

# АДАПТАЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ «ШТУЧНОГО ЖИТТЯ» ДО МОДЕЛЮВАННЯ ШТУЧНИХ СИСТЕМ

**Б.В. Мисник**

Черкаський державний технологічний університет

Основною проблемою „штучного життя” (ШЖ) є створення обчислювальних систем і моделей, що діють на базі біологічних і еволюційних принципів. „Штучне життя” – це не що інше, як спроба вивчити саме життя, живі системи, їх еволюцію за допомогою програм створених людиною. Науковий інтерес становить практичне використання ідей і методів ШЖ в медицині, робототехніці, для дослідження соціальних та економічних систем тощо. Зокрема інтерес виникає при дослідженні моделі функціонування виробничих підприємств в умовах конкуренції та заздалегідь заданих параметрах навколишнього середовища.

Для моделювання роботи підприємств та виботу моделі програмування дослідимо основні існуючі рішення таких авторів: Ларрі Ягер, Еклі і Літман, а також М.С. Бурцев, Р.В. Гусарєв та В.Г. Редько.

Спочатку розглянемо одну з перших моделей ШЖ, в якій здійснено програмне моделювання досить простих процесів організмів – це Полісвіт Ларрі Ягера.

Модель можна зобразити як великий стіл, що обмежений стінками по краям. На цьому столі живуть штучні організми. Вони рухаються, поглинають їжу, схрещуються, даючи нащадків. Також організми можуть вступати в боротьбу з іншими, при цьому переможений перетворюється на їжу. Ягер привласнив організмам цікаву особливість – всі вони володіють кольором і різнокольоровим зором. Наприклад, якщо організм вступає в боротьбу, то він червоніє, а якщо відчуває бажання схреститися – синіє.

Всі ці властивості дозволяють популяції даних організмів еволюціонувати, що допомагає нам, власне, відчути, побачити і проаналізувати подібні еволюційні процеси. Фактично модель Ягера показала:

- складний кольоровий зір цілком міг сформуватися в процесі еволюції;
- можливе еволюційне формування трьох стратегій: «тупа корова», «ледачий канібал» і «життя на краю світу».

«Тупа корова» – умовна назва стратегії, в якій організм рухається прямолінійно з максимальною швидкістю, поїдає всю їжу на своєму шляху, і схрещується зі всіма, кого зустріне.

«Ледачий канібал» – друга стратегія, при якій організм крутиться на місці, схрещуючись або вступаючи в боротьбу з кожним, хто наблизиться (поїдаючи суперника у разі перемоги або гинучи у разі поразки).

Життя «на краю світу» – стратегія з'являлася тільки в деяких експериментах, організми циркулювали за або проти годинникової стрілки уздовж бар'єрів, що обмежують стіл, і це приводило до певних переваг, оскільки тут організми частіше, ніж зазвичай знаходили особини, з якими можна схреститися або поборотися.

Підводячи невеликий підсумок, можна сказати, що Ларрі Ягер, за допомогою свого Полімера, реалізував не що інше, як природний відбір штучних організмів і нічого більшого. Саме це мається на увазі під словом «Еволюція» в Полісвіті. Еклі і Літман намагались трохи розширити цей термін. Їх робота – це модель взаємодії навчання і еволюції.

В моделі пропонується, щоб агенти жили в двовимірному світі, розбитому на клітки. У клітинках можуть розташовуватися самі агенти, дерева, хижаки, трава і камені. Відповідно агенти – це головна «одиниця» світу, а все інше різноманітним чином впливає на них.

Хижаки б'ють агентів, причому сильніше, ніж агенти хижаків. Засобом для захисту від хижаків служить дерево, на яке може забратися агент, якщо там немає іншого агента. Але і знаходитися постійно на дереві небезпечно, оскільки дерева з часом гинуть, вбиваючи агента, що сидить на нім.

