



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АЛГОРИТМУ ВИБОРУ ЗБРОЇ БОТОМ В КОМП'ЮТЕРНІЙ ГРІ ЖАНРУ ШУТЕР

УДК

САЛТАН Борис Андрійович

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, магістр,
м.Миколаїв, Україна,
e-mail: bs.arezius@gmail.com

СОБКО Дмитро Анатолійович

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, магістр,
м.Миколаїв, Україна
e-mail: sobkod23@gmail.com

КУЛАКОВСЬКА Інесса Василівна

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, канд. фіз.-мат. наук,
завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету
ім. Петра Могили, м.Миколаїв, Україна
ORCID: 0000-0002-8432-1850,
e-mail: kulaknic@gmail.com

ВСТУП

XXI століття — століття комп'ютерних технологій, які щодня розвиваються і використовуються як для праці, так і для відпочинку. Окрему нішу займають комп'ютерні ігри, тобто комп'ютерні програми або частини комп'ютерних програм, що служать для організації ігрового процесу (геймплея).

Шутер (від англ. shoot - стріляти) - популярний жанр відео ігор, ігровий процес яких заснований на боях в режимі реального часу з використанням, як правило, вогнепальної зброї. Програмування ігрового штучного інтелекту в шутерах зводиться, головним чином, до розробки моделі поведінки ботів. Ботами прийнято називати ворожих до гравця персонажів, які контролюються комп'ютером.

Для того, щоб ігровий процес шутера був цікавим і реалістичним, боти повинні бути запрограмовані таким чином, щоб з одного боку, їх було складно переіграти, але з іншого боку, у людини залишалися шанси на пе-

ремогу. В ідеалі, боти повинні діяти подібно персонажам, контрольованим реальними людьми.

У зв'язку з цим, виникає ряд непростих завдань, таких як реалізація тактики командного ведення бою ботами; моделювання прицілювання, стрільби, переміщення ботів по карті; реалізація алгоритму вибору зброї ботом в залежності від ігрової ситуації. У даній роботі розглядається рішення останньої з перерахованих завдань.

Аналіз останніх досліджень та публікацій Інформаційна база у сфері математичних моделей для комп'ютерних ігор жанру шутер майже відсутня. Аналіз джерел, знайдених в мережі Інтернет([1]—[6]), показав, що данні моделі представлені тільки у формі опису на форумах для гравців.

Основною метою роботи є дослідження математичної моделі алгоритму вибору стратегії ігрової програми, які визначають рівень складності гри і гарантують певний відсоток вигравшів гравцеві, за умови, коли він

визначить вірну стратегію гри для себе з використанням сценарного аналізу, нейронних мереж, їх застосування в алгоритмі вибору зброї ботом в тривимірному шутері від першої особи, тестування реалізованих алгоритмів і виявлення переваг і недоліків кожного підходу.

Задача штучного інтелекту для ігор полягає в імітації поведінки об'єктів реального світу. Для цього слід почати розгляд штучного інтелекту з базових компонентів - від низькорівневих правил і алгоритмів до більш високого рівня, на якому працює тактичний і стратегічний ШІ. При цьому, слід домогтися високої ефективності роботи системи ШІ, оптимізувати її для використання на комп'ютерах. Це означає, що потрібні нові наукові і практичні розробки, які б дозволили більш широко використовувати технологію створення засобів ШІ.

ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ МОДЕЛІ ПОВЕДІНКИ БОТА

В ході вивчення предметної області, було проаналізовано ряд матеріалів, що стосуються деталей використання сценарного аналізу, штучного інтелекту в відео іграх, в

основному, в шутерах від першої особи. У багатьох сучасних іграх поведінка ботів характеризується високою передбачуваністю. Це пов'язано з тим, що розробники наголошують на ефективності застосовуваних алгоритмів, не замислюючись безпосередньо про модель прийняття рішень ботом. Так, в шутерах Left 4 Dead і Killzone для розрахунку траєкторії переміщення ботів використовується алгоритм A*. При цьому, моделі поведінки ботів засновані на використанні кінцевих автоматів. В результаті, поведінка ботів повністю детермінована, на відміну від поведінки ігрових персонажів, контрольованих реальними людьми [1]. Безумовно, такий підхід до створення ігрового штучного інтелекту істотно знижує інтерес користувачів до проекту.

