

Моделювання взаємодії популяцій хижаків та травоядів з використання еволюційного підходу

Олександр Олійник¹ та Олена Олійник¹

¹ Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, Харків, 61166, Україна

Анотація

У статті розглядається розробка моделі взаємодії популяцій хижаків і травоядів для використання в ігрових або симуляційних системах. В основі роботи лежить аналіз класичної моделі Лотки–Вольтерра, яка описує динаміку взаємодії хижаків і жертв. Однак її обмеження, такі як нескінченність ресурсів та відсутність індивідуальної взаємодії, потребували доопрацювання. Запропонована модель враховує обмежені ресурси, взаємодію з окремими членами популяції та можливість адаптації параметрів для досягнення стабільного стану системи. Вона дозволяє моделювати зміну чисельності популяцій у залежності від зовнішніх умов і параметрів, що робить її універсальною для застосування в ігрових середовищах, природоохоронних системах та інших наукових і практичних завданнях.

Ключові слова

модель хижак–жертва, Лотка–Вольтерра, динаміка популяцій, біом, обмежені ресурси, еволюційний алгоритм, симуляція, взаємодія популяцій, ігрові системи, екосистема.

1. Вступ

Під час моделювання нами ігрового всесвіту виникла задача додати в модель взаємодію тварин. Для того щоб не плодити зайві сутності було вирішено зосередитись на двох популяціях: травояди та хижаки. По задумці травояди розмножуються до тих пір доки вистачає ресурсів області ігрового поля та змінюють тип біому при досягненні певних умов. Наприклад, якщо кількість травоядів в луговому біомі перевищує деяку межу біом становиться пустелею, що зменшує кількість ресурсів для травоядів. Хижаки стримують ріст популяції травоядів в заданих межах та взаємодіють з гравцем. Більш детально про взаємодію з ігровим полем та гравцем ми плануємо розповісти в іншій роботі, а тут зосередимось саме на взаємодії популяцій між собою.

Взаємодія двох пов'язаних популяцій є доволі складною задачею. Цю задачу різними способами пробували вирішувати починаючи з початку минулого сторіччя. Найбільш відомим рішенням є модель Лотки–Вольтерра хижак–жертва.

2. Модель Лотки–Вольтерра хижак–жертва

Ця модель описує взаємодію двох видів, хижаків що поїдають травоядів, та травоядів що поїдають якийсь сторонній ресурс. Модель спирається на декілька припущень [3]:

- Ресурс потрібний травоядам невичерпний;
- Потреба в їжі хижаків невичерпна;
- Хижаки їдять тільки цих травоядів;

- Зовнішнє середовище не змінюється і не надає переваг одному з учасників моделі, а адаптація учасників не істотна
- Розподіл популяцій по віку чи простору не впливає на динаміку.

В цілому, всю модель можна описати за допомогою пари нелінійних диференціальних рівнянь[3]:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= ax - \beta xy, \\ \frac{dy}{dt} &= -\gamma y + \delta xy,\end{aligned}$$

де x - щільність здобичі, y - щільність хижака, $\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}$ - миттєві зростання обох популяцій, t - час, a - швидкість росту популяції травоядів, β - коефіцієнт впливу хижаків на загибель травоядів, γ - рівень смертності хижаків, δ - коефіцієнт впливу травоядів на швидкість росту популяції хижаків.

Важливим фактором цієї моделі є те, що покоління хижаків та травоядів повинні збігатись.

На графіку чисельність популяцій за цією моделлю буде змінюватись приблизно так:

