

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

**Асєєв Владислав Дмитрович**

УДК 004.85; 004.94

**Моделювання кооперативної поведінки в мультиагентних системах**

122-Комп'ютерні науки  
МНР.ПЗ.0-601м.11953116

Автореферат  
магістерської наукової роботи на здобуття освітньої кваліфікації

**«Магістр комп'ютерних наук»**

Миколаїв – 2019

Магістерська наукова робота є рукопис.

Робота виконана в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України на кафедрі інтелектуальних інформаційних систем

Науковий керівник: **к.ф.-м.н., Кулаковська І. В.**

Рецензент: **д.т.н., професор, Гожий О. П.**

Захист відбудеться **«23» лютого 2019 р.** о 9<sup>30</sup> год. на засіданні екзаменаційної комісії (ауд. 2-403) у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

З магістерською науковою роботою можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68-ми Десантників, 10.

Автореферат представлений **«\_\_» лютого 2019 р.**

Секретар  
екзаменаційної комісії,  
к.пед.н., доцент

Н. М. Болубаш

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Ефективність ігрової самоорганізації стратегій МАС вивчали за допомогою функцій середніх програшів, коефіцієнтів координації та норми відхилення динамічних змішаних стратегій від оптимальних значень. Спадання функції середніх програшів і функції відхилення змішаних стратегій, зростання коефіцієнтів координації свідчать про збіжність ігрового методу та входження МАС у режим самоорганізації. Повторення значень характеристик гри у різних експериментах з унікальними послідовностями випадкових величин підтверджує достовірність отриманих результатів.

Згідно з теорією еволюційного розвитку, виокремлення організації (структури та функції) природних систем здійснюється за рахунок процесів їх самоорганізації.

Самоорганізація – це процес, упродовж якого створюється, відтворюється або вдосконалюється організація складної динамічної системи за рахунок внутрішніх факторів, без відповідного зовнішнього впливу [1]. Внутрішні фактори перебудови системи спрямовані на зменшення ентропії, підвищення скоординованості функціонування її складових елементів. Процеси самоорганізації охоплюють різноманітні потоки обміну ресурсами, енергією та інформацією із зовнішнім середовищем.

В основу дослідження процесів самоорганізації систем покладено міждисциплінарний характер та системний підхід. Хоча термін “самоорганізація” використовується у науковій літературі, починаючи з ХХ століття, вивченням принципів самоорганізації займалися відомі філософи і вчені східних та західних наукових шкіл від античних часів до наших днів.

Незважаючи на значний період дослідження та отримані наукові результати, концепція самоорганізації систем все ще у стадії становлення.

**Об’єктом дослідження** цієї роботи є процеси самоорганізації мультиагентних систем в умовах невизначеності, спрямовані на досягнення скоординованої роботи складових елементів мультиагентних систем за рахунок властивостей самонавчання та адаптації, результатом чого є те, що розподілена система елементів функціонує як цілісний злагоджений організм.

**Предметом дослідження** є стохастична ігрова модель самоорганізації мультиагентних систем, яка забезпечує баланс значень платіжних функцій команди гравців та виявляється у досягненні скоординованих стратегій агентів.

**Метою роботи** є побудова ігрової моделі самоорганізації мультиагентних систем для підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності.

Ця мета досягається розв'язуванням таких **задач**:

- розроблення математичної моделі мультиагентної стохастичної гри;
- розроблення самонавчального методу та алгоритму розв'язування стохастичної гри;
- розроблення програмних засобів моделювання стохастичної гри;
- аналіз отриманих результатів та вироблення рекомендацій для їх практичного застосування.

Для досягнення мети необхідно проаналізувати та реалізувати алгоритми:

- колективне вироблення та прийняття рішень;
- забезпечення координації та кооперації у МАС;
- розвідування станів середовища функціонування МАС;
- визначення оптимальної структурної організації МАС;
- розроблення методів і засобів багатоагентного навчання;
- розроблення методів, мов і засобів комунікації агентів;

Перелік питань, що підлягають розробці:

- розроблення математичної моделі мультиагентної стохастичної гри;
- розроблення самонавчального методу та алгоритму розв'язування стохастичної гри; розроблення програмних засобів моделювання стохастичної гри;
- аналіз отриманих результатів та вироблення рекомендацій для їх практичного застосування

**Методом дослідження** є комп'ютерна програма для моделювання задачі.

Четвертий розділ створено на основі статі П.О. Кравця «Ігрова модель самоорганізації мультиагентних систем», яка розглядає основні властивості МАС та зв'язок задачі “імітувати синхронізоване ритмічне світіння колонії комах-світлячків” з МАС. Метою моделювання є визначення умов та механізмів локальної

координації агентів, для самоорганізації МАС. Для цього необхідно розв'язати такі задачі: побудувати модель гри, розробити метод та алгоритм для розв'язування та виконати програмне комп'ютерне моделювання для виявлення координації та самоорганізації МАС.

