

Висновок. Аналіз наявних досліджень підтвердив високий рівень ефективності використання економетричних моделей як одного з інструментів при аналізі регіональних ринків праці України. Був виявлений вплив технологій Big Data на процес моделювання. Дослідження виявило необхідність подальшого розвитку інструментів для обробки даних та моделювання відповідних явищ.

Список використаних джерел

1. Інфляційний звіт НБУ [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/IR_2023-Q4.pdf?v=7.
2. Оліксевич М. О. Економетричний аналіз взаємозв'язків між показниками ринку праці в Україні / Маріанна Олександрівна Оліксевич. // Регіональна бізнес-економіка та управління. – 2013. – №2. – С. 24 – 29.
3. Окара Д. В. Економетричне моделювання регіональних ринків праці України / Д. В. Окара, В. Г. Чернишев, В. М. Шинкаренко. // Проблеми системного підходу в економіці. – 2017. – №2(58). – С. 164 – 170.
4. Prasad, E. 2000. “What Determines the Reservation Wage: Theory and Some New Evidence from German Micro Data”. Econometric Society World Congress 2000 Contributed Papers, No 1808.
5. Panasenko O., Tymoshenko O. Трансформація ринку праці України в галузі ІТ в умовах зовнішніх викликів / О. Panasenko, О. Tymoshenko // X International scientific and practical conference «Modern Trends in the Development of Scientific Space» (February 14-16, 2024) Dresden, Germany, International Scientific Unity. 2024. – Pp. 53-56

УДК 519.8

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЇВ ДРОНІВ

Шкарупіло А.А., студент, shkarupilo.andrii@sfk.nau.edu.ua, ВСП «СФК НАУ»

Карпенко Л.М., викладач вищої категорії, karpenko.larysa@sfk.nau.edu.ua, ВСП «СФК НАУ»

Ми живемо у часи інноваційних технологій. Розробки науки та техніки стають у нагоді повсякденного життя. Ще кілька років тому безпілотники та дрони були цікаві лише невеликій групі користувачів. Однак сучасні воєнні реалії показали великий потенціал дронів. Стало зрозумілим необхідність стрімко розвивати цей напрямок у майбутньому[1].

У доповіді НАТО «Тенденції у науці й технологіях: 2020-2040» розглядалися напрямки розвитку науки та технологій упродовж наступних 20 років, які матимуть вплив на розвиток безпеки й оборони країн альянсу[2].

Під час сучасних військових операціях дуже велику роль відіграють безпілотні системи та робототехніка, вони істотно змінюють спосіб ведення війни, їх сфера впливу охоплює всі середовища, де відбувається бойові дії – землю, море, повітря та навіть космос[3].

Практичне використання дронів довело необхідність додаткового вивчення, прогнозування поведінки безпілотних систем, а також потребу в розробці алгоритмів управління дронами та вивчення роїв дронів. Для вирішення цього питання у нагоді стає математичне та імітаційне моделювання. Воно допомагає у вивченні та прогнозуванні поведінки рою в цілому.

Мета нашого дослідження - провести аналіз теоретичних і науково-методичних робіт з математичного та імітаційного моделювання роїв дронів, розглянути можливість перетворення одиначної моделі дрона в динамічну модель рою.

Зазначимо деякі переваги, які надає математичне та імітаційне моделювання:

- використання таких технологій дозволяє вивчати поведінку роїв дронів без ризику для людей або майна;

- дозволяє розробляти алгоритми управління дронами, які є більш ефективними та надійними;

- можуть бути використані для прогнозування поведінки рою в нових та невідомих, більш реалістичних умовах.

При використанні великої кількості дронів головною проблемою стає не лише вивчення поведінки окремих дронів, скільки взаємодії дронів один з одним, усередині рою[4]. Моделювання рою дронів відносять до імітаційного моделювання, в основі якого лежить багатоагентне моделювання.

Дослідження поведінки груп дронів полягають у виявленні особливостей рою на основі правил і законів, що діють на кожен дрон окремо. Однак вивчення поведінки групи дронів має серйозні складнощі, пов'язі, насамперед, з необхідністю використання великої чисельності окремих дронів.