Що стосується підходів до реалізації вибору зброї в шутерах від першої особи, то як правило, для цієї мети використовуються експертні системи, засновані на правилах.

Нижче представлений приклад псевдокоду алгоритму вибору зброї, заснованого правилах.

<pre>if(enemy.distance < 5) { ATTACK-WITH-KNIFE() } else if(enemy.distance >= 5 AND enemy.distance <= 30)</pre>	<pre>{ ATTACK-WITH-SUBMACHINE-GUN() } else { ATTACK-WITH-RIFLE() }</pre>
--	--

Лістинг 1 – Правило вибору зброї

Крім передбачуваності прийнятих ботом рішень, недоліком такого підходу є велика кількість параметрів, які необхідно підбирати (в описаному вище прикладі таким параметром є enemy.distance - відстань між ботом і ворогом). Для того, щоб наблизити поведінку бота до реальності, потрібно враховувати багато факторів, і налаштування експертної системи стає складним завданням. Пропонується використовувати генетичні алгоритми для вирішення цього завдання.

Навчання з підкріпленням - сукупність методів машинного навчання, в ході яких агент навчається, взаємодіючи з деяким навколишнім середовищем. Агент взаємодіє з оточенням (Environment), застосовуючи різні дії (Actions) в залежності від значень певних параметрів (State) і отримуючи нагороду (Reward). Нижче наведена схема, що ілюструє описану взаємодію агента з навколишнім середовищем.

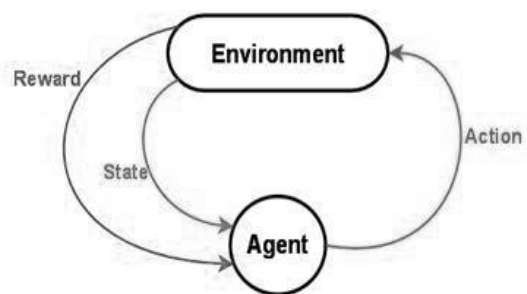


Рис. 1 – Взаємодія агента з навколишнім середовищем

Мета таких методів полягає в навчанні агента вибрати дії, ґрунтуючись на поточному стані навколишнього середовища, таким чином, щоб отримати максимальну нагороду [2]. У термінах поставленого завдання, використання методів навчання з підкріпленням в алгоритмі вибору зброї, дозволяє боту протягом гри накопичувати досвід використання кожної зброї в різних ігрових ситуаціях і діяти відповідно із зібраними



знаннями, постійно модифікуючи тактику вибору зброї з метою збільшення одержуваної нагороди.

Штучна нейронна мережа (ШНМ) - математична модель, побудована за принципом організації мереж нервових клітин живого організму. Нейронні мережі широко застосовуються в різних областях. Зокрема, вони активно використовуються в аналізі даних, наприклад, при вирішенні задач класифікації даних, кластеризації даних, апроксимації неперервних функцій.

Залежно від характеру навчання, ШНМ прийнято розділяти на навчаються з учителем і навчаються без учителя. Також, останнім часом, як правило, окремо виділяють нейронні мережі, які навчаються з підкріпленням. Кожен з перерахованих типів ШНМ призначений для вирішення певного класу задач. Навчання з учителем застосовується, коли заздалегідь відомі вихідні значення мережі при певних вхідних значеннях. Нейронні мережі даного типу підходять для вирішення таких завдань, як класифікація даних. Серед алгоритмів навчання таких мереж найбільш відомий метод зворотного поширення помилки (backpropagation)[3]. Нейронні мережі, які навчаються без вчителя, має сенс використовувати в тих випадках, коли немає ніякої апріорної інформації про те, якими мають бути вихідні значення мережі. Такі нейронні мережі, як правило, застосовуються для вирішення завдань кластеризації даних. У даній роботі була використана нейромережева модель FALCON, яка навчається з підкріпленням. Детальний опис архітектури даної нейронної мережі, її алгоритму навчання та особливостей застосування, буде наведено в наступних публікаціях.

