

БАЗОВІ МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ В ЗАДАЧАХ ГРУПОВОГО УПРАВЛІННЯ В СЕРЕДОВИЩІ СИМУЛЮВАННЯ ФУТБОЛУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ

Анотація: В даній статті представлені базові алгоритми прийняття рішення та моделі поведінки для інтелектуального агента, який діє в кооперації з союзниками на прикладі футболу. В якості засобу розробки та тестування алгоритмів використаний сервер для симулювання футболу з світових дослідницьких змагань «RoboCup».

Ключові слова: RoboCup simulation league, середовище моделювання, моделі поведінки, методи прийняття рішень.

Вступ

Все більше результати напрацювань робототехніки використовуються в прикладних задачах. З'являються нові роботи або групи роботів, які повинні працювати спільно для рішення виробничих, військових або побутових задач. Взаємодія роботів в групі потребує алгоритмів та методів для синхронізації.

У даному напрямку працює наукова спільнота RoboCup[1] (футбол між командами інтелектуальних агентів), а саме її підрозділи – «2D simulation league» [2] та «3D simulation league»[3]. Взаємодію агентів можна розділити на два типи. Ціль першого типу синхронізації є отримання максимальної кількості забитих голів командою. У такому типі агенти працюють з однаковою кодовою базою, що розроблялася однією командою науковців. Поведінка роботів ідентична, причому вони мають можливість «спілкуватися» через програмні інтерфейси і передавати частини даних змодельованого, за допомогою датчиків, навколишнього середовища. Також реалізуються елементи тактичної гри. Другий тип з'явився в 2013 році – «Drop-in player challenge». В такій схемі окремий учасник команди роботів створюється окремою командою розробників. Метою створення другого типу була стимуляція розвитку штучного інтелекту в напрямку взаємодії з союзними роботами, але з іншими кодовими базами. Такі роботи не мають змоги комунікувати – тільки аналізувати дії союзних гравців і бути "корисними" для досягнення спільної мети. Також присутній елемент внутрішньо-командної конкуренції, коли задача агенту не тільки максимально допомогти союзним роботам, а і стати найрезультативнішим гравцем в команді.

Другий тип синхронізації – це новий щабель в розвитку штучного інтелекту. Дослідження в даному напрямку дасть змогу вдосконалити роботів для роботи в наступних умовах:

1. аварійна втрата зв'язку з учасниками колаборації;
2. спільне досягнення цілі різнорідними або різноплатформенними роботами;
3. можливість автономного виконання роботи.

У даній статті висвітлено проміжний результат у дослідженні другого типу синхронізації. Описано дворівневу розроблену базову логіку агенту для синхронізації команди в умовах неможливості комунікації та запропоновано метод для реалізації стратегії формувань учасників на прикладі гри в футбол.

Моделі поведінки

Базові навички

Базовими навичками агентів є вже реалізовані на сервері команди. Їх можна застосувати, викликавши відповідні методи API на сервері. Такі дії включають в себе [4]:

- $move(x, y)$ – переміщення гравця на задані координати ігрового поля;
- $turn(\alpha)$ – обертання агента на задану кількість градусів навколо своєї осі;
- $kick(f)$ – здійснення удару м'яча по напрямку гравця з заданою силою;
- $kick(f, \alpha)$ – здійснення удару м'яча попередньо повернувши гравця на задану кількість градусів;
- $dash(f)$ – прискорення гравця у напрямку до його корпусу;
- $dash(f, \alpha)$ – прискорення гравця у напрямку його корпусу, зміщений заданим кутом.

Високорівневі навички

Високорівневі навички є комбінацією низькорівневих команд та допоміжних алгоритмів, таких як: розрахунок прискорення об'єкту, швидкості, кута до цільового об'єкта та інші. Також навички діляться на два типи: дії з м'ячем і без нього (рис. 1) [5].



Рисунок 1. Моделі поведінки

Для виконання дій з м'ячем потрібно враховувати можливі загрози (перехоплення опонентом, рикошет, недоліт і т.д.) траєкторії руху. Для цього застосовано алгоритми передбачення руху, які враховують дані навколишнього середовища (швидкість тіл на полі, прискорення, тощо)[6].

