

# Використання Методів Машинного Навчання для Ігрового Моделювання Розподілених Систем Управління

Віталій Горелов  
кафедра інформатики  
Прикарпатський національний університет  
Івано-Франківськ, Україна  
vitaliy.goryelov@pnu.edu.ua

Любомир Петришин  
кафедра управління  
Університет AGH  
Краків, Польща  
petryshynL@poczta.fm

## Use of Machine Learning Methods for Gaming-Based Modelling of Distributed Management Systems

Vitaliy Goryelov  
dept. of Computer Science  
Precarpathian National University  
Ivano-Frankivsk, Ukraine  
vitaliy.goryelov@pnu.edu.ua

Lubomyr Petryshyn  
dept. of Enterprise Management  
AGH University  
Krakow, Poland  
petryshynL@poczta.fm

**Анотація**—Розглянуто використання методів машинного навчання при моделюванні розподілених систем управління з використанням ігрового підходу у сучасному процесі навчання. ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» та науково-технологічний університет Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie – учасники консорціуму проекту GameHub. Показано діяльність університетів у проекті. Проілюстровано результати проекту, що підтримується Європейською Комісією за програмою Erasmus+.

**Abstract**—The use of machine learning methods for gaming-based modelling of distributed management systems in the modern education process was analysed. Vasyl Stefanyk Precarpathian National University and AGH University of Science and Technology are GameHub Consortium members. Project information and results of the project supported by the European Commission under the Erasmus+ programme are illustrated.

**Ключові слова**—машинне навчання; штучний інтелект; кластеризація; класифікація; гейміфікація навчання; GameHub

**Keywords**—machine learning; artificial intelligence; classification; clusterization; gamification in education; GameHub

---

Supported by the European Commission under the Erasmus+ programme

### I. ВСТУП

Система управління – це набір взаємопов’язаних засобів, що діють з метою реалізації певної цільової функції. Система управління включає керуючу підсистему (чи суб’єкт управління) та керовану підсистему (або об’єкт управління).

Об’єктами управління можуть бути як люди, так і технічні об’єкти.

Розподілена система управління характеризується децентралізацією засобів обробки даних і системи вводу-виведення.

Реалізація методів машинного навчання у системах управління дозволяє таким системам навчатися у процесі функціонування і бути здатними до прогнозування. Програма, котра реалізує відповідні алгоритми машинного навчання, забезпечує стійкість системи.

Зазвичай виділяють такі основні типи алгоритмів машинного навчання:

- навчання з учителем — алгоритм складається із цільової (залежної) змінної, котру потрібно передбачити на основі набору незалежних змінних (предикторів). При цьому алгоритм генерує функцію, котра відображає вхідні дані на очікувані вихідні. Одне із класичних застосувань таких алгоритмів — розв’язок задачі класифікації. При

цьому очікуваний результат — це функція, що здатна поділити вектор об'єктів на декілька класів об'єктів, спираючись на ряд прикладів такого поділу. Процес тренування продовжують до досягнення заданої точності. Прикладами навчання з учителем є регресія, логістична регресія, дерево ухвалення рішень, випадковий ліс, KNN тощо;

- навчання без учителя (кластеризація) — у цьому випадкові не існує цільова (залежна) змінна, котру потрібно передбачити. Вхідну множину об'єктів поділяють на ряд підмножин (кластерів), не маючи прикладів такого поділу (правил, класифікаційного дерева, функції поділу тощо). Приклад: кластеризація методом  $k$ -середніх;

- навчання з підкріпленням — при цьому алгоритм вивчає, які дії повинні виконувати програмні агенти для отримання максимального відгуку деякого середовища на вплив на нього. Машина навчається методом проб і помилок і використовує при цьому свій попередній досвід.

## II. ІГРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У МОДЕЛЮВАННІ

Математичне моделювання є важливим інструментом у вивченні процесів та систем. Одним із варіантів способу перенесення результатів моделювання у практичну площину є гейміфікація. За допомогою гейміфікації процесу навчання можливе всебічне вивчення складних об'єктів у цікавій для тих, кого навчають, формі. При цьому внесення у навчальний процес елементів гри дозволяє втримати фокус на меті навчання і зберегти мотивацію учасників процесу.

Отже, знання та навички, потрібні у професійній діяльності, формують у процесі гри за рахунок створення елементів розваги, що формують систему засобів зацікавлення, мотивування і впливу на групу осіб, що навчаються.