В багатьох наукових роботах дослідження поведінки рою розглядається не як набір окремих дронів, а як єдиний об'єкт дослідження. Зокрема, пропонується розглядати такі процедури, які дозволяють перейти від дослідження рою в цілому до імітаційної моделі одного об'єкта дрону. Це забезпечує можливість вивчення поведінки одного дрона в рої на моделі рою. [1]

Такий підхід при вивченні поведінки рою дає гарні результати, а спосіб моделювання є ефективний і дає змогу виявити закономірності поведінки рою та описати його роботу в цілому.

Для того, щоб описати поведінку рою, можна використати матричний опис моделі. Для цього пропонується описати поведінку одного дрону в модель рою на базі **добутку Адамара**. [5]

Добуток Адамара — це така бінарна операція, яка проводиться над двома матрицями, які мають однакову розмірність. У результаті отримується нова матриця де кожен елемент ij - це добуток елементів ij початкових матриць.

Рух одиничного дрону описує рівняння:

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = F_{fr} + U_{ctr} + F_{rel} + F_{md}$$

де $\vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ - вектор координат дрону, m - маса дрону, t - час,

F_{fr} - результуюча сила взаємодії одного дрона з іншим. (Як і сила тертя, результуюча сила належить до внутрішніх керуючих впливів і залежить від розташування дронів один від одного),

U_{ctr} - вектор сил, зовнішнього керування та управління системою при виконання певного завдання,

F_{rel} - вектор сили взаємодії між дронами,

F_{md} - випадковий вплив на дрон, (штучного або природного походження).

озглянемо поведінку рою з використанням матричного підходу.

Нехай матриці:

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix}, Y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ \vdots \\ y_n(t) \end{bmatrix},$$

задають відповідні координати одиничних дронів в рої в зазначений момент часу.

Тоді гіпервектор координат рою, з використанням добутку Адамара буде мати вигляд:

$$\vec{R}(t) = [X(t); Y(t)]$$

Сила взаємодії F_{rel} на весь рой, така сама, як і для одного дрона, але складається з гіпервекторів:

$$F_{rel} = F_d + F_a + F_l$$

де, F_l - сила тяжіння дрона на далеких відстанях;

F_a - сила тяжіння дрона на середніх відстанях;

F_d - сила відштовхування дронів один від одного на ближніх відстанях.

Таким чином, опис руху одиничного дрону, при використанні добутку Адамара, практично еквівалентний опису руху всього рою, що дуже спрощує дослідження поведінки рою дронів.

Таке моделювання рою показало результат у 6 разів повільніший, ніж динамічне моделювання в однопотоковому режимі, що може бути дуже важливим при роботі в режимі реального часу. [5]

Але при цьому використання запропонованого підходу додатково потребує написання програми для дронів. Однак це компенсується зростанням продуктивності при моделюванні рою майже в 50 разів.

Саме над цією проблемою у розробці програми для дронів, ми будемо працювати у майбутньому у своїй науково-дослідницькій роботі.

Висновок

Математичне та імітаційне моделювання цілком може бути використане для вивчення поведінки роїв дронів в нових та невідомих середовищах.

У процесі розроблення моделі розглянуто перетворення одиничної моделі дрона в динамічну модель рою, що було продемонстровано на наведеному прикладі переходу від моделі одиночного дрона до моделі рою на базі алгебри Адамара.

Однією з важливих технічних переваг цього підходу є можливість використання готових реалізацій операцій на базі добутку Адамара.

В майбутньому очікується, що нові алгоритми та методи моделювання дозволять розробити більш ефективні та надійні рої дронів. Математичне та імітаційне моделювання і в подальшому буде відігравати важливу роль у розробці та застосуванні роїв дронів.

Список використаних джерел

1. Вісник М. СЕР. 15. Обчислювальна математика та кібернетика 2023. № 3. С. 10–22 Computational Mathematics and Cybernetics Journal
2. Дрони: сфери застосування зараз і в майбутньому URL: https://brain.com.ua/ukr/brain_guide/Droni-sferi-zastosuvannya-zaraz-i-v-maybutnomu/ (дата звернення: 22.02.2024)
3. M a g n u s J.R., N e u d e c k e H. Matrix differential calculus with applications to simple, Hadamard and Kronecker product // J. of Math. Psychol. 1975. P. 3–228
4. Рої дронів: тренди українських БПЛА URL: <https://ucluster.org/blog/2023/09/roji-droniv-trendy-ukrajinskyh-bpla/> (дата звернення: 19.02.2024)
5. Тенденції науки та технологій URL: <https://securityinsight.nl/report/science-technology-trends-2020-2040> (дата звернення: 17.02.2024)