Під час військових дій можна зіштовхнутися із багаточисленними і різноманітними сценаріями, такими як рейди по тилах противника або засідки, лобові атаки і флангові напади, маневрена війна і позиційні бої і т.д. Солдати, опинившись в певній ситуації, безперечно, прагнуть знайти найкращі інструментальні засоби для виконання свого бойового завдання, що дозволяє збільшити ймовірність успіху або просто забезпечити шанси на виживання.

До категорії стратегій високого рівня відносяться навички вибору зброї, які доповнюють навички володіння зброєю.

Вибір зброї вдає із себе задачу, при вирішенні якої в процесі гри виникає багато варіантів. Під час бою найчастіше виявляється успішним один-єдиний якісний спосіб поведінки, незалежно від контексту. А коли доводиться маніпулювати самою зброєю, боту доводиться динамічно враховувати набагато більше факторів.

При вирішенні завдання вибору зброї може використовуватися навчання. При цьому виникають цікаві тенденції в розвитку проекту гри або навіть засобів ШІ. Наприклад, ми можемо визначити, чи є вибір зброї цілком виправданим і, в разі необхідності, модифікувати логіку поведінки гри.

Вихідні дані:

- розроблювані боти повинні бути здатними до стрільби, вони не зобов'язані мати ідеальну поведінку;
- для вибору зброї в грі абсолютно необхідна підтримка декількох видів зброї, як завжди, таку можливість має надавати ігрова машина;
- передбачається, що середовище дозволяє учасникам битви приймати вельми різноманітні розташування, що може призводити до того, що бойова ситуація кожен раз буде складатися по-різному

ВИБІР ЗБРОЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СЦЕНАРІЇВ

Безумовно, засоби сценарної підтримки не є результатом досліджень виключно в області ШІ, але неможливо заперечувати й те, що ці засоби дуже широко використовуються в додатках ШІ, і особливо в комп'ютерних іграх [5].

Необхідність в застосуванні зручних мов сценаріїв не вичерпується традиційними підходами до створення ігрових засобів ШІ; в міру покращення додатків ШІ сценарна підтримка в них не виключається, а просто починає обслуговувати інші потреби (відмінні від потреб реалізації форм поведінки). Системи, які діють на основі застосування сучасних методів ШІ, виграють за рахунок використання мов сценаріїв також і в тому, що ці мови повністю забезпечують взаємодію основних компонентів. Рішення можуть бути отримані логічним шляхом на підставі вихідних фактів. Ми будемо керуватися даними про властивості зброї (наприклад, про ступінь завданої шкоди і темп стрільби) для вибору найбільш підходящої зброї.

Застосування декларативного підходу для визначення властивостей зброї. Це дозволяє надати засобам ШІ інформацію про скорострільність і очікувану шкоду.

Для визначення способу ранжування кожної з цих властивостей зброї служить система голосування. По суті, в розрахунок беруться багато різних характеристик і відбувається голосування з метою з'ясування того, яка властивість зброї являється найбільш важливою. Після цього кожен вид зброї оцінюється відповідно з отриманим числом голосів і відбувається повернення даних про найкращу зброю. Такий підхід діє успішно, оскільки

найчастіше кількість кандидатів на звання найкращої зброї більше двох, причому основна їх частина відповідає повністю допустимому варіанту вибору. Кожен аспект рішення розглядається більш детально: визначення властивостей зброї, організація роботи системи голосування, збір голосів, визначення характеристик і облік простих обмежень.