Поведінка агентів управляється їх нейронною мережею. Входами нейронної мережі є: видима картина світу і внутрішній стан агентів (кількість енергії і здоров'я). Агенти бачать світ навколо себе на відстані до 4 клітинок в 4-х напрямках (північ, південь, схід, захід). Поведінка агентів визначається виходами їх нейронної мережі. Світ розвивається в дискретному часі  $t$ . Кожен такт часу нейронна мережа визначає вибір дій агента. Вибір дій дуже простий: вибрати один з 4-х напрямів руху. Після вибору дії "локальна доля" агента в наступний такт часу буде однозначно визначена – вона залежить тільки від того, що є в цільовій клітинці (клітинці за напрямком руху).

Наприклад, агент може просто переміститися в цільову клітинку (якщо ця клітинка порожня), з'їсти в клітинці траву (якщо вона там є), залізти на дерево (якщо в цільовій клітинці є дерево, і на нім немає агента), ударитися об камінь, бути удареним іншим агентом або хижаким тощо.

Результати роботи Еклі і Літмана були вельми і вельми цікаві. Вони запускали модель по черзі: спочатку модель тільки з навчанням, потім модель тільки з еволюцією і нарешті модель повну -- і з навчанням, і з еволюцією. Стало зрозуміло, що при взаємодії навчання і еволюції агенти не вимирали впродовж мільйона тактів життя (а один раз число тактів досягло  $9 \cdot 10^6$ ), тоді як при одиночних моделях агенти вмирили в 5-7 разів швидше!

Найбільш вдало виконати моделювання життєдіяльності складних штучних систем із урахуванням, крім звичайних еволюційних процесів, ще й фактора мотивації вдалося М.С. Бурцеву, Р.В. Гусареву та В.Г. Редьку в моделі під назвою «Кузнечик».

Ні для кого не секрет, що для всього тваринного світу, у тому числі і для людини, властива цілеспрямованість поведінки, тобто прагнення досягти певної мети. Для тварин – це найчастіше виживання і розмноження. У своїй роботі Бурцев, Гусарев і Редько намагаються за допомогою комп'ютерної моделі відповісти на питання: «Як в принципі цілеспрямована поведінка могла виникнути в процесі еволюції життя на нашій планеті?».

У даному проекті авторами використовується таке поняття, як мотивація. Адже мотивація будь-якої живої істоти, що потрапляє в ту або іншу ситуацію, стимулює «правильне» ухвалення рішення. Використовуючи мотивацію, в

моделі досліджується можливий механізм виникнення цілеспрямованої поведінки в процесі еволюції.

Основні припущення моделі полягають в наступному:

- Є популяція агентів (штучних організмів), що мають дві природні потреби: 1) потреба енергії і 2) потреба розмноження.

- Популяція еволюціонує в простому клітинному середовищі, в клітинках може епізодично зростати трава (їжа агентів). Кожен агент має внутрішній енергетичний ресурс, який поповнюється при з'їданні трави і зменшується при виконанні яких-небудь дій. Зменшення ресурсу до нуля приводить до смерті агента. Агенти можуть схрещуватися, народжуючи нових агентів.

- Кожна потреба характеризується кількісно мотивацією. Наприклад, якщо енергетичний ресурс агента малий, то з'являється мотивація знайти їжу і поповнити енергетичний ресурс.

- Поведінка агента управляється його нейронною мережею, яка має спеціальні входи від мотивацій. Якщо є певна мотивація, то поведінка агента змінюється з тим, щоб задовольнити відповідну потребу. Таку поведінку називатимемо цілеспрямованою (є мета задовольнити певну потребу)

Всі дії в моделі розгортаються в одновимірному клітинному середовищі. Час дискретний – тобто в кожен такт часу виконується одна дія. У клітинках, з певною вірогідністю, зростає трава. Є популяція агентів, в яких є потреба в енергії, за рахунок живлення і потреба в розмноженні. Енергія агента витрачається при виконанні наступних дій, причому на виконання різних дій витрачається різна кількість енергії:

- бути в стані спокою (відпочивати) – найменша кількість енергії;
- їсти (поповнювати свій енергетичний ресурс) – в два рази більше енергії;
- рухатися, тобто переміщатися на одну клітинку вправо або вліво – ще в два рази більше витрат енергії, чим на живлення;
- стрибати через декілька клітинок у випадкову сторону – в 5 разів більше витрат чим при русі;
- схрещуватися – так само, в 5 разів більше витрат енергії чим при русі.

