

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-12>

УДК 004.8

Кубрак Юрій Олександрович, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-1122-7580>**Плечистий Дмитро Дмитрович**, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-4803-159X>**Романішин Віктор Васильович**, старш.викладач<https://orcid.org/0000-0002-5212-8116>

Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир, Україна

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Кубрак Ю.О., Плечистий Д.Д., Романішин В.В. Принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту. У статті розкрито принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту. У рамках дослідження розглядаються поняття агента, мультиагентної системи, розглянуто основні види агентних архітектур та узагальнений підхід до побудови розподілених інтелектуальних інформаційних систем з використанням мультиагентних технологій. Наголошено, що проблематика штучних агентів та мультиагентних систем ґрунтується на досягненнях, отриманих у рамках робіт з розподіленого штучного інтелекту, розподіленого вирішення завдань та паралельного штучного інтелекту. Підкреслено, що базовим поняттям, що лежить в основі мультиагентних технологій є поняття агента. Агент визначається, як сутність, яка може сприймати навколишнє середовище за допомогою рецепторів та взаємодіяти з ним, тобто агент – сутність, здатна до сприйняття довкілля у вигляді датчиків, і впливу на довкілля у вигляді виконавчих механізмів. Зазначається, що традиційно архітектури штучних агентів поділяються на три групи: реактивні, деліберативні та гібридні агентні архітектури. Обґрунтовано, що онтологія предметної галузі зазвичай характеризує інтелектуальні властивості агентів, тобто чим точніше і коректніше побудована онтологія з позначеними зв'язками між поняттями, тим повніше агент представляє предметну область, на яку він існує. Окреслено методику проектування мультиагентних систем, яка спирається на принцип розподілу функцій між усіма агентами системи. Така система, за своєю суттю, є сукупністю окремих інтелектуальних систем, кожна з яких вирішує своє завдання відповідно до принципу розподіленого розв'язання задач. Наголошено, що при вирішенні складних завдань за допомогою мультиагентного підходу часто існує необхідність розбиття її на підзавдання, які доручаються окремим агентам. Підкреслено, що багато агентів системи можуть інтерпретувати завдання з різних точок зору, а потім інтегрувати отримані результати. Зазначається, що функціональне розподілення прикладних програм дозволяє усунути безліч недоліків класичних експертних систем.

Ключові слова: штучний інтелект, машинне навчання, мультиагенти, методологія, архітектура, система.

Kubrak Y., Plechystyy D., Romanishyn V. A multi-agent system of artificial intelligence forming principles. The article discloses the principles of forming a multi-agent system of artificial intelligence. Within the framework of the study, the concepts of an agent, a multi-agent system are considered, the main types of agent architectures and a generalized approach to the construction of distributed intelligent information systems using multi-agent technologies are considered. It is emphasized that the problems of artificial agents and multi-agent systems are based on achievements obtained in the framework of works on distributed artificial intelligence, distributed problem solving and parallel artificial intelligence. It is emphasized that the basic concept underlying multi-agent technologies is the concept of an agent. An agent is defined as an entity that can perceive the environment using receptors and interact with it, that is, an agent is an entity capable of perceiving the environment in the form of sensors and influencing the environment in the form of executive mechanisms. It is noted that traditionally the architectures of artificial agents are divided into three groups: reactive, deliberative and hybrid agent architectures. It is substantiated that the ontology of a subject field usually characterizes the intellectual properties of agents, that is, the more accurately and correctly the ontology is built with marked connections between concepts, the more fully the agent represents the subject area for which it exists. The method of designing multi-agent systems is outlined, which is based on the principle of distribution of functions between all agents of the system. Such a system, in its essence, is a set of separate intelligent systems, each of which solves its task according to the principle of distributed problem solving. It is emphasized that when solving complex tasks using a multi-agent approach, there is often a need to divide it into subtasks that are assigned to individual agents. It is emphasized that many agents of the system can interpret tasks from different points of view and then integrate the obtained results. It is noted that the functional distribution of application programs makes it possible to eliminate many shortcomings of classic expert systems.

Key words: artificial intelligence, machine learning, multiagents, methodology, architecture, system

Вступ та постановка проблеми. Класичний централізований підхід, лежить в основі наукових надбань багатьох дослідників штучного інтелекту, роботи яких більш зосереджені на експертних системах або системах, заснованих на знаннях, які походять від інженерії знань. Деякі з проблем, з якими зіткнулися сучасні науковці та практичні діячі, полягали в обмеженому контексті застосування, труднощах моделювання контексту розумного проектування, і труднощах обміну знаннями з подібними суб'єктами, тобто співпраці. На початку формування наукової думки, у межах окресленого дослідження, розподілені підходи, розширювалися і розширювали можливості класичних ізольованих і централізованих систем. В умовах сьогодення, проектування та розробка таких взаємодіючих систем стикається з кількома проблемами, наприклад, як

змоделювати знання для обміну між декількома об'єктами, як ефективно координувати розподілені об'єкти та як досягти вищої ефективності у порівнянні з централізованими системами.