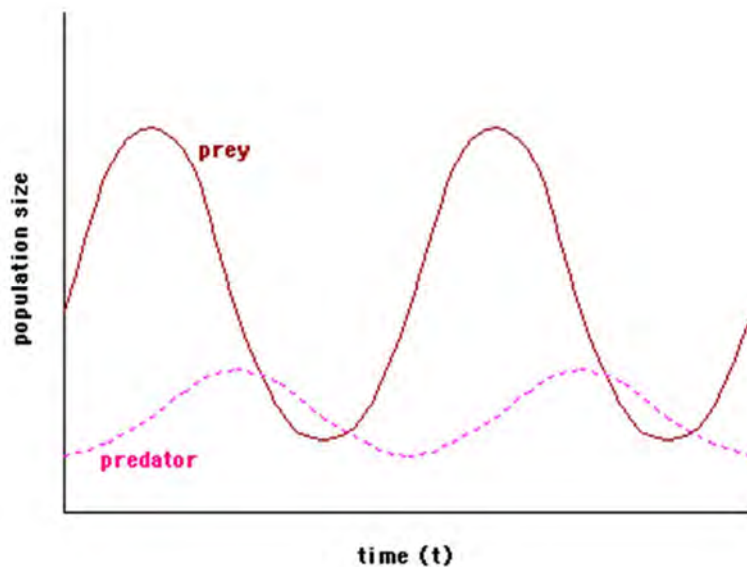


Рисунок 1: Графік зміни чисельності популяцій хижаків та жертв в часі, по моделі Лотки-Вольтерра[3]

Ця модель нам не підходить. По перше по задачі ресурси травоядів обмежені, відповідно обмежені і розміри популяції хижаків. Ще одна проблема в тому що ця модель не передбачає взаємодії з окремим представником популяції, а нам для інших етапів роботи це потрібно. Але в іншому вона дійсно добре описує взаємодію двох видів і ми можемо спиратись на неї щоб побудувати нашу. Розглянемо дороблену модель.

3. Модель

Наша модель повинна описувати взаємодію двох популяцій приблизно як і попередня, але з можливістю вводу обмежень ресурсів, зовнішньої взаємодії з конкретними членами популяції та обрахунку дій конкретного члена популяції. Також потрібно щоб модель дозволила встановити таке співвідношення між видами, щоб їх чисельність виходила на плато і не призводила до суттєвих викидів. Почнемо з припущень:

- Розмір ресурсів для травоядів обмежений біомом (для прикладу будемо орієнтуватись на луговий біом, що може прокормити 1000 членів популяції травоядів);
- Розподіл по віку та полу не впливає на динаміку;
- Покоління починаються в один час;
- Виконання всіх дій відбувається покроково;
- Для приплоду потрібно мінімум два члена популяції;
- За 1 ітерацію хижак з'їдає не більше певної кількості травоядів;
- Якщо максимальна ємність біому перевищена, тварини починають гинути від голоду.

Для травоядів доступні наступні дії:

- Якщо травоядів менше за ємність біому, то кожні два травояда кожну ітерацію можуть народити від 1 до 3(дуже низька ймовірність) нових травоядів
- Якщо поріг перевищено, то травояди починають гинути від голоду цілими групами до 6 членів;
- Зовнішня дія що збільшує або зменшує кількість членів популяції або ємність біому;

Таким чином природним обмеженням чисельності травоядів є ємність біому та голод. Для хижаків природним обмеженням виступає кількість травоядів. Для збереження нормальної чисельності потрібно щоб на кожного хижака було мінімум стільки травоядів скільки йому потрібно для проходження періоду (кроку). Розглянемо доступні для хижаків дії.

- Спіймати та з'їсти до 2 травоядів.
- Нікого не спіймати, але вижити.
- Нікого не спіймати і вмерти від голоду.
- Якщо знаходиться живих хижаків, то вони можуть народити від 1 до 4 нових хижаків.
- Якщо чисельність хижаків доходить до порогових значень(у нашому випадку чисельності травоядів поділеної на два), то хижаки зменшують приріст популяції до 1-2 нових хижаків за ітерацію, а також гинути групами до 9 членів.

Всі обчислення відбуваються покроково для кожного члена популяції спочатку рахується чи знайшов він їжу, чи помер він від її недостатчі, після цього для кожної пари живих членів обчислюється поява нащадків. Спочатку виконується обчислення для травоядів, а потім для хижаків. Таким чином система починає еволюційний процес схрещення та зміни параметрів. У якості модифікатора мутації виступають зовнішні взаємодії.

Всі коефіцієнти(кількість членів в групах, кількість потрібних жертв в сезоні, кількість жертв за 1 охоту, кількість нащадків на одну пару, з групами вірогідностей кожного варіанту) можуть бути налаштовані окремо. Ті що є в прикладі отримані за допомогою еволюційного алгоритму, що шукав параметри що дозволять організувати плато чисельності без великих коливань.

Звісним чином, на модель окрім ємності біому впливають і початкові розміри популяції. Розглянемо декілька прикладів.