Властивості зброї

В документі Quake 2 Weapons and Combat FAQ можна знайти статистичні дані, що приводяться в табл. 1

Таблиця 1

Властивості зброї у грі Quake 2

Зброя	Темп стрільби	Шкода	Шкода заподіяна за секунду	Швидкість	Розсіювання
Бластер	0,5	20	40	1000	0
Дробовик	1	48	40	-	500/500
Автомат	0,1	8	80	-	300/500
Кулемет	0,05 і 0,025	6	120 і 240	-	300/500
Гранатомет	1	120*	120	400-800	0
Ракетна пускова установка	1,25	120*	96	650	0
Гіпербластер	0,1	20	200	1000	0
Рельсотрон	1,5	100	67	-	0

Таким чином, розглядаються такі властивості зброї, з урахуванням тієї послідовності, в якій вони наведені в табл. 1.

- Темп стрільби.
- Шкода, заподіяна з розрахунку на постріл.
- Шкода, заподіяна за секунду.
- Швидкість уражаючого елемента.
- Точність (величина, зворотна розсіюванню).

Дані про властивості, наведені в таблиці, повинні бути оголошені в окремому файлі, щоб їх можна було легко модифікувати. У сценарії передбачено включення цього файлу, для того щоб дані про властивості зброї можна було враховувати при втіленні логічного висновку.

Головна мета розробників комп'ютерних ігор — створити програму, яка б мала кілька рівнів складності, ігровий процес, викликала високий рівень зацікавленості гравця і дозволяла б йому при виборі правильних стратегій поведінки досягати перемоги. Крім того, перемога гравця не повинна бути досить легкою. Отже, при розробці програмного коду комп'ютерної гри необхідно мати досить гнучкий алгоритм підбору стратегій, що гарантують певний процент позитивних результатів для гравця. Цей відсоток визначає рівень складності гри. Саме проблемі математичного моде-

лювання алгоритму вибору стратегій комп'ютерної програми у відповідності до рівня складності гри присвячена дана робота. Вибір ботом зброї залежить від так званих параметрів керування. Розв'язання задачі визначення параметрів вибору базується на математичній теорії ігор.

Засоби ШІ повинні прийняти до розгляду зазначені факти і виробити рішення, що стосується того, наскільки підходить той чи інший вид зброї в поточній ситуації. Результатом застосування функції придатності стає одиничне значення, яке представляє рівень придатності зброї.

В даному випадку до складу характеристик входять компоновка середовища, відстані між учасниками гри, поточний рівень життєздатності та інші. Критерії прийняття рішення про те, який вид зброї повинен використовуватися, фактично представляють собою результати аналізу комбінацій цих характеристик [6].

В основі системи голосування лежить така ідея, що характеристики використовуються для вироблення рішення про те, яка властивість зброї в найбільшій мірі потрібна для їх реалізації, і сформована при цьому оцінка розглядається як голос на користь цієї властивості (див. рис. 2). На відміну від тієї системи голосування, яка застосовується в людському суспільстві, в

даній системі голосування можна простіше передбачити можливість подавати більше ніж один голос, і навіть є можливість використовувати дробові значення кількості голосів.

Після цього, як показано нижче, отримані голоси застосовуються для масштабування властивостей зброї. Якщо за якусь властивість подано багато голосів, то це означає, що властивість є важливою, тому її числове значення множиться на більше число; і навпаки, отри-

мання меншої кількості голосів свідчить про те, що властивість не є надто важливою.

$$f(w) = P_i(w) * V_i + P_n(w) * V_n \quad (1)$$

В наведеній формулі $f(w)$ позначає придатність зброї w , $P_i(w)$ позначає, i -у властивість зброї, що розглядається (наприклад, швидкість та збиток від пострілу), а V_i показує загальну кількість голосів, поданих за цю властивість.