Кожна потреба агента характеризується кількісно мотивацією. Наприклад, якщо агент бачить поряд іншого агента і його енергетичний ресурс достатній для розмноження, він помічає себе кольором, як готовий до розмноження, якщо другий агент робить те ж саме – відбувається схрещення. В результаті з'являється новий агент, який бере частину енергетичного ресурсу від батьків. Кожен агент має свою нейронну мережу, яка має спеціальні входи від мотивацій.

Нейронна мережа агента містить один шар нейронів (Рис. 1). На входи нейронної мережі поступають сигнали від сенсорних входів. Входи і нейрони пов'язані за принципом "все зі всіма", тобто кожен нейрон отримує сигнали від всіх входів. Нейрони формують вихідні сигнали, які визначають дії агента.

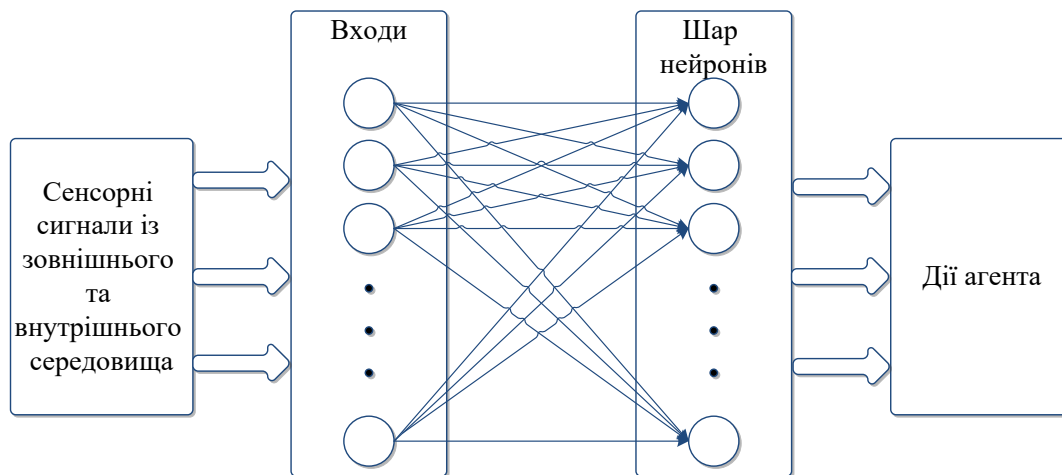


Рис. 1. Структура нейронної мережі.

Розглянемо вхідні сигнали нейронної мережі.

Припускаємо, що агент отримує із зовнішнього середовища наступну інформацію:

Наявність трави у всіх осередках поля зору (Рис. 2)

Чи є агент в осередку зліва

Чи є агент в осередку справа

Інтенсивність синього кольору (що характеризує мотивацію до схрещування) сусідніх агентів в осередку зліва і справа.

Крім того, з внутрішнього середовища агент отримує інформацію про його мотивації MR і ME .

Таким чином, ми маємо  $3+1+1+2+2 = 9$  вхідних сигналів нейронної мережі.

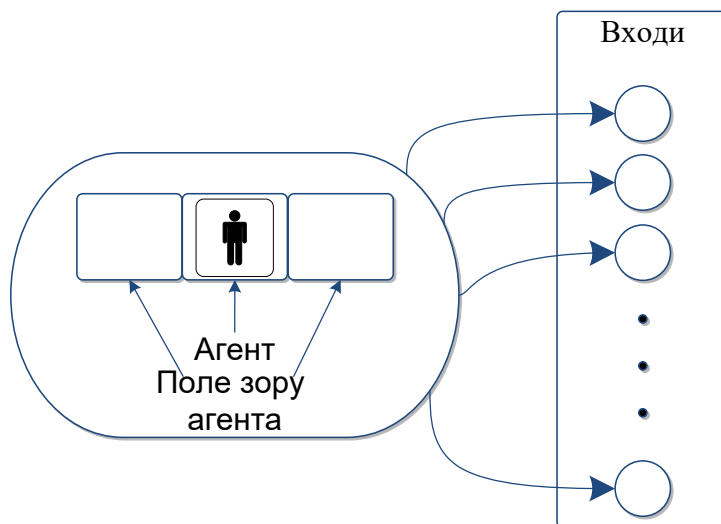


Рис. 2. Схема сприйняття в клітинному середовищі. Поле зору агента складається з трьох кліток.

