

УДК 681.515.8

Н.В. Здолбіцька, А.В. Савлук

Луцький національний технічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АНІМАТІВ НА БАЗІ РОБОТИЗОВАНИХ ПЛАТФОРМ

*Наведено відомості про аніматів та їх роль в сучасній науці та дослідженнях. Здійснено практичну реалізацію навчальних алгоритмів адаптованої поведінки анімата на основі Pololu 3Pi на дискретній сітці з перешкодами.*

**Ключові слова:** мікроконтролер, роботизована платформа, анімат, алгоритм, адаптована поведінка.

### Постановка проблеми

Одна з тенденцій розвитку сучасних "високих технологій" – це створення автономних агентів для вирішення практичних завдань. Такими агентами можуть бути роботи для збору геологічних зразків на поверхні планет або віртуальні роботи для пошуку інформації в Інтернеті. Існують різні підходи до вирішення подібних завдань. Один з них передбачає, що поведінка агентів повинна слідувати принципам, на яких ґрунтується поведінка живих організмів. Такі агенти отримали назву анімати.

Існує велика кількість напрямів, що перетинаються з біонікою, математичним моделюванням поведінки тварин і штучним інтелектом. Однак, незважаючи на це різноманіття, можна виділити те головне, що робить створення аніматів новим і самостійним підходом:

- від біонічних розробок анімати відрізняються тим, що в них повинні бути втілені не окремі "патенти природи", а фундаментальні принципи, що визначають поведінку живих організмів, – ті принципи, в силу яких ця поведінка відрізняється від поведінки машин;
- навіть віртуальний анімат відрізняється від "звичайних" математичних моделей поведінки тварин;
- від традиційних розробок у галузі штучного інтелекту анімати відрізняються не тільки орієнтацією на принципи поведінки тварин.

Ці особливості аніматів відкривають нові можливості для біології. Можна сподіватися, що експерименти з аніматами дозволять:

- піддати перевірці існуючі уявлення про фундаментальні механізми поведінки тварин;
- формулювати нові уявлення, які в подальшому можуть бути перевірені в експериментах з реальними організмами.

### Принципи адаптованої поведінки

Найбільший інтерес в даній області представляють дослідження, що дозволяють формулювати фундаментальні принципи адаптивної поведінки, застосовні до різних його формах.

**Метою роботи** є обґрунтування головних тенденцій побудови аніматів, для створення власного аналогу автономного, адаптивного агента-анімата.

### Принципи адаптованої поведінки

Зовні складна адаптивна поведінка не обов'язково здійснюється складним механізмом. Вона може породжуватися в результаті взаємодії елементарних правил поведінки між собою і з зовнішнім середовищем, безпосередньо в ході самої поведінки. Архітектура агента повинна складатися з ієрархії модулів, відповідних перерахованим етапам. Однак даний метод при вирішенні практичних завдань у природному середовищі її властивості не завжди відомі агенту, час, необхідний для збору інформації, виявляється неприпустимо великим, а здатність агента будувати модель середовища – вкрай обмеженою.

Альтернативний підхід був знайдений в імітуванні тих способів прийняття рішень, які імовірно використовуються тваринами в їх природному середовищі. Було виявлено, що керуючий поведінкою агента механізм повинен складатися з окремих модулів, кожен з яких незалежно управляє окремою формою поведінки без будь-якого моделювання середовища або планування дій: дії запускаються у відповідь на зовнішні сигнали або навіть просто спонтанно. Ці елементарні дії можуть являти собою не напрямлене блукання, рух до мети, поворот у бік від перешкоди, схоплення якого об'єкта і т.д. Результуюча адаптивна поведінка створюється в цьому випадку

конкуренцією модулів, які можуть пригнічувати активність один одного. Наприклад, поки агент не сприймає якихось специфічних сигналів, він може блукати по місцевості, щоб виявити задану ціль. Коли мета виявлена, стає активним модуль руху до мети, який пригнічує активність модуля не направлено руху. Якщо на шляху до мети виявлена перешкода, то активним стає модуль, що задає поворот і рух в бік, причому цей модуль деактивує всі інші модулі. Коли агент виявляється в стороні від перешкоди, знову активується модуль руху до мети.