А. Ведення м'яча

Для ведення м'яча існує три шляхи розвитку подій. Перший випадок, коли опонент «О» (рис. 2) знаходяться ближче допустимої відстані для ведення, тоді агент «С» б'є в сторону ворожих воріт з максимальною силою.

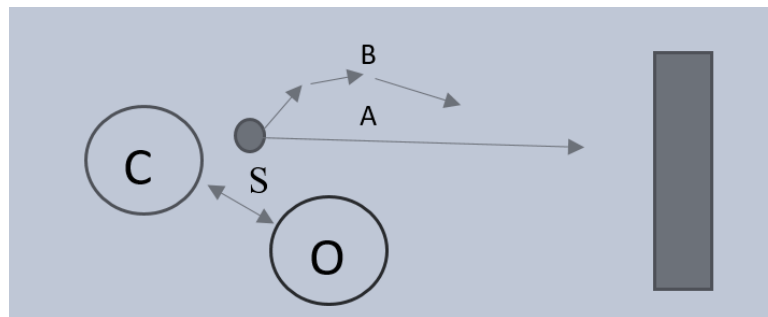


Рисунок 2. Ведення м'яча

Другий випадок, коли агент знаходиться на більшій дистанції S , але є ризик втрати м'яча. Тоді радіус дриблінга буде розраховуватися по траєкторії B . Третій випадок, коли ворожих опонентів не виявлено в полі зору, тоді ведення м'яча буде здійснюватися по траєкторії A .

Ведення м'яча полягає у періодичному штовханні в напрямку воріт, якщо в полі зору не присутні опоненти або ж останні знаходяться на відстані R . Кут ударання м'яча визначається як (1):

$$\alpha = f_{\alpha} (\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}) \quad (1)$$

де \vec{A} – вектор майбутньої позиції, яка визначається за допомогою параметрів поточної швидкості та прискорення; \vec{B} – оптимальний вектор напрямку дриблінга до воріт; \vec{C} – вектор позиції м'яча; $\vec{A} + \vec{B}$ – вектор розташування позиції воріт противника, враховуючи розташування позицій опонентів; $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C} = \overline{ABC}$ – результуючий вектор цільового напрямку м'яча; f_{α} – функція обрахунку кута для результуючого вектору. Сила удару для підштовхування \vec{F}_y , визначається як (2):

$$\vec{F}_y = \frac{\text{hypot}(\overline{ABC})}{I} \quad (2)$$

де

$$\text{hypot} = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2}$$

I – інертність м'яча, v – координати вектора.

Б. Захват м'яча і удар в сторону воріт

У випадку, коли агент має можливість вдарити м'яч (знаходиться у радіусі контакту і має напрямок до м'яча) виконується удар з максимальною силою та кутом відносно воріт.

В іншому випадку агент здійснює рух в сторону м'яча з заданим прискоренням відносно відстані до об'єкту і поворотом корпусу відносно напрямку м'яча.

В. Вибити м'яч у випадку небезпеки власних воріт

У випадку, коли агент має можливість вдарити м'яч, здійснюється вибивання зі штрафного майданчика (рис.3). Інакше, коли неможливо вдарити м'яч, тоді здійснюється передбачення позиції м'яча в майбутньому та здійснюється переміщення в поточну або прогнозовану позицію відповідно для виконання удару.