**Практичними значеннями** виконаної магістерської роботи можна назвати: універсальність розробленого програмного продукту, який легко може бути використаний як базовий для більш потужних проектів, можливість експериментальним шляхом перевірити ефективність роботи стохастичних алгоритмів моделювання кооперативної поведінки в мультиагентних системах.

Результати дипломної роботи Асєєва В.Д. були обговорені під час «XXI Всеукраїнської науково-методичної конференції «Могилянські читання – 2018: Досвід та тенденції суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти (м. Миколаїв, 12-17 листопада 2019р.)», була представлена доповідь «Моделювання поведінки систем штучного інтелекту в умовах конкуренції» та опубліковані в збірнику тези доповіді.

**Публікації.** Асєєв В.Д., Кулаковська І. В. «Моделювання поведінки систем штучного інтелекту в умовах конкуренції» / XXI Всеукраїнській науково-методична конференція «Могилянські читання – 2018: Досвід та тенденції суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти». Миколаїв, 12-17 листопада, 2018 - с. 69.

**Структура магістерської наукової роботи.** Магістерська наукова робота складається із вступу, \_4\_ розділів, висновків, 4 додатків. Загальний обсяг роботи складає \_110\_ сторінки, \_20\_ рисунків, \_\_15\_\_ таблиць та \_\_48\_\_ посилань на літературні джерела.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** подано загальну характеристику досліджуваної теми, обґрунтовано актуальність магістерської наукової роботи, сформульовано мету, завдання досліджень, відзначено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, подано інформацію про апробацію, структуру та обсяг роботи.

**У першому розділі** висвітлена проблема дослідження процесів емерджентності та самоорганізації, їх представлення у вигляді самоорганізації мультиагентних систем. МАС є розподіленими системами штучного інтелекту зі здатністю самонавчання для адаптації до невизначеностей середовища їх функціонування. Під невизначеністю будемо розуміти відсутність або недостатність інформації в системі прийняття рішень, необхідної для одноетапного вибору таких варіантів рішень, які достовірно забезпечують мінімальне чи максимальне значення цільової функції для задач скалярної оптимізації, або балансу значень цільових функцій для задач векторної оптимізації.

Становлення МАС відбулося на основі інтегрування знань в областях колективної поведінки автоматів, штучного інтелекту, технологій “м’яких” обчислень, децентралізованого керування та прийняття рішень, інформаційних та комп’ютерних мереж, паралельного та розподіленого програмування.

**У другому розділі** розглядаються процеси навчання в багатоагентному середовищі. Навчання з підкріпленням використовується для вирішення різних проблем: від процесів у відеоіграх до робототехніки. Використовується в промисловості, як от наприклад, у складних системах охолодження на виробництві. Більшість реалізацій НП побудовані в одноагентних середовищах, де моделювання поведінки інших учасників зазвичай не потрібне.

Найпростіший підхід до навчання в мультиагентних налаштуваннях - це використання агентів, що навчаються незалежно. Це було спробовано з Q-навчання, але на практиці виявилось неефективним. Як буде показано, методи градієнту стратегії для самостійного навчання також не ефективні. Одна з проблем заключається в тому, що стратегії кожного агента змінюються під час навчання, що призводить до нестационарних умов і запобігає наївному використанню досвіду.

Характер взаємодії між агентами може бути або кооперативним, або конкурентним, чи і тим, і тим одночасно. Багато алгоритмів призначені тільки для конкретної природи взаємодії. Найбільш вивченими є кооперативні установки з такими стратегіями, як оптимістичні та гістерезисні оновлення функції Q, які припускаються, що дії інших агентів робляться для покращення колективної

нагороди. Другий підхід заключається в непрямому отриманні співпраці шляхом спільного використання параметрів стратегії. Але для цього потрібні однорідні можливості агента. Ці алгоритми, як правило, не можуть бути застосовані в конкурентних чи змішаних умовах.