Процес розваги спрямований на отримання практичного результату, певною мірою «побічного» для того, хто бере участь у грі, оскільки акцент під час гри роблять на проходженні рівня, отриманні бонусів, віртуальних елементів тощо.

Засоби штучного інтелекту стали важливою частиною моделювання ігрового середовища, починаючи ще з Pac-Man та Pong (цікаво, що тільки у 2017 р. штучний інтелект компанії Microsoft зміг пройти всі рівні гри Pac-Man).

Розглянемо приклад ігрового підходу до вивчення деякого процесу шляхом моделювання його за допомогою регресійного аналізу. У 1972 р. фірмою Atari була випущена Pong – відеогра для аркадних автоматів. Pong стала успішним комерційним проектом серед подібних і однією з таких, що започаткували індустрію відеоігор. Pong – це простий симулятор настільного тенісу. Поле гри складається із прямокутника, що позначає стіл, та квадратики – м'ячика, що лінійно переміщається та змінює траєкторію, вдаряючись об одну з двох ракеток та межі поля гри. Кут відбивання при цьому відповідає куту падіння.

Процес гри полягає у пересуванні гравцями у вертикальному напрямі ракеток з метою відбивання м'ячика.

Засіб мотивування гравців до продовження гри – збирання очок, котрі нараховуються у випадкові, якщо партнер по грі не встигає відбити м'ячика.

У Pong грають або удвох, або проти комп'ютерного партнера.

Цікавим є варіант гри з комп'ютером. Такий варіант є безпрограшним для комп'ютера. Щодо людини – вона також може продовжувати гру доти, доки матиме бажання та буде сконцентрованою на процесові гри.

Оскільки переміщення м'ячика – лінійне, то завжди можна передбачити, куди він потрапить після відбиття. Траєкторію руху легко встановити за допомогою регресійного аналізу.

Регресію використовують для оцінки дійсних значень на основі неперервних величин. Таким чином, встановлюють зв'язок між залежною та незалежною величинами у вигляді аналітичної залежності, що оптимально описує такий зв'язок.

Регресійний аналіз – основа предиктивного аналізу. Основні застосування регресійного аналізу: визначення сили предикторів, прогнозування ефекту та прогнозування тенденції.

Основна ідея регресійного аналізу – встановлення факту реального впливу набору незалежних змінних на залежну та визначення впливових предикторів і того, як саме вони впливають на неї. Найпростіший вигляд регресійного рівняння:

$$y = a_0 + a_1x; \quad (1)$$

де  $a_0$  – постійна складова,  $a_1$  – коефіцієнт регресії,  $x$  – незалежна змінна,  $y$  – залежна змінна (рис. 1).

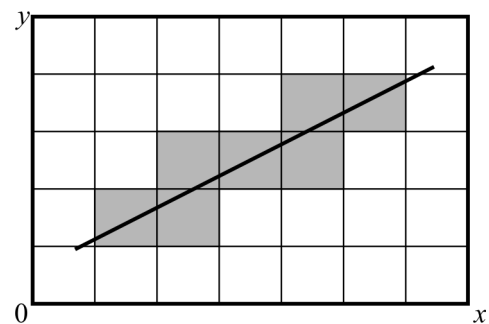


Рис. 1. Регресійна пряма – траєкторія руху тенісного м'ячика.

У даному випадкові необхідно передбачити координату падіння м'ячика. Це може бути або межа стола (одну з них захищає ракетка), або ракетка.

Завдання легко вирішити. Аналіз деякої кількості послідовних кадрів відеогра формує послідовності вхідних даних (фактично, координати  $x_i$  та  $y_i$  траєкторії

переміщення м'ячика). Побудувавши рівняння регресії та встановивши значення його коефіцієнтів, легко визначити місце зіткнення м'ячика з межею столу чи ракеткою і перемістити ракетку у потрібну позицію (рис. 2).

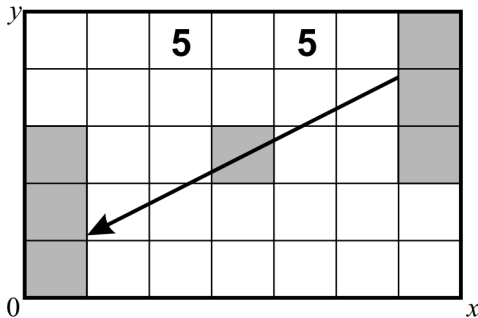


Рис. 2. Ігрові елементи гри Pong.

Таку гру можна ускладнити, ввівши для гравця поняття вартості переміщення ракетки. При цьому оптимальним вирішенням буде мінімізація переміщення ракетки на кожному кроці гри.