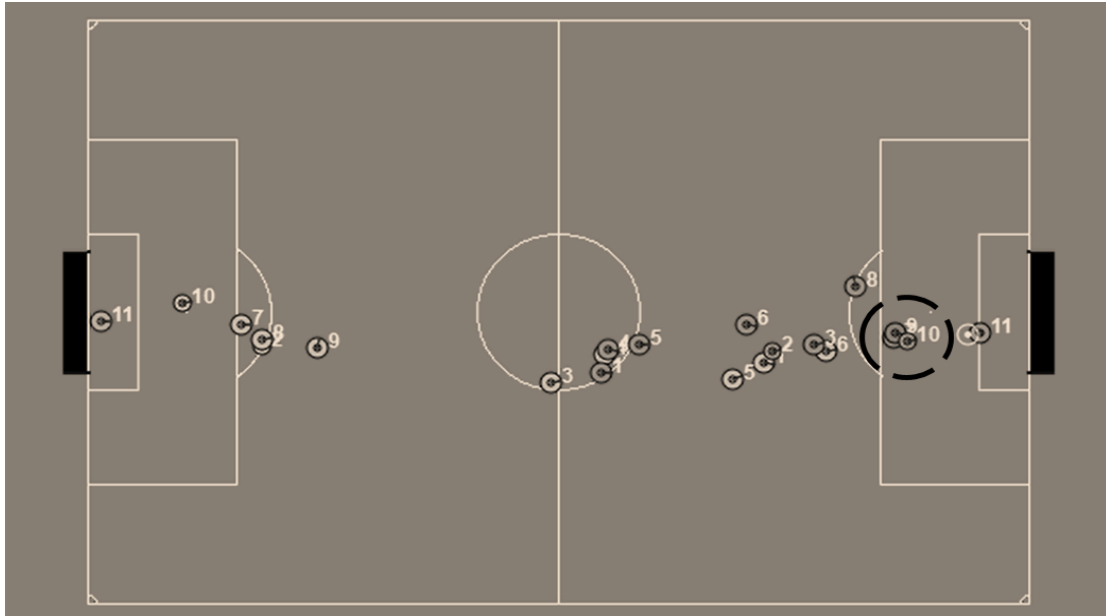


Рисунок 3. Застосовується стратегія вибивання м'яча за межі ігрового поля командою №2

Г. Зайняти позицію між м'ячем і власними ворітьми

Модель поведінки втримання позиції між власними ворітьми та м'ячем може бути застосована для захисників та голкіпера. Дана модель допомагає зберігати позиції захисників позаду м'яча для протидії атакам супротивника. Для утримання позиції захисника обчислюється середина відстані між м'ячем та ворітьми, а також відстань агента до обчисленого центру (рис.4). Якщо різниця між значеннями більше заданої, тоді агент пересувається до центру поки різниця не стане прийнятною. Дана стратегія актуальна до входження у власний штрафний майданчик або частину поля опонента.

Д. Озирнутися навкруги

Виконується базовою серверною командою без додатковсї логіки. Гравець виконує поворот навколо своєї осі за годинниковою стрілкою.

Е. Зайняти позицію на фланзі

Дана модель використовується для поведінки флангового гравця. У випадку, якщо будь-який союзний гравець володіє м'ячем, то фланговий гравець оцінює майбутню позицію та супроводжує м'яч паралельно осі абсцис, тримаючись у боковому секторі поля (рис.5).