Робоча область у спільноті штучного інтелекту була названа розподіленим штучним інтелектом і розглядала кілька підходів до моделювання та вирішення складних проблем у штучному інтелекті, що включають міркування, планування, навчання тощо. Умови застосування методів розподіленого штучного інтелекту демонструють такі характеристики, як великі вибірки даних, розподілені системи та/або слабо зв'язну автономну обробку даних. Розподілене вирішення проблем і мультиагентні системи є двома основними підходами в роботі штучного інтелекту.

З одного боку, методи розподіленого вирішення проблем розподіляють завдання між набором вузлів. Його головними проблемами є декомпозиція завдань, синтез знань і те, як забезпечити глобальне ефективне рішення. З іншого боку, в мультиагентних системах агенти забезпечують більш гнучкий і автономний підхід до координації своїх знань і дій, щоб моделювати проблему, яку потрібно вирішити, і це може включати співпрацю або конкуренцію між різними групами агентів.

Мультиагентні системи стають чудовим підходом до моделювання та імітації складних систем, оскільки вони можуть застосовувати традиційний підхід штучного інтелекту зверху вниз, а також підхід знизу вгору, стаючи хорошим засобом для появи нових властивостей системи, які є одними з основних характеристик складних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки з'являється все більше робіт, в яких описуються механізми та принципи застосування машинного навчання та штучного інтелекту у рамках інтелектуальних систем та систем розподіленої дії.

У [1] проведено дослідження теоретико-методологічних засад та практичних рекомендацій з питань ефективного управління інформаційними ресурсами підприємства в режимі реального часу. Наведено модель мультиагентної системи управління інформаційними ресурсами у реальному часі.

М. Ю. Сорока [2] розробив модель мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи яка забезпечує ідентифікацію ситуації в підсистемі підготовки і прийняття рішень, що виконує передачу управління на відповідний рівень ієрархії системи поведінки інтелектуального агента. Наведена математична модель інтелектуального агента в якій враховано можливість здійснення впливу на зовнішнє середовище. Особливістю розробленої структури мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи є використання моделі поведінки інтелектуальних агентів, що забезпечують змінну поведінку і можливість рішення задач підготовки і прийняття рішень своїх подальших дій за допомогою різних моделей поведінки.

Методи та системи штучного інтелекту детально представлені на сторінках [3]. У рамках дослідження розглянуті питання щодо методів та систем штучного інтелекту, проектування, розробки і застосування систем, призначених для обробки інформації, які базуються на застосування методів штучного інтелекту та суміжних з ним інтелектуальних систем.

В. П. Волков, В. М. Павленко та В. П. Кужель [4] сформуливали аналітичне дослідження агентного підходу як складового елемента мультиагентної системи, яка відрізняє її від інших систем штучним інтелектом агентів, з метою підвищення контролю технічного стану транспортних засобів.

Застосування мультиагентних технологій і систем у сфері публічного управління досліджено на сторінках [5]. Дане дослідження дозволить значно збільшити ефективність публічного управління, перш за все за рахунок збільшення простору винайдення рішень та зменшення ролі людського фактору. До інтелекту людини має бути додано ще й інтелект агента, який здатен використовувати "старі" і будувати "нові" знання для виконання встановленого завдання в заздалегідь невідомих йому ситуаціях і проблемних галузях, де цей агент застосовується як активний виконавець завдань та є окремим елементом системи інтелектуальної підтримки прийняття рішення на основі технологій штучного інтелекту і мультиагентних систем.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Idri, Abdelfettah & Boulmakoul, Azedine [6], Silva, Jesus & Lezama, Omar & Varela, Noel [7], Leppänen, Teemu [8], Sante Dino Faccini [9], Yin, H. & Liu, L. & Zhong, Y. [10], Mathur, Sumeet & Singh, Yashpal & Syed, Habeebullah Hussaini [11], Grzonka, Daniel & Jakóbi, Agnieszka & Kołodziej, Joanna & Pllana, Sabri [12], Giret, A. & Botti, V. [13], Banerjee, Indradip & Bhattacharyya, Siddhartha [14], Amirkhani, Abdollah & Barshooi, Amir [15], Yinshuang Sun, Zhijian Ji, Yungang Liu, Chong Lin [16], Bezborodova, O.E. [17], Beutner, Raven & Finkbeiner, Bernd [18] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання розкриття принципів формування мультиагентної системи штучного інтелекту залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту

Виклад основного матеріалу. Генезис поняття мультиагентна система сягає 70-х років ХХ століття, так В. Лессер та Л. Ерман [19] здійснили прорив у сфері інформаційних технологій запропонувавши поєднання окремих систем у єдину для виконання складних задач, таке рішення здатне більш ефективно реалізувати поставлене завдання.

Сучасні мультиагентні системи поділяються за мобільністю на статичні та мобільні, за принципом міркування на колективні та реактивні, за виконуваними завданнями на інформаційні та системи управління, за основними якостями на автономні, навчання та співпрацюючі. Також зустрічаються гібридні мультиагентні системи, які поєднують кілька функцій у одну систему.

Застосування мультиагентних систем вельми широке від соціальних сфер, пошуку інформації, віртуальної реальності, робототехніки до штучного інтелекту та біологічної симуляції.