По результатам другого розділу обрано до використання мультиагентне розширення марковських процесів прийняття рішень (MDP), що називається марковськими іграми, які частково використовуються в різних проектах і дослідженнях. **Марковська гра** для  $N$  агентів визначається набором станів  $S$ , які описують можливі конфігурації всіх агентів набором дій  $A_1, \dots, A_n$  і набором спостережень  $O_1, \dots, O_n$  для кожного агента. Для вибору дій кожний агент використовує стохастичну стратегію  $\pi_{\theta_i}: O_i \times A_i \rightarrow [0,1]$ , яка породжує наступний стан у відповідності з функцією переходу станів  $T: S \times A_1 \times \dots \times A_n \rightarrow S$ . Кожен агент  $i$  отримує винагороду в залежності від стану і дії агента  $r_i: S \times A_i \rightarrow R$  і отримує особисте спостереження, співвідносне зі станом  $o_i: S \rightarrow O_i$ . Початкові стани визначаються розподіленням  $p: S \rightarrow [0,1]$ . Кожен агент  $i$  прагне максимізувати власний очікуваний прибуток  $R_i = \sum_{t=0}^T \gamma^t r_i^t$ , де  $\gamma$  - коефіцієнт дисконтування, а  $t$  - часовий проміжок.

У третьому розділі проведено порівняння методів дослідження поведінок агентів в мультиагентному середовищі та методи оцінок ефективності вивчення стратегії інших агентів в кооперативному комунікаційному середовищі.

Для виконання експериментів використовуємо обґрунтоване комунікаційне середовище, яке складається з  $N$  агентів і  $L$  віх, що населяють двовимірний світ з безперервним простором і дискретним часом. Агенти можуть здійснювати фізичні дії в середовищі та комунікаційні дії, які передаються іншим агентам. Ми не припускаємо, що всі агенти мають ідентичний простір дій і спостережень, або діють за однією і тією ж стратегією  $\pi$ . Ми також розглядаємо ігри, які є кооперативними (всі агенти повинні максимізувати спільне повернення) і конкурентні (агенти мають протилежні цілі). Деякі середовища вимагають явного зв'язку між агентами для

досягнення найкращої винагороди, тоді як в інших середовищах агенти можуть виконувати тільки фізичні дії. Інформація про кожне середовище приведена нижче.



Рис 1. Ілюстрації експериментального середовища і деякі розглянуті завдання, в тому числі: а) кооперативна комунікація, б) хижак-жертва, в) кооперативна навігація, г) фізичний обман.

У четвертому розділі розробляються принципи функціонування інформаційної системи. Метою роботи є побудова ітераційного методу заохочувального навчання для розв'язування стохастичної гри МАС в умовах невизначеності. Для досягнення мети необхідно розробити модель мультиагентної стохастичної гри, визначити критерії колективної рівноваги, метод та алгоритм розв'язування ігрової задачі.

Для побудови МАС необхідно виконати попередні дослідження на основі адекватних математичних моделей, які дають змогу вивчити динаміку системи в умовах невизначеності, побудувати стратегії поведінки агентів, які забезпечують оптимальні техніко-економічні параметри функціонування системи. Враховуючи особливості предметної області, а саме багатоагентність, невизначеність середовища прийняття рішень, антагонізм або конкурентність цілей, комунікативність, координація дій, адаптивність стратегій поведінки агентів, для побудови моделей МАС використаємо математичний апарат теорії стохастичних ігор. Розв'язування стохастичної гри полягає у пошуку таких стратегій агентів, які максимізують їх виграти так, щоб забезпечити певний колективний баланс інтересів усіх гравців. Шукати оптимальні стратегії гравців в умовах невизначеності будемо за методом заохочувального навчання.



**В п'ятому розділі** проаналізовано і з'ясовано вимоги до приміщення, в якому можуть знаходитись працівники ІТ-сфери. Організовано правильне розташування робочих місць та наведені вимоги про розміщення персональних комп'ютерів і периферійних пристроїв. Встановлені правила безпеки під час роботи з персональними комп'ютерами. Висвітлено питання щодо електробезпеки на робочому місці працівника ІТ-сфери.

**В шостому** розроблена лабораторна робота з дисципліни «Введення в методи паралельного програмування» з етапами її виконання на тему «Паралельні алгоритми матричного множення».