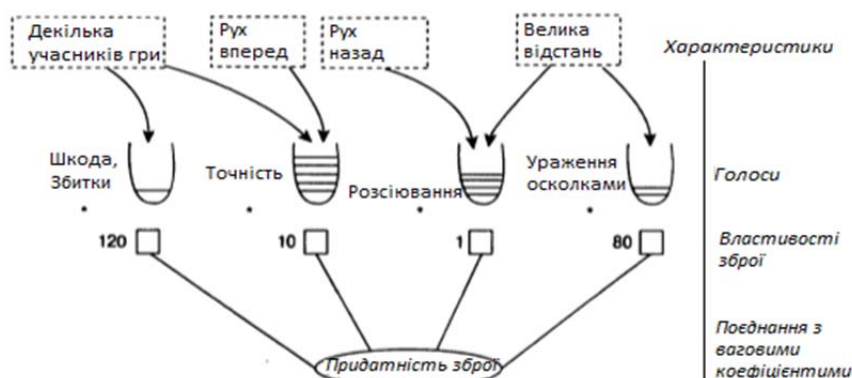


Рис. 2 – Схема організації системи голосування, що застосовується, в якій свій вклад в визначення кількості голосів вносять характеристики

Значення кількості голосів множаться на значення властивості зброї і обраховується зважена сума, що визначає придатність зброї.

Перш за все необхідно залучити до роботи експерта, щоб він визначив важливість властивостей в різних ситуаціях. Перш ніж почнеться голосування, необхідно виявити можливих кандидатів. У цьому розділі використовуються всі властивості зброї, які були перераховані

в табл. 1, і до них додаються дві зазначені нижче властивості.

- **Точність стрільби.** Визначається як величина, зворотна розсіюванню.
- **Потенціал ураження.** Визначається як максимальна шкода з розрахунку на постріл, але використовується інше визначення вагового коефіцієнта, для того щоб цей фактор став менш значущим.

Таблиця 2

Уточнення значимості характеристик зброї з допомогою голосування

Характеристика	Кількість голосів
Декілька гравців	Шкода, +4
Велика відстань	Точність, +2
Середня відстань	Кількість пошкоджень за секунду, +1; точність, +1
Коротка відстань	Кількість пошкоджень за секунду, +2
Рух уперед	Точність, +1
Рух назад	Розсіювання, +1
Рух в обмеженому просторі	Ураження осколками, +3
Напад із засади	Точність, +2
Пошук	Шкода, +1
Втеча	Потенційна ймовірність поразки, +атто(кількість боєприпасів)

На наступному етапі необхідно вибрати характеристики ситуації, що враховуються при проведенні голосування. Рішення про використання тих чи інших характеристик засноване, головним чином, на інтуїції, а їх відносна значимість, безсумнівно, повинна уточнюватися на етапі проведення експериментів, як показано в табл. 2, деякі характеристики володіють голосами, величина яких перевищує одиницю, а інші характеристики надають свої голоси на користь багатьох інших характеристик. Дані останнього рядка таблиці застосовуються незалежно від того, яку величину мають всі інші характеристики, а сам голос визначається пропорційно кількості боєприпасів.

