

Коротков С.С.,

PhD, доцент кафедри комп'ютерної інженерії,

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

(м. Київ, Україна)

Лащевська Н.О.,

к.т.н., доцент, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії,

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

(м. Київ, Україна)

Зінченко О.В.,

д.т.н., доцент, завідувач кафедри штучного інтелекту,

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

(м. Київ, Україна)

МЕТОДОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ САМООРГАНІЗУЮЧОЮ МЕРЕЖЕЮ АВТОНОМНИХ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Вступ

Сучасні тенденції розвитку військових технологій зумовлюють потребу у створенні нових підходів до управління автономними системами. Класичні централізовані методи управління в умовах бойових дій мають суттєві обмеження – уразливість до кібератак, втрата стійкості при знищенні командного центру, складність у масштабуванні. Тому актуальним є застосування принципів самоорганізації та машинного навчання (ML) для побудови децентралізованих мереж, де автономні агенти здатні колективно приймати рішення, координувати дії та зберігати ефективність навіть у складних умовах [2,5].

Впровадження такої методології має не лише прикладне значення для побудови військових систем, але й навчальне – воно може використовуватися у військовій освіті для формування компетентностей у сфері штучного інтелекту, цифрових технологій та керування складними системами.

Аналіз предметної області

Автономні спеціалізовані системи (безпілотні літальні апарати, роботизовані наземні комплекси, сенсорні вузли) активно застосовуються у військовій сфері для розвідки, логістики, зв'язку та ударних операцій [4]. Більшість існуючих рішень спираються на централізовану архітектуру управління, що призводить до таких проблем:

- залежність від єдиного центру управління;
- низька адаптивність до непередбачуваних змін середовища;
- складність масштабування при збільшенні кількості агентів.

Сучасні підходи включають концепції роевого інтелекту (swarm intelligence), навчання з підкріпленням (reinforcement learning) та федеративного навчання (federated learning), які дозволяють розподіленим агентам ефективно взаємодіяти без постійного зовнішнього контролю [1,3].

Методологія управління самоорганізуючою мережею

Запропонована методологія базується на трьох ключових принципах:

1. Децентралізація управління – кожен агент приймає локальні рішення, узгоджуючи їх із сусідами.
2. Адаптивне навчання – агенти постійно оновлюють моделі поведінки на основі середовища (RL, нейронні мережі).
3. Самоорганізація – система здатна відновлювати цілісність і функціональність при втраті частини агентів.

Процес управління включає:

- збір даних сенсорами;
- локальну обробку інформації;
- обмін результатами з іншими агентами;
- колективне прийняття рішення (наприклад, розподіл цілей між дронами);
- зворотний зв'язок та корекцію дій.

Архітектура системи

Архітектурно пропонується багаторівнева модель, рисунок 1:

1. Рівень агентів – автономні дрони/роботи з вбудованими ML-модулями. Кожен дрон/робот збирає дані (з камер, сенсорів) і передає їх у mesh-мережу. Також він повідомляє свій поточний стан (координати, заряд батареї тощо).
2. Рівень мережевої взаємодії – самоорганізуюча mesh-мережа для обміну даними. Мережа агрегує дані від усіх агентів і передає їх на рівень управління. Це дозволяє "мозку" системи бачити повну картину того, що відбувається.

3. Рівень колективного управління – алгоритми swarm intelligence, федеративне навчання. На основі отриманих даних алгоритми ройового інтелекту генерують скоординовані команди для всієї групи (або окремих її частин) і відправляють їх назад у мережу для розповсюдження серед агентів. У випадку федеративного навчання, цей рівень надсилає оновлені загальні ML-моделі.

4. Рівень інтеграції – можливість взаємодії з командним центром чи освітніми симуляторами. Система передає узагальнену інформацію (статус виконання місії, ключові показники, аналітику) на командний центр для моніторингу людиною-оператором.