### III. МЕТОДИ МАШИНОГО НАВЧАННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Розглянемо кілька методів машинного навчання з метою аналізу можливості впровадження їх у комп'ютерних іграх, спрямованих на гейміфікацію освітніх задач.

Існує ряд типів лінійної регресії: проста лінійна регресія (1 незалежна та 1 залежна змінні); багатовимірна лінійна регресія (2+ незалежних змінних, 1 залежна змінна); логістична регресія (2+ незалежних змінних, 1 залежна); ординальна регресія (1 незалежна, 1 залежна змінні); мультиноміальна регресія (1 незалежна, 1 залежна змінні).

Логістичну регресію використовують при побудові регресійної моделі у випадковій категорійній незалежній змінній. Наприклад, бінарної, котра може набувати станів «0» та «1» («увімкнуто/вимкнуто», «виграш/програш» тощо).

Логістичну регресію використовують у машинному навчанні, медицині, суспільних науках.

Термін «логістична регресія» пов'язаний із функцією, що лежить в основі – логістичною функцією.

Логістичну функцію (її часто називають сигмоїдою) розроблено для опису властивостей росту популяції у екології. Популяція зростає швидко і досягає максимуму у відповідності із можливостями середовища забезпечувати її. Крива має S-подібну форму, що може приймати довільні дійсні значення і відображати їх на діапазон між 0 та 1 (при цьому межі ніколи не можуть бути досягнуті):

$$p_i = \frac{e^{(a_0+a_1x_i)}}{1+e^{(a_0+a_1x_i)}}; \quad (2)$$

де  $e$ —основа натурального логарифма;  $x_i$ —незалежна змінна;  $p_i$ —залежна змінна, математичне сподівання події  $Y_i$ .

Оскільки шукані коефіцієнти знаходяться у ступені експоненти, вираз слід лінеаризувати таким чином, щоб  $p_i$  залежало від  $x_i$  лінійно.

Ключова відмінність логістичної регресії у порівнянні зі звичайною регресією – моделювання бінарної залежної змінної.

Логістична регресія може бути складовою алгоритму при моделюванні деякої системи у вигляді комп'ютерної гри. Наприклад, визначення статусу гравця («свій-чужий») тощо.

Широкого поширення для бінарної класифікації набула ROC-крива (receiveroperatingcharacteristic, робоча характеристика приймача), котра відображає залежність кількості вірно класифікованих об'єктів від кількості невірно класифікованих об'єктів. Такі результати класифікації називають хибнопозитивними та хибнонегативними (таб. 1).

ТАБЛИЦЯ І. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗА ROC-КРИВОЮ

Класифікація за моделлю	Дійсна класифікація	
	Так	Ні
Так	TP	FP
Ні	FN	TN

У табл. 1:  $TP$  – truepositive –вірно класифіковані як позитивні об'єкти;  $TN$  – truenegative – вірно класифіковані як негативні об'єкти;  $FP$  – falsepositive – об'єкти, хибно класифіковані як позитивні (помилка 1 роду) та  $FN$  – falsenegative– об'єкти, хибно класифіковані як негативні (помилка 2 роду).

Позитивний випадок – підтвердження нульової гіпотези.

Розбиття об'єктів на класи здійснюють за допомогою cut-offпараметра. Класифікацію за допомогою ROC-кривої характеризують наступні показники: чутливість (частка позитивно класифікованих об'єктів)

$$TPR = TP / P = \frac{TP}{TP + FN}; \quad (3)$$

специфічність (або частка негативно класифікованих об'єктів)

$$SPC = TN / N = \frac{TN}{TN + FP}. \quad (4)$$

ROC-криву будують як залежність  $TPR$  від  $FNR$ .

Дерево прийняття рішень–засіб, котрий часто використовують у дослідження операцій з метою визначення оптимального алгоритму для досягнення мети. Разом з тим, його часто використовують у машинному навчанні. Дерево прийняття рішень складається із 3 типів

вузлів: вузлів вибору (зазвичай представляють квадратами), ймовірнісних вузлів (представляють колами) та замикаючих вузлів (графічне представлення – трикутники).

Дерево прийняття рішень може бути лінеаризоване:

$if(\text{умова } 1) \&\& (\text{умова } 2)\&\& \dots (\text{умова } N) \{ \dots \}.$

Дерева прийняття рішень легкі для розуміння, проте – нестійкі часом вимагають громіздких обчислень. Імплементація та візуалізація дерев прийняття рішень у комп'ютерних іграх не вимагають особливих зусиль і можуть бути ефективно використані при вирішенні задач моделювання.