Незважаючи на крайню простоту такого роду схем, вони дали добрі результати при створенні роботів, здатних до адаптивної поведінки, тобто здатних виконувати осмислені завдання. Так, експерименти з роботами на природній пересіченій місцевості показали, що такий механізм дійсно здатний забезпечити досягнення мети, незважаючи на те, що агент не планує свої дії, не будує її репрезентацію і не володіє заздалегідь "закладеними" в нього знаннями про властивості зовнішнього середовища.

### **Самоорганізуючі системи**

Вивчення живих систем показує, що існує ще один вид поведінки. Цей вид поведінки характеризується наявністю внутрішньої стійкості системи по відношенню змін зовнішнього середовища. Прикладами можуть служити різні регулюючі системи в живому організмі. Такою системою, наприклад, є система регуляції температури. Відомо, що ряд теплокровних зберігає температуру в дуже вузьких межах при значних змінах температури зовнішнього середовища. Регуляція в такій системі здійснюється за рахунок зміни зв'язків всередині системи. Поведінка такого роду, що зберігає цілісність системи по відношенню до навколишнього середовища, називають мікроповедінкою. Властивість ж живих організмів зберігати певні характеристики при значній зміні зовнішніх умов носить назву – гомеостазу. По суті, гомеостаз є одним з окремих випадків мікроповедінки.

Незважаючи на велику неподібність згаданих вище систем регуляція, загальним для всіх цих систем є підтримка сталого стану регульованої величини при великому числі різноманітних зовнішніх джерел збурювань. Іншою загальною рисою для всіх цих систем є наявність місцевих, локальних, змін, що забезпечують пристосування до мінливих умов при збереженні цілісності всієї системи. І, нарешті, третьою особливістю, притаманною майже всім таким (гомеостатичним) системам, є наявність багатьох регульованих величин, значення яких одночасно повинні підтримуватися в певних межах. Це означає, що подібні системи зазвичай являють собою ансамбль взаємопов'язаних систем. Системи цього роду називаються – самоорганізуючі.

### **Проблеми, пов'язані з розробкою аніматів**

Завдання, які в даний час здатні вирішувати анімативі, досить прості. Рух до заданої мети з обходом перешкод на місцевості, а також збір "їжі" з транспортуванням в "гніздо" в лабораторних умовах являють собою типові приклади. Як вже було оговорено на початку, штучний агент повинен бути автономним, тобто здатним самостійно вирішувати завдання в деякому середовищі. Існує два основних підходи до досягнення цієї мети.

В принципі, задачу можна вирішувати таким чином. Можна створити програму поведінки агента, що представляє собою список правил поведінки, що враховує всі можливі ситуації, в яких може опинитися агент. Кожне правило може наказувати конкретну послідовність дій у відповідь на конкретну послідовність сигналів. Правила можуть бути задані або програмними засобами, або у вигляді самостійних фізичних модулів, кожен з яких діє у відповідності з окремим правилом. На практиці такий спосіб широко використовується. Однак у цього підходу є очевидні недоліки. По-перше, модельєр повинен заздалегідь передбачати ситуації, з якими зіткнеться анімат в середовищі, в якому йому доведеться діяти. По-друге, чим складніше середовище, тим більше розростається список правил і тут може виникнути нова проблема: чи не буде одна і та ж ситуація викликати непередбачене одночасне виконання різних правил і конфлікт між ними. Нарешті, якщо анімат повинен керуватися інтелектуальними правилами поведінки і змінювати їх відповідно до ситуації, то модельєр повинен задати додаткові правила для зміни правил.

Найбільш суворо вимога до справді автономного агента полягає в тому, що він повинен не тільки дотримуватися заздалегідь заданими правилами, але і породжувати нові правила самостійно. Один з можливих способів створення анімата, відповідального цій вимозі, полягає в наступному. Нервова система тварини може розглядатися як нелінійна динамічна система, в поведінці якої відбивається не тільки поточний сигнал, але і внутрішній стан системи, який, в свою чергу, залежить від послідовності попередніх сигналів. Відомо, що динамічна система, що складається з одних і тих же взаємодіючих модулів, може породжувати різні послідовності дій

© Здолбіцька Н.В., Савлук А.В.

