

УДК 004.8

ПРИРОДНІ МЕХАНІЗМИ КОЛЕКТИВНОЇ ПОВЕДІНКИ ТА ЇХ ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСТОСУВАННЯ

Солодов В.Д., Храмцов П.В., Багаєв Д.О., Юріна М.О.

e-mail: vitalii.solodov@nure.ua

Науковий керівник – к.т.н. проф. Колендовська М.М.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. МІРЕС
м. Харків, Україна

Swarm intelligence is a form of decentralized organization emerging from local interactions among simple agents, playing a key role in the behavior of insects, bacteria, slime molds, and social animals like wolves. In recent decades, this concept has been applied in engineering, artificial intelligence, and robotics to create self-learning and adaptive systems. Biological examples, such as the behavior of ants, termites, and bees, have inspired optimization algorithms used in logistics, traffic management, and even medicine. Swarm intelligence offers promising solutions for autonomous systems, materials science, and bioengineering, paving the way for innovative advancements in technology and research.

Роївий інтелект є формою децентралізованої організації, що виникає у спільнотах простих агентів через локальні взаємодії. У природі він відіграє ключову роль у поведінці комах, бактерій, слизовиків і навіть більш складних соціальних тварин, таких як вовки. Завдяки цьому механізму живі організми можуть ефективно вирішувати складні завдання без централізованого управління. В останні десятиліття концепції роївого інтелекту почали активно застосовувати в інженерії, штучному інтелекті та робототехніці, що дозволяє створювати автономні системи, здатні до самонавчання та адаптації.

Фізарум багатоголовий (*Physarum polycephalum*) є класичним прикладом організму, що демонструє роївий інтелект без наявності нервової системи. Його здатність знаходити найкоротші маршрути між точками доведена експериментами, у яких він ефективно відтворює транспортні мережі, наприклад, схему залізниць Токіо. Його цитоплазматичні потоки автоматично оптимізують траєкторії живлення, що є аналогом алгоритмів адаптації та самоналагодження. Подібні процеси спостерігаються і в мурах, які використовують феромонну комунікацію для створення оптимальних маршрутів між джерелами їжі. Дослідження довели, що мурашині алгоритми можуть ефективно розв'язувати задачу комівояжера, яка має експоненційну складність у традиційних обчислювальних підходах. Саме на основі цього принципу були розроблені евристичні алгоритми оптимізації транспортних і комунікаційних мереж, що знайшли застосування у логістиці, розподілі ресурсів і навіть управлінні трафіком у великих містах.

Ще одним прикладом природного роївого інтелекту є терміти, які будують складні колоніальні структури, що регулюють температуру і вологість всередині своїх поселень. Завдяки особливому розташуванню вентиляційних каналів їхні споруди працюють як природні кондиціонери, що дозволяє термітам виживати в екстремальних кліматичних умовах. Цей принцип був використаний в архітектурі для створення енергоефективних будівель, зокрема у Зімбабве, де було зведено бізнес-центр Eastgate за аналогією з термітниками. Аналогічно, бджоли застосовують «мову танців» для передачі інформації про розташування джерел нектару. Дослідження показали, що тривалість і напрямок їхніх рухів дозволяють точно передавати координати ресурсів, що знайшло застосування в алгоритмах навігації автономних роботів і дронів.

Цікавою моделлю роївого інтелекту є зграйна поведінка вовків, яка ґрунтується на ієрархічній структурі та спільній координації під час полювання. Вовча зграя діє як єдиний організм, де кожен її член має певну роль: лідери визначають напрямок руху, молодші вовки виконують функції загону, а досвідчені мисливці забезпечують ефективність атаки. Дослідження показують, що така стратегія дозволяє вовкам оптимізувати витрати енергії та підвищувати ймовірність успішного полювання. Крім того, комунікація у зграї заснована на невербальних сигналах, які дають можливість швидко реагувати на зміну умов. На основі цієї моделі були розроблені алгоритми оптимізації, що використовуються у штучному інтелекті, зокрема для управління безпілотними апаратами та координації автономних транспортних засобів.

Принципи роївого інтелекту активно впроваджуються у технологічні розробки. Наприклад, вони використовуються в розробці автономних дронів, які координуються за аналогією зі зграями птахів або роями бджіл, що дозволяє ефективно зондувати територію без централізованого управління. Також на основі мурашиних алгоритмів створені методи маршрутизації в телекомунікаційних мережах та міському транспорті. Такі системи динамічно адаптуються до змін навантаження, мінімізуючи затримки та витрати ресурсів. Окрім цього, роївий інтелект використовується в біотехнологіях для розробки матеріалів, здатних до самовідновлення. Дослідження бактеріальних колоній, що взаємодіють на основі механізму «відчуття кворуму», допомогли створити нові методи очищення довкілля та біомедичні технології.

Ще одним перспективним напрямом застосування роївого інтелекту є медицина. Біологічні алгоритми роївого інтелекту використовуються для розробки нових методів лікування, наприклад, у моделюванні поширення вірусів або контролі бактеріальних інфекцій. Крім того, штучні нанороботи, що імітують поведінку біологічних роїв, розглядаються як потенційний засіб доставки ліків до конкретних клітин або навіть для проведення мікроскопічних хірургічних втручань.

Що стосується ройових інтелектів в техніці можна виділити існуючі системи керування групами пристроїв централізованого та децентралізованого керування.

Тобто вирішення задач управління групою наземних роботів з централізованим та децентралізованим керування є сучасною та дуже актуальною проблемою.

Таким чином, ройовий інтелект є одним із найефективніших механізмів самоорганізації в природі, що дозволяє системам без централізованого управління вирішувати складні задачі. Аналіз біологічних моделей показує, що ці принципи можуть бути ефективно впроваджені у технології майбутнього – від робототехніки до оптимізації ресурсів та архітектури. Подальші дослідження сприятимуть розвитку нових адаптивних систем, заснованих на природних алгоритмах колективної поведінки. Оскільки дослідження ройового інтелекту лише розширюється, можна очікувати появу ще більш інноваційних рішень у сфері автономних систем, інтернету речей, медицини та біоінженерії, що відкриває нові горизонти для науки і технологій.

Список використаних джерел:

1. O'Loan, OJ; Evans, MR (1999). Alternating steady state in one-dimensional flocking. *Journal of Physics A: Mathematical and General*. IOP Publishing. 32 (8): L99. arXiv:cond-mat/9811336. doi:10.1088/0305-4470/32/8/002.
2. Reynolds, Craig W. (1987). Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model.. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*. Т. 21, № 4. с. 25–34.
3. Delgado-Mata C, Ibanez J, Bee S та ін. (2007). On the use of Virtual Animals with Artificial Fear in Virtual Environments. *New Generation Computing*. 25 (2): 145–169. doi:10.1007/s00354-007-0009-5.
4. Geometric Analysis Of A Laser Scanner Functioning Based On Dynamic Triangulation /Sepulveda-Valdez, C., Sergiyenko, O., Tyrsa, V, Mercorelli, P., Kolendovska, M.// *IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152268, Pages 1398-1403*
5. Stereoscopic Vision Systems In Machine Vision, Models, And Applications (Book Chapter)/ Ramírez-Hernández, L.R., Rodríguez-Quiñonez, J.C., Castro-Toscano, M.J., Kolendovska, M., Murrieta-Rico, F.N.// *Machine Vision And Navigation, 2019 Machine Vision and Navigation* 30 September 2019, Pages 241-265