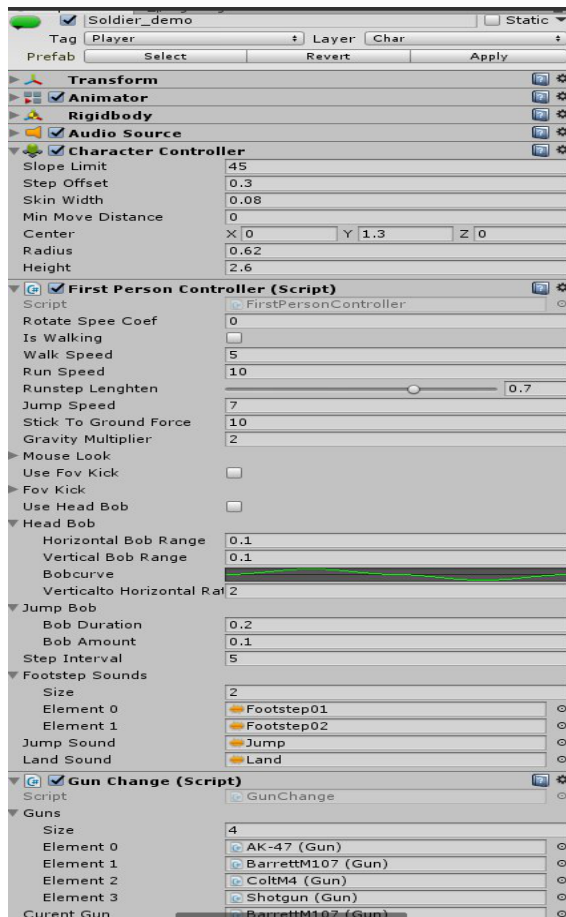


Рис. 3 – Інспектор у редакторі, що відображає налаштування бота

Після збору всіх значень голосів отримані данні множаться на значення кожної властивості зброї. Сума зважених значень властивостей являє собою кінцеву величину придатності зброї. Зброя з найбільшим зна-

ченням придатності вибирається як найкраща для налаштування бота (див. рис. 3).

На величину витрат часу при виборі зброї вручну повинні поширюватися деякі обмеження. Для цього застосовуються два описаних нижче обмеження.

- Зміна зброї не допускається, якщо попередня зміна відбулася лише за кілька секунд перед цим.

- Перехід до використання іншого виду зброї під час стрільби по противникам, у яких ще залишилися боєприпаси, не допускається; необхідно почекати до того моменту, коли противники сховаються або припинять вести вогонь.

Для успішного проведення етапу експериментування потрібно застосовувати велику кількість поправок. Повинна бути проведена коригування не тільки значень кількості голосів, але і вагових коефіцієнтів властивостей зброї. Налаштування обох цих значень можна проводити одночасно, оскільки немає необхідності в використанні вагових коефіцієнтів, якщо голоси виражаються числами з плаваючою точкою. Але якщо в розпорядженні розробника залишаються і ті і інші величини, то йому стає простіше домогтися правильного вихідного значення за допомогою невеликих послідовних коригувань.

Ми можемо розглядати дані про кількість голосів як цілочисельні і враховувати лише їх відносну значимість. В такому випадку з'явиться можливість налаштовувати значення вагових коефіцієнтів незалежно від властивостей зброї (див. рис. 4).

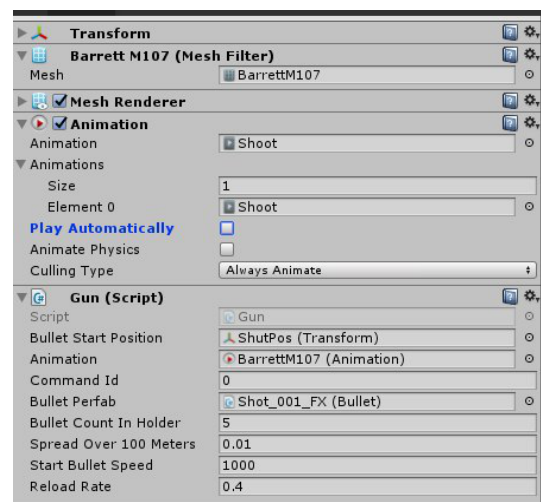


Рис. 4 – Інспектор у редакторі, що відображає налаштування зброї

На етапі експериментування необхідно організувати слідування за тим, як відбувається вибір зброї тим або іншим персонажем під час гри. Якщо отримане рішення є сумнівним, то проводиться аналіз процедури голосування для визначення того, у чому була допущена помилка. Зокрема, є можливість визначити, яка властивість зброї отримала занадто багато голосів, і виявити характеристики, які внесли найбільший вклад. Потім значення таких характеристик коригуються до тих пір, поки сумарна кількість голосів не починає входити в межі розумного. Після цього, як тільки стане ясно, що голоси, здебільшого, врівноважені, можна приступати до коректування вагових коефіцієнтів, що відносяться до кожної властивості зброї. Ці значення можна коригувати, виявляючи ті властивості, які внесли занадто великий вклад в остаточну оцінку при-