залежно від історії зовнішніх впливів на систему. Деякі дослідники припускають, що це дає можливість створити агента, здатного до різноманітних адаптивних послідовностей дій без заздалегідь заданого списку правил.

По суті, осцилятор, керуючий роботом, слугує прикладом такого підходу. До теперішнього часу найбільші досягнення в цьому напрямку були пов'язані із створенням нейронних мереж для імітації різної ходи у тварин.

У зв'язку з динамічним підходом виникають очевидні запитання. Як створити динамічну систему, що породжує кількість правил, порівняну з різноманітністю поведінки тварин, щоб забезпечити вирішення реальних завдань? Чи не буде складність такої системи зростати швидше, ніж складність необхідної адаптивної поведінки? Одне із запропонованих рішень полягає в тому, що окремі компоненти системи, що відповідають за окремі форми поведінки, створюються послідовно. У роботі за допомогою генетичного алгоритму спочатку була створена нейронна мережа, що забезпечує управління ходьбою у віртуального шестиногого робота. Потім було створено додатковий модуль, де нейронна мережа перетворювала сигнали від рецепторів запаху і передавала їх до першої мережі, так що робот мав здатність орієнтуватися по запаху. Нарешті, був доданий ще один модуль з мережею, передаючою сигнал від рецепторів дотику першого модуля, що забезпечувало обхід перешкод. Робот, створений таким "інкрементальним" шляхом, краще вирішує задачу руху до джерела запаху з обходом перешкод, ніж робот, для якого відразу створювалася загальна нейронна мережа для ходьби, обходу перешкод і орієнтації на звук. Однак цей обнадійливий результат був отриманий при виконанні завдання у спрощеному середовищі і не дає остаточної відповіді на всі питання.

Що ж є необхідною умовою адаптивної поведінки? Відповіді на ці питання поки немає, і тому створення дійсно автономних агентів залишається тільки перспективою. Головна проблема, яку потрібно розв'язати – це те, яким чином тварини "створюють" нові адаптивні правила поведінки. Наведемо такий приклад. Гніздо ос було поміщено в садок, де осі могли літати в інший кінець садка і брати там сироп з годівниці. Одна з ос, що народилася з укороченими крилами, літати не могла і просто ходила до годівниці по стінці садка. Навряд чи можна припустити, що у осі була запасна спадкова програма пішої фуражировки. У природі осі не ходять за здобиччю і не мають можливості для цього. Таким чином, оса показала себе справді автономним агентом, здатним вийти зі скрутного становища, використовуючи незвичайну ситуацію. Яким би не був простим цей приклад, анімати на такі нестандартні рішення поки не здатні.

#### **Експериментальні дослідження**

На основі проаналізованих алгоритмів та поставлених задач, було розроблено та практично реалізовано на основі роботизованої платформи Pololu 3Pi модель простого анімата. Даний анімат може вирішувати деякі прості покладені на нього задачі, в рамках певних обмежень. «Поле діяльності» та адаптована поведінка до зміни умов оточуючого середовища, в нашому випадку це виникнення перешкоди П на прогнозованому шляху А-Б1, зображено на рис. 1.

Задача та діяльність анімата полягають в наступному. Нехай маємо сітку вузлів 5x5 вузлових точок, по яких може рухатися анімат і відносно яких проводити розрахунки і прогнозування шляху. Для проходження від початкової точки Б0 до заданої ЗД, анімат буде шлях із врахуванням відомих перешкод П (рис. 1.а) та наявних «паливних ресурсів» із можливістю дозаправки в Б1. Адапована поведінка анімата проявляється в перебудові (пошуку) шляху аніматом при виникненні непередбачуваної перешкоди (рис. 1.б).