Існує ряд інших методів, котрі можуть бути з успіхом використані при моделюванні розподілених систем управління у вигляді комп'ютерних ігор. Наприклад, ієрархічна кластеризація, кластеризація за методом k-середніх тощо.

#### IV. РЕАЛІЗАЦІЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЕКТУ

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» та науково-технологічний університет Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie залучені до реалізації міжнародного грантового проекту Erasmus+ KA2 CBHE №561728-EPP-1-2015-1-ES-EPPKA2-CBHE-JP «Співробітництво між університетами та підприємствами в сфері ігрової індустрії в Україні — GameHub» [1-4].

Цільова аудиторія: викладачі університету; студенти; ветерани АТО; безробітні; працівники центрів зайнятості; представники IT-компаній. Станом на квітень 2018 р. проектом у межах Прикарпатського університету охоплено більше 70 студентів та понад 30 осіб згаданих вище категорій.

Академічними групами університетів розроблено комплекси навчального та методичного забезпечення дисциплін, що викладаються у межах проекту, та проведено ряд тренінгів. Технічні завдання проекту у Прикарпатському університеті імені Василя Стефаника виконують на базі кафедри інформатики. За фінансової підтримки програми Еразмус+ Європейського Союзу при кафедрі створено та обладнано сучасну лабораторію з розробки ігрового програмного забезпечення GameLab. Лабораторія укомплектована PC/Мас-комп'ютерною технікою для вирішення задач програмування ігрових додатків та створення їх музичного супроводу.

Фахівцями кафедри розроблено та викладаються спеціалізовані курси для студентів напрямку підготовки "Інформатика" ("Комп'ютерні науки"): 3 курс (бак.) — дисципліни "Розробка комп'ютерних ігор" та "Технології розробки комп'ютерних ігор", 1 курс (маг.) — дисципліна "Створення звукового та музичного супроводу для комп'ютерних ігор". Виконавці проекту взяли участь у ряді тренінгів в Україні та за її межами, а також організували для студентського та викладацького складів університету наступні тренінги "Особливості використання фреймворку

SpriteKit для програмування ігор під iOS" (квітень 2017), "Розробка ігрових додатків з використанням фреймворка Cocos2d-x" (травень 2017 р.). Студенти-інформатики виступили з доповідями у контексті завдань проекту на засіданнях Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління" (CSYSC-2017, Івано-Франківськ, квітень 2017 р.), міжнародної студентської науково-технічної конференції Konferencja Studenckich Kół Naukowych (Краків, травень 2017 р.).

Також виконання проекту обговорювалося на засіданнях Міжнародної науково-технічної конференції "Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання", співorganizаторами якої стали Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Вінницький національний технічний університет та Центр математичного моделювання ІППММ ім. Я. С. Підстригача НАН України.

#### ВИСНОВКИ

Університети-члени консорціуму GameHub перебувають на завершальній стадії проекту.

За час навчання слухачами курсів та студентами ВНЗ отримано теоретичні знання та практичні навички, необхідні для розробки ігрового програмного забезпечення як індивідуально, так і у складі команди розробників. Проведені заходи для учнівської молоді та шкільних вчителів сприяють поглибленню зв'язків між університетом та школою та слугують елементом профорієнтаційної роботи.

Вивчення матеріалу, пов'язаного із розробкою ігор, заохочує до освоєння міждисциплінарних курсів, а також поглибленому вивченню курсів з аналізу даних, машинного навчання, впровадженню у студентські розробки елементів штучного інтелекту тощо.

Участь у тренінгах ветеранів АТО певною мірою слугує їхній психологічній реабілітації.

Зв'язки із провідними IT-компаніями дозволяють виконувати поставлені освітні задачі на сучасному рівні.

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Горелов В. О. Гейміфікація навчання / Горелов В. О., SalaDariusz. // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 23-28 травня 2017 р. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2017. – С.136-139.
- [2] Співробітництво між університетами та підприємствами в сфері ігрової індустрії в Україні — GameHub [Online]. Available: <http://gamehub-cbhe.eu/ua/>
- [3] Команда AGH University of Science and Technology [Online]. Available: <http://gamehub-cbhe.eu/ua/project-consortium/agh-team/>
- [4] Команда ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» [Online]. Available: <http://gamehub-cbhe.eu/ua/project-consortium/vasyl-stefanyk-precarpathian-national-university-team/>