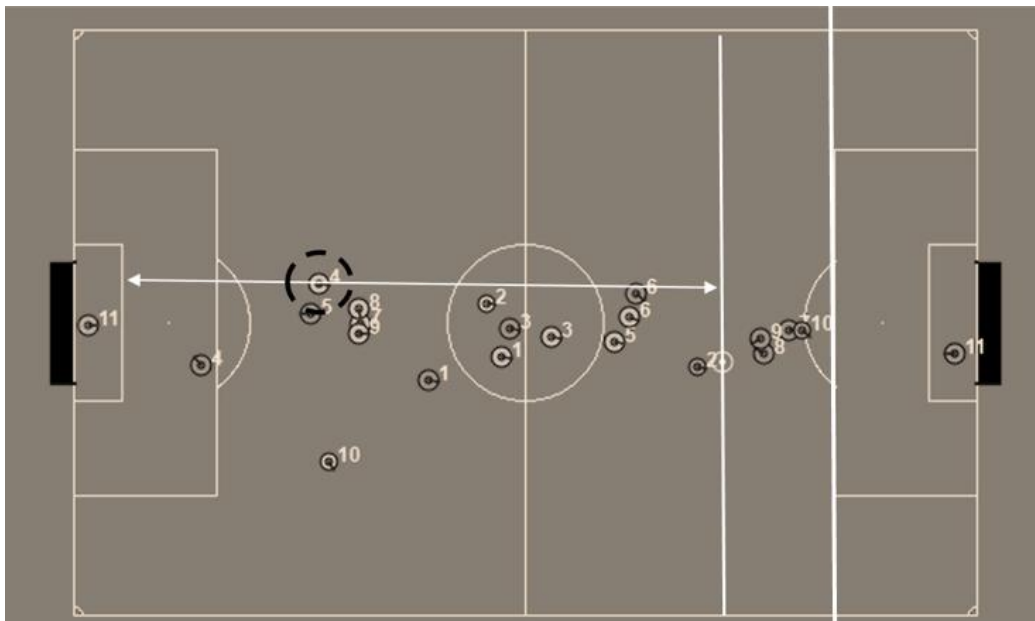


Рисунок 4. Зайняття гравцем позиції між м'ячем та власними ворітьми

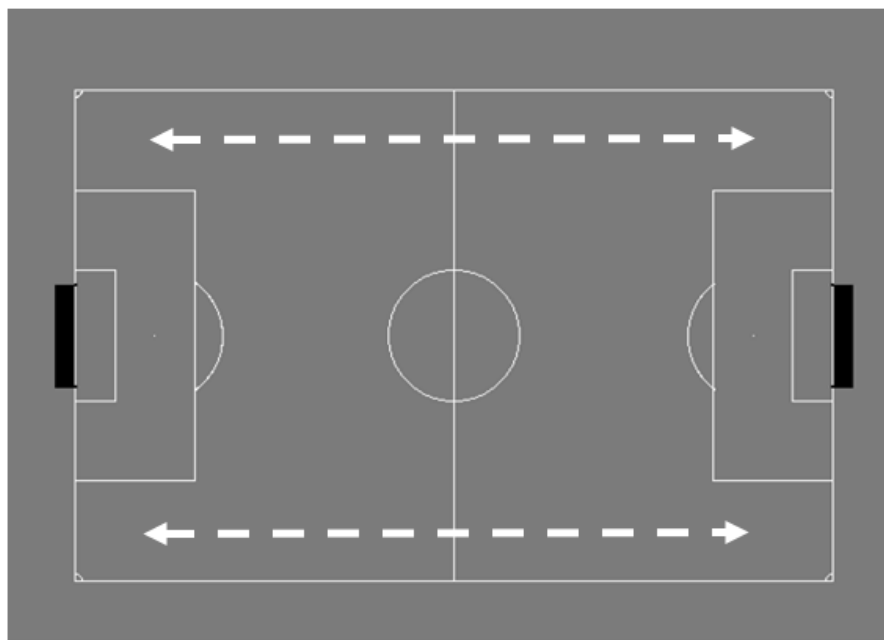


Рисунок 5. Траєкторія руху флангового гравця на полі

Методи прийняття рішень

Для реалізації інтелектуального агенту створено модуль прийняття рішень (МПР), який генерує поведінку відповідно до моделі світу. Інтерпретація навколишнього середовища відбувається на основі отриманих даних з серверу. МПР має наступну структуру (рис.6):

- підсистема оцінки ситуації;
- підсистема вибору алгоритму поведінки;
- підсистема генерації дії.