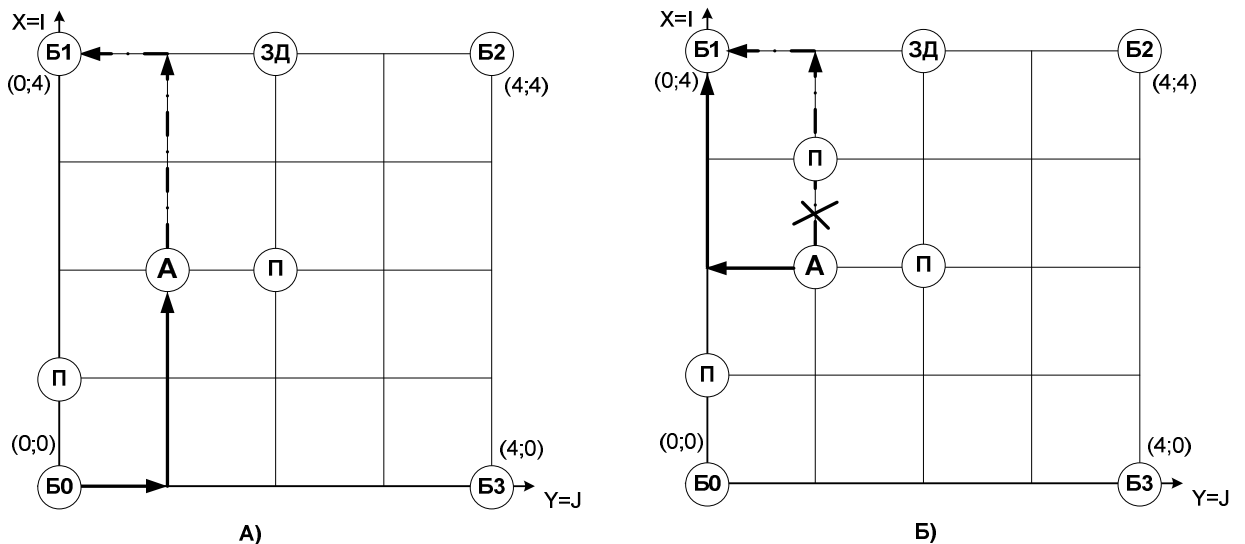


Рис. 1. Адаптована поведінка анімата до зміни оточуючого середовища, виникнення перешкоди

### Висновки

Проведене дослідження доводить необхідність застосування аніматів для створення правил адаптивної поведінки. Даний короткий огляд та приклад простого анімата показує, що анімати являють собою корисний інструмент для вивчення поведінки тварин. Вони дозволяють піддавати критичній перевірці наші уявлення про те, як організовано поведінку тварин, а також формулювати нові гіпотези, які можна перевірити на тваринах. Звичайно, можна заперечити, що такі гіпотези можна висувати, і не вдаючись до експериментів з роботами. Однак гіпотези не народжуються на порожньому місці, для них потрібна живильне середовище і експерименти з аніматами є таким середовищем. Їх не завжди можуть замінити чисто біологічні експерименти, зокрема тому, що не завжди можливо "побачити" механізм, що стоїть за спостережуваним поведінням тварини.

Анімати вже піднесли дослідникам кілька важливих уроків:

- не обов'язково придумувати складні механізми управління для того, щоб пояснити зовні складну поведінку;
- і навпаки, зовні прості (і тому не привертають до себе уваги дослідників) дії тварин можуть вимагати складної організації поведінки;
- традиційна етологія не цікавиться тим, як тварина може винайти нове правило поведінки в непередбачуваній ситуації.

1. Автоматы и живые организмы. – М.: «Государственное издательство физико-математической литературы», 1961. – 224 с.
2. <http://www.keldysh.ru/pages/BioCyber/RT/Nepomn.htm>
3. [http://myrobot.ru/news/2012/11/20121115\\_1.php](http://myrobot.ru/news/2012/11/20121115_1.php)
4. [http://articles.roboclub.ru/master/2004/08/26/algorithm\\_4.html](http://articles.roboclub.ru/master/2004/08/26/algorithm_4.html)
5. <http://en.wikipedia.org/wiki/Animat>
6. <http://www.neuroscience.ru/entry.php?197-Эволюция-аниматов-с-ИНС&bt=590>