

Pendyha V.V., Volkova N.P.

Improving the retreat strategy suitability functions in the game artificial intelligence based on TOPSIS

Abstract. *The retreat strategy suitability functions for the ammunition and stamina criteria in the TOPSIS-based method of tactical strategy selection are improved by setting their thresholds equal to the maximum resource level. In a five-versus-five battle simulation (400 paired battles) the win rate increased from 67.0 to 83.5 % and the draw rate decreased from 29.0 to 14.75 % ($p < 0.0001$); the advantage persists when the environment parameters change.*

Keywords: *game artificial intelligence; multi-criteria decision making; TOPSIS; suitability functions; tactical strategy.*