Шар нейронів визначає дії агента. Кожен нейрон відповідає одній дії. Вважатимемо, що агент в даний такт часу виконує ту дію, яка відповідає максимальному вихідному сигналу нейрона. Перерахуємо дії агента:

- відпочинок (знаходження в стані спокою);

- рух в сусідній осередок вліво або управо;
- стрибок (через декілька осередків);
- живлення;
- схрещування з одним 2-х можливих сусідів.

Беручи до уваги, що дії 2,5 мають два варіанти, бачимо, що є  $1+2+1+1+2 = 7$  різних дій агента. Відповідно, нейронна мережа агента містить 7 нейронів.

Входи і нейрони мають повні міжшарові синаптичні зв'язки (Рис. 1), таким чином, є  $7 \times 9 = 63$  вага.

За рахунок нейронної мережі управляється поведінка агента і так само відбувається еволюція агентів – геном (набір вагів нейронної мережі) нащадка формується, в результаті схрещування, на основі генома батьків за допомогою рекомбінації і мутації. При зменшенні ресурсу до нуля – агент вмирає. Для аналізу було змодельовано два варіанти: агенти з мотивацією і агенти без мотивацій. Так само були заданні різні параметри  $P$  – вірогідність випадкової появи трави в кожен такт часу. Кінцеві результати показали, що популяція агентів, що мають мотивації набагато краще пристосовується до навколишнього середовища, причому при середній кількості їжі ( $P=1/200$ ) популяція агентів з мотивацією «знаходить» достатньо ефективну стратегію виживання, а популяція без мотивацій вмирає повністю.

Результати логічні і вельми зрозумілі, адже для агента без мотивації, тільки і залишається, що побачивши їжі з'їсти її, побачивши сусіда – схреститися з ним, а за відсутності всього, стояти і нічого не робити (відпочивати), що і приводить агентів до неминучої загибелі, при малій або середній кількості їжі. Коли ж у агента з'являється мотивація, в процесі еволюції агент починає діяти приблизно за такою схемою: мало ресурсу – шукати їжу або відпочивати, багато ресурсу – виконувати будь-які дії. За рахунок даної схеми популяція виживає набагато ефективніше, ніж при нагоді без мотивацій.

Модель «Кузнечик» поєднує в собі і всі попередні властивості моделей (взаємодія, навчання та еволюція) і мотивацію, що дозволяє найбільш точно та адекватно імітувати діяльність складних еволюційних систем. Для виробничих підприємств це дає можливість експериментально визначити ефективність їх діяльності в умовах конкуренції та заздалегідь заданих параметрах навколишнього середовища.

### Список використаних джерел

1. Yaeger L. Computational genetics, physiology, metabolism, neural systems, learning, vision, and behavior or Polyworld: Life in a new context. In Langton C.G. (ed). Artificial Life III. – Addison-Wesley, 1994. – P. 263-298.
2. Ackley D. Littman M. (1992). Interactions between learning and evolution. // Langton, C. G., Taylor, C., Farmer, J. D., and Rasmussen, S. (Eds.) Artificial Life II. Reading. – MA: Addison-Wesley, 1992. – P. 487-509.
3. Бурцев М.С., Гусарев Р.В., Редько В.Г. Нейросетевая модель эволюционного возникновения целенаправленного адаптивного поведения // Сб. научн. трудов III Всеросс. конф. «Нейроинформатика-2001», часть 1. – М.: МИФИ. – 2001. – С. 153-160.