датності, і зменшуючи їх вагові коефіцієнти. Привабливою особливістю дерев рішень є те, що вони можуть знайти дуже широку сферу застосування. З іншого боку, велика кількість способів, що дозволяють забезпечити вибір зброї. Як і слід було очікувати, кількість можливих варіантів спільного застосування дерев рішень і таких способів ще більше. Проте, як показано на рис. 5. найбільш підходящими являються чотири варіанти, перераховані нижче.

1. Навчання вибору відповідної зброї.
2. Навчання оцінці придатності зброї.
3. Визначення за допомогою навчання властивостей зброї.
4. Навчання оцінці важливості властивостей.

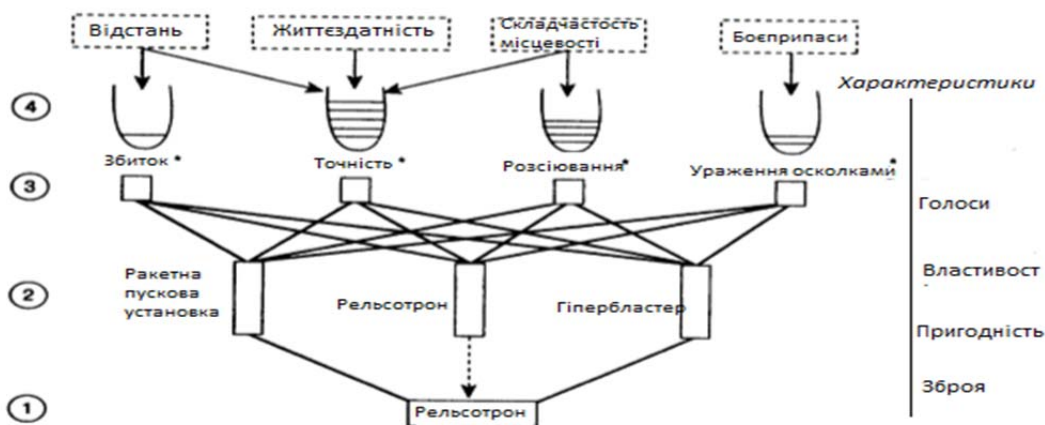


Рис. 5 – Концепції і процеси, пов'язані з прийняттям рішень по вибору зброї

Навчання вибору відповідної зброї полягає в тому, що дерево рішень застосовується для отримання інформації про зброю, найкращу в кожній ситуації. Такий підхід рівносильний формуванню відображення з множини характеристик середовища на тип зброї. З точки зору теорії, в цьому підході зосереджується все, що потрібно для вибору зброї. Але, на жаль, як описано нижче, використання єдиного компонента системи ШІ для рішення лише завдання визначення найкращої зброї призводить до виникнення на практиці багатьох проблем.

- Дерево рішень повертає тільки одну пропозицію на вибір зброї, тому не може застосовувати в тих умовах, коли необхідна зброя недоступна.

- Дерево рішень повертає єдиний варіант і не дозволяє зрозуміти хід процесу, в якому цей варіант був сформований.
- Засоби ШІ повинні мати в своєму розпорядженні якийсь спосіб самостійно визначати найкращу зброю для контролю над навчанням дерева рішень.

Очевидно, що для рішення вказаних проблем можуть бути запропоновані три різних способи, що дозволяють більшою чи меншою мірою знайти вихід з положення. По-перше, можна продублювати дерева рішень, щоб можна було використовувати різні дерева в залежності від того, які види зброї є в наявності, але для реалізації цього методу потрібно більше пам'яті, а процес навчання сповільнюється. По-друге, можна вказати наявні види зброї в якості додаткових вхідних

даних, але це призводить до комбінаторного вибуху обсягу простору задачі, тому спроба наближеного формування дерева рішень може викликати помилки. По-третє, можна зберігати результат вибору зброї, отриманий з допомогою дерева рішень, у вигляді списку видів зброї, ранжований по пріоритетам, але для цього потрібна адаптація дерева рішень, щоб його можна було використовувати в умовах наявності багатовимірних змінних відгуку [6].