У нас буде три діаграми:

- Чисельність приблизно однакова;

- Травоядів більше;
- Хижаків більше.

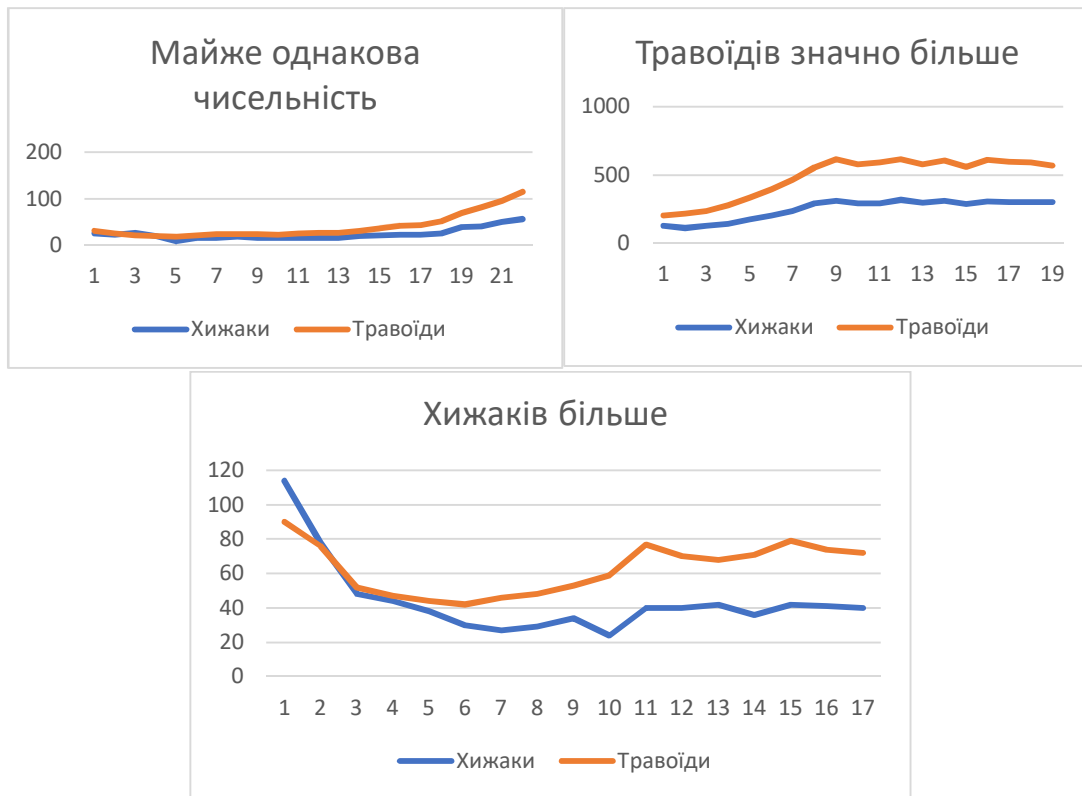


Рисунок 2: Отримані графіки зміни чисельності

4. Висновки

Розроблена модель взаємодії хижаків та жертв що дозволяє окрему взаємодію з кожним членом популяції, враховує розміри кормової бази біома для травоядів, дозволяє отримати збалансовану на заданому рівні популяцію, та передбачає можливість зовнішніх втручань та зміни кормової бази популяції. Модель буде корисна при розробці ігор, де є потреба в організації конкурентних популяцій здатних взаємодіяти без участі гравця, при моделюванні природоохоронних комплексів, що передбачають втручання людини во взаємодію між видами. При певній доробці на реальних прикладах модель може бути корисною при проектуванні протидії інвазійним видам та розробці методів боротьби з «overpopulation».

Література

- [1] Lotka, A. J. (1925). Elements of Physical Biology. Williams and Wilkins.
- [2] Goel, N. S.; et al. (1971). On the Volterra and Other Nonlinear Models of Interacting Populations. Academic Press. ISBN 0-12-287450-1.
- [3] PREDATOR-PREY DYNAMICS: LOTKA-VOLTERRA URL: <https://web.archive.org/web/20121215031911/http://www.tiem.utk.edu/~gross/bioed/bealsmodules/predator-prey.html>