

Web-сервіс для дослідження динаміки автономних самокерованих модулів у процесі моделювання консолідованого руху

Ярмілко А.В., Нікітюк В.С., Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси, Україна, a-ja@ukr.net

Web-service for exploring the dynamics of autonomous self-managing modules in the process of modeling consolidated traffic

Yarmilko A., Nikitiuk V., Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine, a-ja@ukr.net

Abstract

This paper focused on the problem of consolidated movement of self-managing modules. The main types of consolidation and precedents of applied application are considered. The bionic and mathematical basis of the consolidation type chosen for realization is considered. The current results of the program implementation are presented, the main engineering solutions are indicated.

На сучасному етапі розвитку теорії та практики інтелектуальних систем керування актуальною є розробка методів управління групами мобільних роботів. Провідні центри дослідження даної проблеми знаходяться у США, Німеччині, Франції, Китаї, Росії. Серед широкого кола задач, дотичних до зазначеної проблеми, одна з центральних пов'язана з дослідженням поведінки груп роботів, координацією їхнього руху. Типовою задачею є управління консолідованим рухом автономних об'єктів. Консолідацію можемо спостерігати у рухових стратегіях багатьох біологічних систем з певним рівнем соціалізації приналежних їм компонентів. Аналогічні стратегії групового руху розглядаються й у дослідженнях з управління угруповання роботами: формування та переформатування конвоїв, безпечний рух у групах роботів за умови відсутності апріорних знань про оточення, рух за сценаріями втечі від зграї хижаків або захоплення зграєю вказаного рухомого об'єкту, синхронне виконання рухів за спостереженням визначеного лідера та інші. Прикладні дослідні системи, зокрема, зосереджуються на застосуванні систем з елементами штучного інтелекту в оптимізації трафіку у міській транспортній інфраструктурі. Так, технологія Virtual Traffic Lights (VTL), яка передбачає застосування автомобілями безпроводного протоколу DSRC (dedicated short-range communications), забезпечує впорядкування перетину перехресть потоками самокерованих транспортних засобів без застосування світлофорів та вартісних сенсорів руху [1]. Примітно, що застосована модель керування має потенціал зниження часу перебування на типових маршрутах в інфраструктурі великих міст на 30-60% та є ефективною навіть у змішаному транспортному потоці зі звичайними нероботизованими автомобілями.

При дослідженні руху угруповань мобільних роботів основним методом є моделювання. Це є наслідком проблематичності побудови універсальної математичної моделі групи роботів [2]. Відповідною є потреба у засобах моделювання з властивостями підтримки експериментальних досліджень. Нами розробляється програмна система, орієнтована на моніторинг динаміки групи гетерогенних автономних самокерованих модулів у гомогенному середовищі. Функціонал системи передбачає засоби формування конфігурації модулів та їх властивостей, збору статистичних даних про їхні динамічні параметри, засоби їхньої інтерпретації, а також візуалізацію динамічних сцен відповідно до заданих сценаріїв.

У якості базового закону консолідованого руху на поточному етапі реалізації проекту обрано закон переслідування лідера з консолідацією навколо нього. Даний закон управління забезпечує сходження траєкторій групи самокерованих модулів у точку, в якій ситуативно перебуває рухомий модуль-лідер. На період моделювання функція розподілу

лідерства залишається сталою. Задача уникнення зіткнень модулів у процесі руху на даному етапі не розв'язувалася. Застосована математична модель ґрунтується на біонічних підходах до розробки моделей руху автономних самокерованих модулів, що є домінуючою тенденцією в розробці та вивченні групової поведінки роботів.

Нещодавні дослідження біологів дозволили глибше зрозуміти механізм групової поведінки крупних популяцій живих істот. Зокрема, міждисциплінарна австрало-британо-індійська група дослідників оприлюднила результати спостережень за формуванням косяків риб-цихлід. У дослідах з експериментальними популяціями з п'ятнадцяти, тридцяти та шістдесяти риб встановлено, що кожна з риб в процесі консолідації косяка може взаємодіяти лише з однією іншою рибою. Таким чином, її поведінка формується не в результаті спостереження за поведінкою групи, а внаслідок випадкового копіювання поведінки іншої особини (альтернативною дією є спонтанна зміна напрямку руху). Визначення середнього напрямку руху у косяку (відповідно до стандартної теорії «ковзного середнього», якою описували поведінку особин у косяку або зграї), ймовірно, є занадто складним для риб. Таким чином, було підтверджено механізм групової поведінки, стосовно якого раніше висловлювалися лише теоретичні припущення. Проте це відкриття залишає багато питань для подальших досліджень. Зокрема, експерименти показали послідовнішу консолідацію у менших за чисельністю косяках, що не було очікуваним з огляду на більшу роль випадковості у динаміці малих груп [3].