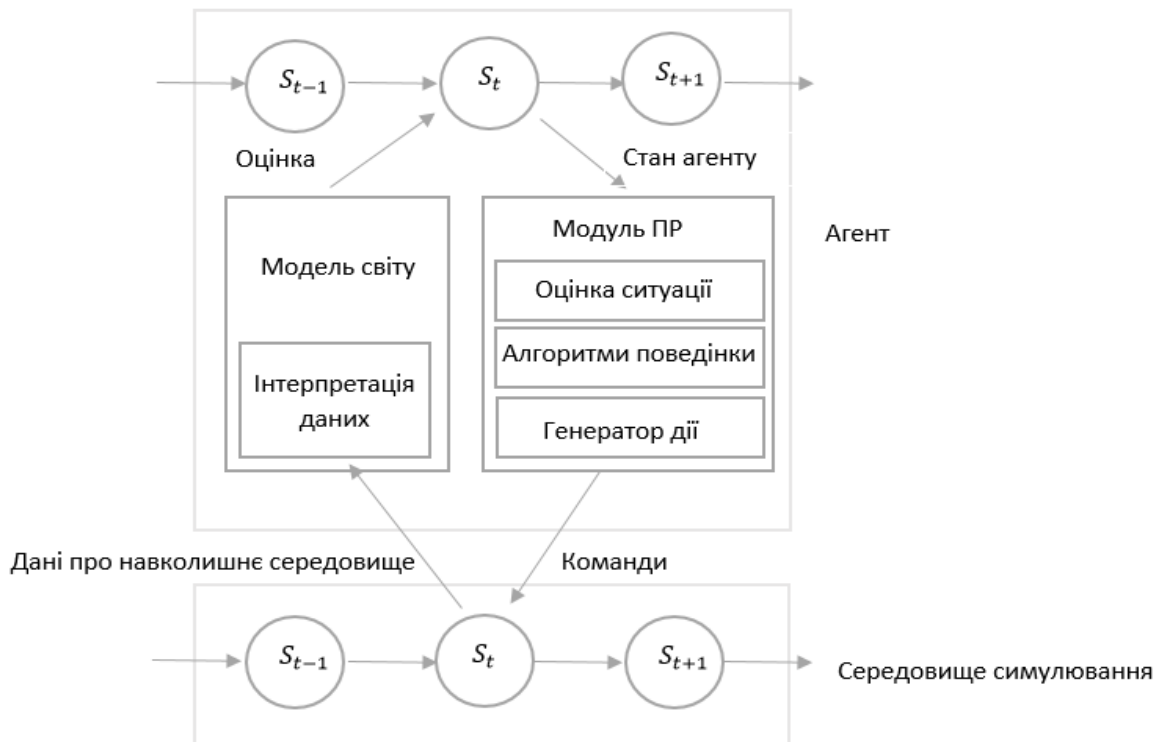


Рисунок 6. Процес прийняття рішення щодо дії агента

Підсистема оцінки ситуації базується на аналізі даних, які були отримані з симулятора та на алгоритмах передбачення місця положення м'яча. Створюється та оновлюється модель ігрового поля зі всіма координатами об'єктів, що розташовані на полі (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри оцінки ситуації

| | Параметр | Значення |
|----|--|--|
| 1. | Роль гравця (склад команди 10 гравців) | нападаючий лівого флангу, нападаючий правого флангу, центральний нападаючий, лівий центральний гравець, центральний гравець, правий центральний гравець, лівий захисник, центральний захисник, правий захисник, голкіпер |
| 2. | Позиція гравця | Координати в декартовій площині (x,y) |
| 3. | Позиція м'яча на полі | Координати в декартовій площині (x,y) |
| 4. | Позиція суперників | Координати в декартовій площині (x,y) |
| 5. | Зона ігрового поля | Точки на декартовій площині, що описують границі зони - a,b,c,d |
| 6. | Дистанція до м'яча | R |
| 7. | Візуальний контакт з цільовим об'єктом | $x = \{yes, no\}$ |
| 8. | Точність побудованої моделі поля | Q |

* Центр поля відповідає точці з координатами (0,0).

Алгоритм поведінки агента в і-й момент часу обирається за принципом максимальної корисності дії (3):

$$W_k(X, Q) = \{x \in X \mid u(Q(x)) = \max_{y \in X} u(Q(y))\} \quad (3)$$

де X – множина всіх стратегій; x – множина стратегій серед яких відбувається вибір; $u(Q(y))$ – функція корисності дії.

За замовченням значення функції корисності для всіх стратегій дорівнює 0.0. При виконанні необхідних умов для у-стратегії, значення функції корисності дорівнює константі корисності дії, яка лежить в межах [0.0, 1.0].