### **Загальні висновки**

В роботі розглянуто актуальну на даний момент тему оптимальних стратегій в мультиагентних ситемах в іграх з кооперативною поведінкою. Метою фахової частини роботи є побудова ігрової моделі самоорганізації мультиагентних систем для підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності. Ця мета досягнута такими етапами: розроблено математичну модель мультиагентної стохастичної гри; розроблено самонавчальний метод та реалізовано алгоритм розв'язування стохастичної гри; розроблено програмний засіб для моделювання стохастичної гри; проаналізовано отримані результати;

Методом дослідження є комп'ютерна програма для моделювання задачі. Метою моделювання є визначення умов та механізмів локальної координації агентів, для самоорганізації МАС. Для цього побудовано математичну модель гри, розроблено метод та алгоритм для розв'язування стохастичної гри-задачі “імітація синхронізованого ритмічного світіння колонії комах-світлячків” та створено програмне комп'ютерне моделювання для виявлення координації та самоорганізації МАС.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Публікації.** Асеев В.Д., Кулаковська І. В. «Моделювання поведінки систем штучного інтелекту в умовах конкуренції» / XXI Всеукраїнській науково-методична конференція «Могилянські читання – 2018: Досвід та тенденції суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти». Миколаїв, 12-17 листопада, 2018 - с. 69.

## АНОТАЦІЯ

до магістерської наукової роботи на тему

**“Моделювання кооперативної поведінки в мультиагентних системах”**

*Студента:* Асєєва Владислава Дмитровича

*Науковий керівник:* к.ф.-м.н., Кулаковська Інесса Василівна

МНР присвячена реалізації ігрової самоорганізації та кооперативної поведінки МАС в умовах невизначеності і є актуальною науково-практичною проблемою, яка інтенсивно досліджується у сучасній науковій літературі за напрямками розподіленого штучного інтелекту та прийняття рішень.

Об'єктом дослідження цієї роботи є процеси самоорганізації мультиагентних систем в умовах невизначеності, спрямовані на досягнення скоординованої роботи складових елементів мультиагентних систем за рахунок властивостей самонавчання та адаптації, результатом чого є те, що розподілена система елементів функціонує як цілісний злагоджений організм.

Предметом дослідження є стохастична ігрова модель самоорганізації мультиагентних систем, яка забезпечує баланс значень платіжних функцій команди гравців та виявляється у досягненні скоординованих стратегій агентів.

Практичними значеннями виконаної магістерської роботи можна назвати: універсальність розробленого програмного продукту, який легко може бути використаний як базовий для більш потужних проектів, можливість експериментальним шляхом перевірити ефективність роботи стохастичних алгоритмів моделювання кооперативної поведінки в мультиагентних системах.

Методом дослідження є комп'ютерна програма для моделювання задачі. Для цього реалізовано математичну модель гри, яка використовує метод та алгоритм для розв'язування стохастичної гри-задачі “імітація синхронізованого ритмічного світіння колонії комах-світлячків” та створено програмне комп'ютерне моделювання для виявлення координації та самоорганізації МАС.

Магістерська робота складається з чотирьох розділів, спеціальної частини з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, методичної частини, додатків.

В цілому робота складається із 110 сторінок, 15 таблиць, 20 рисунків, в тому числі фахова частина складається із 50 сторінок, 6 рисунків.

## **ABSTRACT**

to the master's scientific work on

### **“Modeling Cooperative Behavior in Multi-Agent Systems”**

Student: Asieiev Vladyslav Dmytrovych

Scientific supervisor: Ph.D., Kulakovska Inessa Vasylivna

Masters science work is devoted to the implementation of the game self-organization and cooperative behavior of MAS in conditions of uncertainty and is an actual scientific and practical problem, which is intensively studied in modern scientific literature in the areas of distributed artificial intelligence and decision-making.

The object of research of this work is the processes of self-organization of multiagent systems in uncertainty conditions, aimed at achieving the coordinated work of the constituent elements of multiagent systems due to the properties of self-study and adaptation, which results in the fact that the distributed system of elements functions as a coherent harmonious organism.

The subject of the study is a stochastic game model of the self-organization of multi-agent systems, which provides a balance of the values of payment functions of the team of players and is manifested in the achievement of coordinated strategies of agents.

The practical meanings of the master's work is universality of the developed software product, which can easily be used as the basis for more powerful projects, the ability to experimentally verify the effectiveness of stochastic algorithms for modeling cooperative behavior in multi-agent systems.

The research method is a computer program for modeling a task. To do this, a mathematical model of the game is implemented that uses a method and algorithm for solving a stochastic game-task "simulating a synchronized rhythmic glow of colony of fireflies" and created software computer simulations to detect the coordination and self-organization of MAC.

The master's work consists of four sections, the special part about occupational safety and security in emergencies, methodological part, applications.

In general, the work consists of 110 pages, 15 tables, 20 drawings, including a professional part consisting of 50 pages, 6 figures.