За аналогією з розглянутим механізмом консолідації у косяку риб, топологія взаємозв'язків у групі автономних самокерованих модулів може бути представлена графом, який моделює обмежену взаємну видимість модулів (видимими є лише деякі сусіди) та здатність хоча б одного модуля бачити лідера. У даній роботі під баченням модулів розуміємо їхню здатність ідентифікувати та встановлювати положення модулів за актуальні для цієї задачі часові проміжки. У даному розгляді були накладені обмеження, згідно яких кожна вершина має не більше ніж дві дуги, кожна з яких замкнута на сусідів. Одна з дуг однієї вершини з множини агентів обов'язково замкнута на вершину-лідера.

Реалізований алгоритм руху базується на постановці задачі консенсусу для мультиагентної системи четвертого порядку. Система складається з лідера (який може бути й віртуальним) та N агентів (followers). Динаміка лідера описується системою диференціальних рівнянь 4-го порядку:

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = y_0, \\ \dot{y}_0 = f(t, x_0, y_0) + g(t, x_0, y_0), \end{cases} \quad (1)$$

де $x_0 = (x_{0_1}, x_{0_2})^T$ – вектор, який описує положення лідера, $y_0 = (y_{0_1}, y_{0_2})^T$ – вектор швидкостей лідера, $f(t, x, y) \in \mathbb{R}^2$ і $g(t, x, y) \in \mathbb{R}^2$ – достатню кількість разів неперервно диференційовані в \mathbb{R}^2 функції. f відповідає за власну динаміку лідера, а g – за контролювання траєкторії лідера.

Динаміка i -го ($i = \overline{1, N}$) агента описується системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = y_i, \\ \dot{y}_i = f(t, x_i, y_i) + u_i(t), \end{cases} \quad (2)$$

де $x_i = (x_{i_1}, x_{i_2})^T$ – вектор, який описує положення i -го агента, $y_i = (y_{i_1}, y_{i_2})^T$ – вектор швидкостей i -го агента, $u_i(t)$ – керування.

Консенсус у мультиагентній системі досягатиметься при побудові такого керування $u_i(t)$, $i = \overline{1, N}$, для якого виконуватимуться умови

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \|x_i(t) - x_0(t)\| = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \|y_i(t) - y_0(t)\| = 0, \quad (3)$$

для будь-якого i та довільних початкових станів.

Для побудови управління, відповідного зазначеним умовам, було використано метод, запропонований Гогуан Вень (Guoguang Wen) [4].

Моделююча система реалізується у формі web-сервіса. Поточна версія забезпечує опис руху лідера, введення початкових координат лідера та агентів-переслідувачів у двовимірному базисі, відображення поточного положення модулів та залишкових траєкторій їхнього руху. Динаміку сцени в процесі консолідації представлено на рис. 1.