Загалом розроблено п'ять базових ігрових стратегій, що відповідають високорівневим навичкам (п. 2.2):

- А) стратегія заняття позиції на фланзі;*
- Б) стратегія ведення м'яча;*
- В) стратегія захоплення м'яча і виконання удару в сторону ворожих воріт;*
- Г) стратегія зайняття позиції між м'ячем і власними ворітьми;*
- Д) стратегія вибивання м'яча за межі ігрового поля .*

Також існують технічні, неігрові стратегії, на кшталт, *зайняття стартового положення в формуванні, зайняття вихідного положення тощо.*

Умови та константи корисності для розроблених стратегій визначені емпірично та наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Константи корисності стратегії

| Стратегія | | Умови | Корисність |
|-----------|--|---|------------|
| А | Зайняття позиції на фланзі | Для флангового гравця | 0.70 |
| Б | Ведення м'яча | Всі гравці окрім голкіпера та гравців в штрафних майданчиках | 0.95 |
| В | Захвату м'яча і виконання удару по ворожим воротам | Для нападаючого | 0.97 |
| | | Для будь якого гравця, якщо він знаходиться в радіусі R метрів | 0.98 |
| Г | Зайняття позиції між м'ячем і власними ворітьми | Для захисника та воротаря, якщо відстань до м'яча більше R метрів | 0.97 |
| | | Для захисника та воротаря, якщо відстань менше R метрів | 0.45 |
| | | Інші гравці | 0.40 |
| Д | Вибивання м'яча за межі ігрового поля | Для будь якого гравця, якщо м'яч знаходиться в зоні власних воріт | 0.99 |
| | | Для будь якого гравця, якщо знаходиться поза межами воріт | 0.45 |
| Е | Самолокалізація гравця | Для гравців, які не самолокалізувалися. | 0.98 |

* Для не зазначених випадків або ролей гравців константа корисності становить 0.0

У випадку задоволення групи критеріїв для певної моделі поведінки призначається константа корисності, що визначається експертом, інакше присвоюється значення «0.0». Діапазон константи корисності лежить в межах від 0.0 до 1.0.

А. Стратегія заняття позиції на фланзі

Агент з роллю «фланговий гравець» повинен використовувати дану стратегію, якщо союзний гравець знаходиться ближче до м'яча або володіє ним. У випадку задоволення всіх умов призначається константа корисності $P = 0.70$.

Б. Стратегія ведення м'яча

Агент не здійснює ведення м'яча, коли є голкіпером або знаходиться у штрафній зоні воріт опонентів, в даному випадку здійснюється удар по ворожим воротам, або вибивання за межі поля. Ведення здійснюється за умов, якщо агент має можливість ударити м'яча (оцінюється те, чи може гравець вдарити м'яча, залежно від його відстані до м'яча і від того, знаходиться він в зоні дриблінгу) і в заданому радіусі відсутні опоненти. У випадку виконання всіх умов призначається константа корисності $P = 0.95$.

В. Стратегія захоплення м'яча і виконання удару в сторону воріт опонентів

Оскільки найбільша ймовірність того, що удар по ворожим воротам буде здійснено нападаючим гравцем, то перевага надається саме йому, $P = 0.97$. Флангові гравці, центральні захисники та захисники, як правило, повинні дотримуватися цієї стратегії, коли знаходяться ближче до м'яча чим радіус R , тоді призначається $P = 0.98$. Виключенням є воротар.

Г. Стратегія зайняття позиції між м'ячем і власними ворітьми

Переважно дана стратегія застосовується воротарем та захисниками. Використовується з метою постійного позиціонування в захисті для запобігання атаки опонентів.

Д. Стратегія вибивання м'яча за межі штрафного майданчика

Захисники виконують дану стратегію у випадку, якщо м'яч знаходиться в зоні воріт.

Тестування результатів

У сучасній теорії футболу виділяють командні, групові та індивідуальні дії. Для тестування ефективності розроблених алгоритмів важливо розглядати всі три зазначені способи дій. Щоб визначити результати роботи дії алгоритмів, розглянемо командні дії, а саме протистояння двох повноцінних команд.