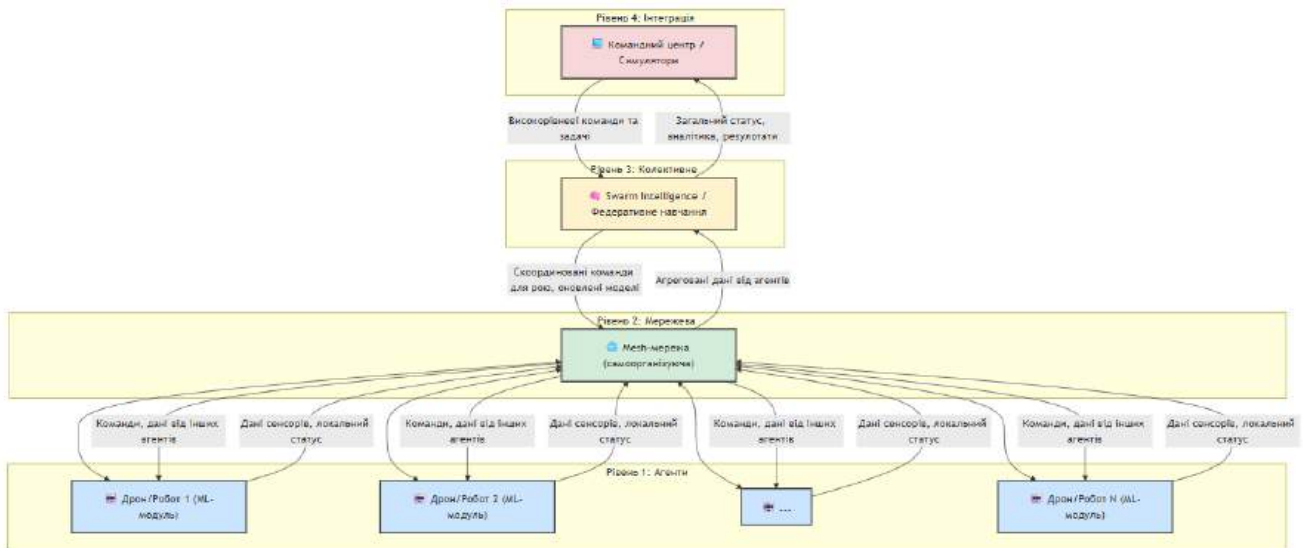


Рисунок 1. Блок-схема з взаємозв'язками між рівнями.

Приклад застосування у військовій освіті

Методологія може бути інтегрована у навчальний процес через:

- комп'ютерні симулятори та цифрові тренажери, які моделюють поведінку самоорганізуючих систем;
- навчальні стенди з міні-дронами чи наземними роботами для практичних занять;
- курси з машинного навчання та штучного інтелекту, де студенти працюють з реальними алгоритмами;
- дослідницькі проекти, що формують навички проєктування адаптивних систем.

Це дозволить майбутнім військовим фахівцям не лише використовувати сучасні автономні комплекси, а й розробляти власні алгоритми управління.

Висновки

Розробка методології управління самоорганізуючою мережею автономних спеціалізованих систем на основі ML має подвійний ефект:

1. Практичний – підвищення стійкості, гнучкості та ефективності військових систем.

2. Освітній – формування у слухачів військових вишів компетентностей у сфері ШІ, цифрових технологій та управління децентралізованими системами.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на створення симуляційних середовищ та експериментальних полігонів для апробації даної методології у реальних сценаріях.

Список використаних джерел:

1. Sutton R.S., Barto A.G. Reinforcement Learning: An Introduction. 2015. A Bradford Book. 352 p. URL: <https://surl.li/thbufy>

2. Kennedy J., Eberhart R. C. Swarm Intelligence. Morgan Kaufmann, 2001. 512 p. URL: <https://surl.li/nbjoip>

3. Brendan McMahan, Eider Moore, Daniel Ramage, Seth Hampson, Blaise Aguera у Arcas Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, PMLR 54:1273-1282, 2017. URL: <https://proceedings.mlr.press/v54/mcmahan17a.html>

4. Каратанов О., Устименко О., Єна М., Бова Є., & Калашнікова В. Використання алгоритмів ройового інтелекту при проектуванні систем управління груп безпілотних літальних апаратів. *Молодий вчений*, 2021. Вип.10 (98). С. 98-103. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-10-98-24>

5. Dressler F. Self-Organization in Sensor and Actor Networks. John Wiley & Sons, 2007. 320 p.