Короткий висновок полягає в тому, що всі ці способи є застосовними, але не ідеальними. Більш прийнятний підхід може передбачати навчання оцінки придатності зброї в кожній ситуації, як описано в наступному пункті

Завдяки використанню такої методології завдання коригування всіх розглянутих значень стає трохи простіше. Крім того, розглянута система голосування має ту перевагу, що її можна відносно легко доповнити. Зокрема, в цю систему голосування можна легко ввести нові характеристики, причому ці характеристики, в основному, стають незалежними від інших існуючих характеристик. Отримана в результаті система відносно

непогано справляється із завданням вибору зброї. Безумовно, поведінка цієї системи далека від оптимальної, але її практично неможливо відрізнити від поведінки людей-гравців.

Недоліком даної системи голосування є те, що для її налаштування потрібне проведення етапу експериментування, описаного вище, оскільки результати підрахунку голосів не завжди стають відомими. У таких випадках неможливе застосування методів контрольованого навчання, виявляється також проблема, пов'язана з тим, що прийняті припущення не завжди є обґрунтованими; і дійсно, навички учасника гри рідко відповідають тим характеристикам зброї які були визначені на підставі точних статистичних даних. З цього випливає, що в своїй поведінці система голосування не підлаштовується до здібностей окремих гравців.

В наступних публікаціях буде наведено опис архітектури використання нейронної мережі FALCON, її алгоритму навчання та особливостей застосування та для прогнозування переміщення супротивника.

REFERENCES

1. Abu-Mostafa Y. S., Jaques J. N. St. Information capacity of the Hopfield model//IEEE Trans. Inform. Theory. 1985. V. 31. P.461.
2. Ackley D. H., Hinton G. E., Sejnowski T. J. A learning algorithm for Boltzmann machines//Cognit. Sci. 1985. V. 9. N 1. P. 147-169.
3. Amari S. Field theory of self-organizing neural networks//IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. 1983. V. 13. P. 741.
4. Takefuji D. Y. A new model of neural networks for error correction.//Proc. 9th Annu Conf. IEEE Eng. Med. and Biol. Soc., Boston, Mass., Nov. 13-16, 1987. V. 3, New York, N. Y., 1987 - p. 1709-1710.
5. Ténk D. U., Khopfyld D. D. Kollektivni obchysleniya v neyronopodobnykh elektronnykh skhemakh .// V sviti nauky. 1988 r. N 2. S. 44-53.
6. Rokach L. Data Mining with Decision Trees. Theory and Applications / L. Rokach, O. Maimon. – London : World Scientific Publishing Co, 2008. – 264 p
7. Dzheffri E. Hinton. Kak obuchayutsya neyronnyie seti.// V mire nauki - 1992 - N 11 - N 12 - c. 103-107.
8. Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. Neyrosetevoe modelirovanie: mnogoslonyiy perseptron [WWW document]. www.ievbran.ru/kiril/Library/Book1/content394/content394.htm
9. Metodyi obucheniya neyrosistem [WWW document]. http://zdo.vstu.edu.ru/umk/html/manual/L5_6.html Soldatova O.P., Semenov V.V. Primenenie neyronnyih setey dlya resheniya zadach prognozirovaniya// Elektronnyiy nauchnyiy zhurnal «issledovano v Rossii» http://zdo.vstu.edu.ru/umk/html/manual/L5_6.html
10. Osovskiy S. Neyronnyie seti dlya obrabotki informatsii / Per. s polsk. I.D. Rudinskogo. – M.: Finansyi i statistika, 2004. – 344 s.

*Рецензент: д.т.н., проф. Мусієнко М. П.
Чорноморський національний університет
імені Петра Могили*