Підбір команди супротивника зроблено таким чином, щоб максимально визначити ефективність розроблених алгоритмів. Експеримент проводився наступним чином – «Команда 1» (K1) перша команда включає всі описані ігрові навички (табл. 3, комбінація 5), а тестована команда «Команда2» (K2) конфігурувалася додаванням нової навички до базових («Обертання навколо своєї осі» і «Захоплення м'яча і удар в сторону воріт») або різними комбінаціями навичок. Таке тестування «східцями» повинно продемонструвати індивідуальний вплив стратегій на результати матчу. Набір

Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління» № 1' (40) 2022 навичок 1 взятий за основу, так як передбачає базові ігрові елементи для забезпечення мінімальних можливостей команди. Особливу цікавість мають комбінації 2 та 9. Комбінація 2 має суто нападаючі елементи тактики. Планується, що такий дисбаланс типу гри зможе показати вплив нападаючих тактик на результати гри. Комбінація 9 має тільки захисні елементи гри. Проведення з даною комбінацією тестування має на меті виявити ефективність захисних елементів гри. Комбінації для К2 (піддослідної команди) наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Тестування команди з різною кількістю та комбінаціями навичок

| № | Обертання навколо своєї осі | Захоплення м'яча і удар в сторону воріт | Ведення м'яча | Зайняття позиції на фланзі | Вибивання м'яча у випадку небезпеки власних воріт | Зайняття позиції між м'ячем і власними ворітьми |
|----|-----------------------------|---|---------------|----------------------------|---|---|
| 1 | x | x | | | | |
| 2 | x | x | x | | | |
| 3 | x | x | x | x | | |
| 4 | x | x | x | x | x | |
| 5* | x | x | x | x | x | x |
| 6 | x | x | x | | | x |
| 7 | x | x | x | | x | x |
| 8 | x | x | | x | x | x |
| 9 | x | | x | x | x | x |
| 10 | x | x | | | x | x |
| 11 | x | | | | x | x |

* – набір навичок команди, що грає проти піддослідної команди

Результати тестування наведені в таблиці 4.

Таблиця 4.

Відсоткові показники перемог команди 1

| K1 \ K2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | 55 | | | | | | | | | | |
| 3 | 62 | 57 | | | | | | | | | |
| 4 | 82 | 77 | 70 | | | | | | | | |
| 5 | 90 | 86 | 77 | 56 | | | | | | | |
| 6 | 67 | 62 | 55 | 35 | 27 | | | | | | |
| 7 | 72 | 67 | 60 | 40 | 32 | 55 | | | | | |
| 8 | 85 | 80 | 72 | 52 | 45 | 67 | 62 | | | | |
| 9 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 4 | 10 | | | |
| 10 | 70 | 65 | 57 | 37 | 30 | 52 | 47 | 35 | 95 | | |
| 11 | 8 | 5 | 4 | 2 | 1 | 4 | 3 | 7 | 47 | 3 | |

Пік результативності команди спостерігається саме із застосуванням повного набору алгоритмів, тобто, комбінації 5. Комбінації 9 та 11 не мають стратегії «захват м'яча і удар в сторону воріт», що кардинально вплинуло на кількість перемог. Значення тримаються в діапазоні від 0-10%. Виключення даної стратегії із загальної моделі поведінки призвело до повної втрати результативності. Атакуюча комбінація 2 в більшості матчів програла через відсутність захисту, проте не з великим відривом.