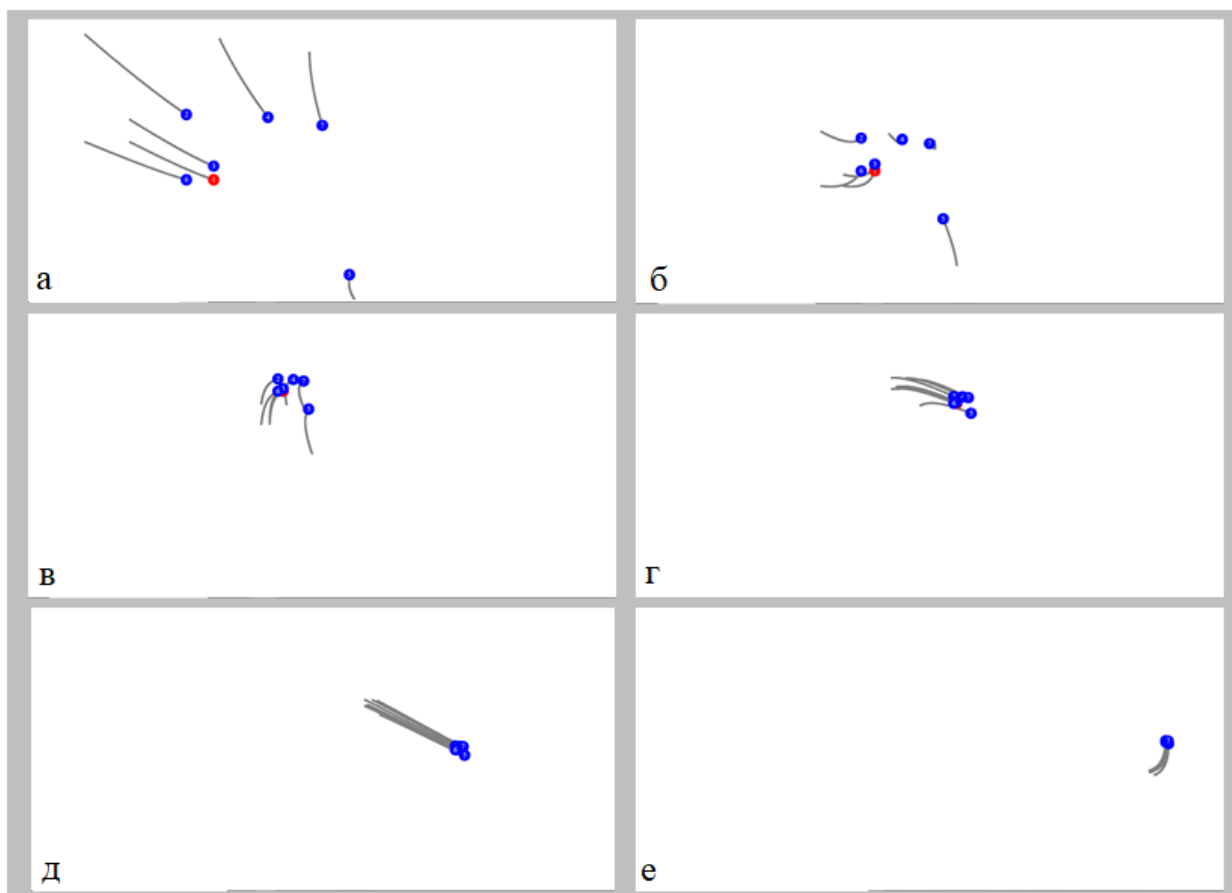


Рисунок 1 – Послідовність розвитку сцени консолідації (а-б-в-г-д-е) зі сходженням агентів до лідера (позначений червоним кольором)

У процесі програмної реалізації моделюючого середовища розв'язувалися задачі забезпечення прийнятної динаміки відтворення експериментів, візуальної виразності та створення умов для отримання повторних екземплярів експериментальних прогонів.

Підсумовуючи, зазначимо отримання працездатної версії web-сервісу для дослідження динаміки автономних самокерованих модулів за математичною моделлю, яка має біонічне підґрунтя. Подальший розвиток дослідження передбачає розвиток сервісів постановки експериментів, статистичної обробки та інтерпретації даних моніторингу динаміки модулів, розширення кола моделей консолідації.

Список літератури:

1. Tonguz O. K. Red light, green light – no light: Tomorrow's communicative cars could take turns at intersections // *IEEE Spectrum*, vol. 55, no. 10, pp. 24-29, Oct. 2018, doi: 10.1109/MSPEC.2018.8482420.
2. Hamann H., Wörn H. A framework of space-time continuous models for algorithm in swarm robotics // *Swarm Intelligence*. 2008. №7. P. 209–239.
3. Jhavar J., Morris R.G., Amith-Kumar U.R. et al. Noise-induced schooling of fish // *Nat. Phys.* 16, 488–493 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41567-020-0787-y>
4. Wen G. Distributed Cooperative Control for Multi-Agent Systems, Ph.D. Thesis, 2013.