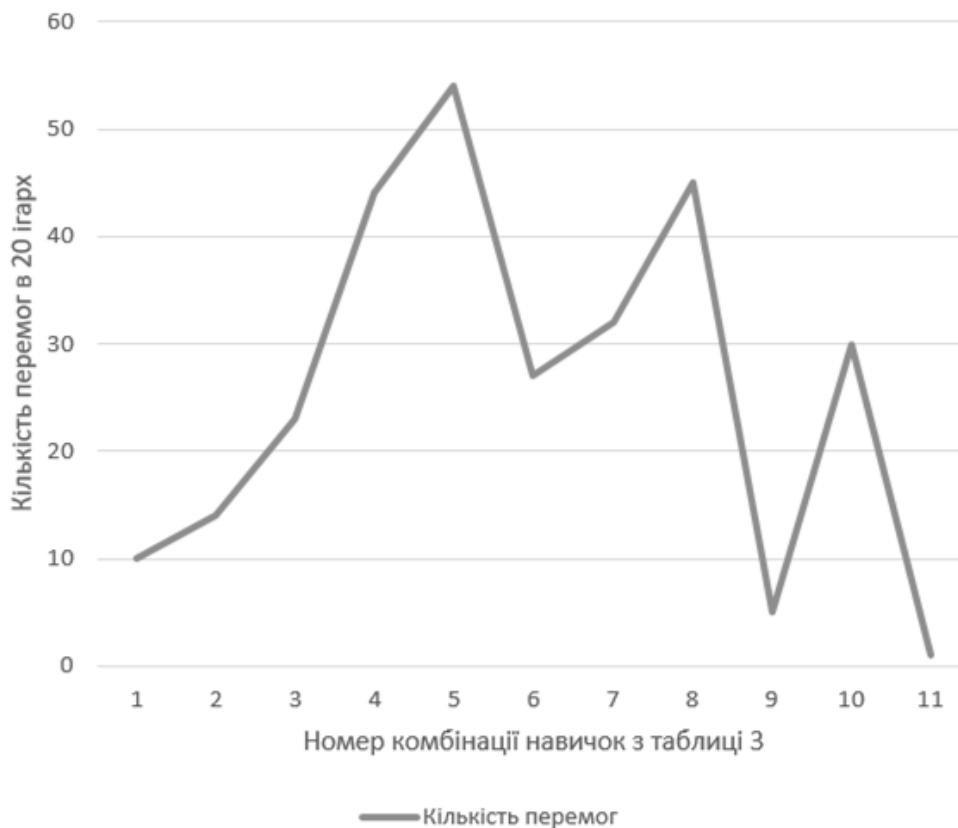


Рисунок 7. Результат тестування між комбінацією 5 та рештою

Висновок

Через відсутність достатньої кількості алгоритмів колаборації інтелектуальних агентів різних кодових баз, різних корпоративних розробок, або ж колаборації інтелектуальних агентів у випадку аварійних ситуацій, таких як втрата зв'язку, були розроблені базові моделі поведінки за допомогою симульованого середовища футболу RoboCup.

До основних результатів слід віднести:

- розроблено нові базові алгоритми, використовувані для гри роботів-футболістів, включаючи алгоритми пересування, алгоритми групової взаємодії, і алгоритми оцінки ситуації;
- створено алгоритми прийняття рішень, які можуть бути застосовані як в задачах управління роботами-футболістами, так і в інших завданнях групового управління;

- проведено тестування (серія запусків поєдинків базової команди та команди з розробленими алгоритмами поведінки), що попередньо підтверджує ефективність використання створених базових алгоритмів.

Запропоновані моделі прийняття рішень можуть бути використані у реалізації методів вищого рівня командної взаємодії (розпізнавання та прогнозування дій союзників та опонентів для максимізації корисності агента в складі команди).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Robocup [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.robocup.org/>.

2. Robocup 2D [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.robocup.org/leagues/24>.

3. Robocup 3D [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.robocup.org/leagues/25>.

4. Visser U. Recognizing Formations in Opponent Teams [Електронний ресурс] / U. Visser, S. Hübner // Researchgate. – 2000. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/220797607>.

5. Pourmehr S. An Overview on Opponent Modeling in RoboCup Soccer Simulation 2D [Електронний ресурс] / S. Pourmehr, C. Dadkhah // Computer and Electrical Engineering Department of K.N. Toosi University of Technology. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/262205554_An_Overview_on_Opponent_Modeling_in_RoboCup_Soccer_Simulation_2D.

6. Niki Maleki K. A simple method for decision making in RoboCup soccer simulation 3D environment [Електронний ресурс] / K. Niki Maleki, M. Hadi Valipour, R. Yeylaghi Ashrafi // Researchgate. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/233861358>.