Мультиагентні системи за своєю структурою є частиною розподіленого штучного інтелекту, метою яких є вирішення складних завдань чи моделювання фізичних чи віртуальних моделей. Неприпустимо сприймати агентів як ізольовані сутності, їх варто розглядати по відношенню до інших агентів, сутностей або людей, з якими вони спілкуються. Можливість розглядати кілька автономних агентів мультиагентної системи дуже підходить для складних і розподілених завдань, можливо, включаючи складну динаміку, які дуже важко вирішити за допомогою класичних об'єктів, що централізовано програмуються.

У якості розподіленого підходу мультиагентна система зазвичай має такі характеристики, як:

- різноманітність агентів за навичками, даними та здібностями до дії та взаємодії;
- спільна мета реалізації кінцевого рішення;
- розподіленість завдань, вся система повинна мати можливість розділити завдання, які повинні виконувати агенти з урахуванням їх здібностей та можливостей обробки.

Кожен агент у системі має обмежене уявлення про проблему в цілому, про навколишнє середовище та можливості інших агентів. Іноді це згадується як наявність у агентів обмежених ресурсів (обмежена раціональність, час обчислень, обсяг пам'яті тощо), які вони повинні об'єднати, щоб вирішити проблему загалом. З цієї точки зору виникає необхідність описати або налаштувати умови та глобальну архітектуру, де має працювати мультиагентна система, що зазвичай передбачає спілкування між агентами, їхню співпрацю чи конкуренцію.

Опортуністичний характер периферійних обчислювальних систем виправдовує розподілені підходи штучного інтелекту. Централізована оркестровка та управління, не кажучи вже про оптимізацію, потребує великої кількості різних джерел даних і складних алгоритмів для аналізу зібраних великомасштабних даних. Такі централізовані алгоритми було б важко проектувати, розробляти, розгортати, підтримувати та оцінювати з огляду на динамічність системи. Виконання розподіленої та розділеної периферійної інформаційної системи добре узгоджено із загальними властивостями та можливостями парадигми програмного агента та встановлених методологій для загальної мультиагентної системи. Агенти надають засоби для розповсюдження аналізу даних, що стосуються конкретної програми, а також для вилучення й обміну відповідною контекстно-залежною інформацією. Крім того, для мультиагентних систем розроблено добре відомі методи та протоколи для взаємозв'язку компонентів на основі агентів, співпраці, кооперації та конкуренції.

Мета бездоганної роботи та реалізації мультиагентної системи штучного інтелекту полягає в тому, щоб програми були в потрібному місці в потрібний момент, щоб покращити якість реалізації для користувачів і доступність розподілених системних ресурсів. Головне – зробити систему контекстно-зрозумілою та менш непередбачуваною. На системному рівні виклики у рамках мультиагентної системи створюють численні додатки з динамічно змінюваними контекстними складовими, які конкурують за ті самі ресурси.

Фундаментальними проблемами в оркестровці мультиагентної системи штучного інтелекту є:

- прийняття рішень щодо структуризації додатків і розподілу для мінімізації використання ресурсів;
- ефективний розподіл ресурсів у межах платформи;

– мобільність витрат на керування та мінімізація міграції програм на загальній магістралі виконання.

На мережевому рівні мультиагентна система штучного інтелекту є додатковою технологією до архітектури програмно визначеної мережі, яка повторно використовує ту саму мережеву інфраструктуру. Загальна архітектура базової моделі передбачає мережеві контролери на основі програмних агентів.



Рис. 1. Мультиагентна система штучного інтелекту

Мультиагентна система штучного інтелекту (рисунок 1) представлено як набір автономних і слабозв'язаних мікросервісів [15] на основі контейнерів. Функціональність контейнерної програми можна розділити та легко розподілити в системі, оскільки кожен мікросервіс може бути розроблений різними зацікавленими сторонами за допомогою різних технологій і розгорнутий незалежно. Кожен окремий мікросервіс можна розглядати як агентів. Стандартизованим механізмом взаємодії в мультиагентній системі штучного інтелекту є принципи архітектури Representational State Transfer (REST).

У REST основною абстракцією є ресурс, якому присвоєно назву та унікальний ідентифікатор та адресу. Ресурс має представлення його поточної вартості, REST надає простий інтерфейс для доступу та керування ресурсом. Взаємодії на основі REST відповідають моделі клієнт/сервер, як у сучасному Інтернеті. Тому очікується, що агенти будуть дотримуватись парадигми REST у своїй взаємодії з компонентами системи.

Ключові показники ефективності, визначені у перспективній направленості мультиагентної системи, надають агентам загальносистемну інформацію для планування, оцінки та вдосконалення своєї поведінки щодо індивідуальних і загальних цілей у відповідності до очікуваної роботи системи. Однак варто припустити, що всі компоненти мультиагентної системи повинні бути розроблені як програмні агенти. А можливості агентів використовуються скрізь, де зацікавлені сторони вважають розподілений штучний інтелект корисним.

Програмні агенти мають здатність до реактивної та адаптивної поведінки, міркування та планування щодо своїх індивідуальних цілей, оцінки своєї поведінки та навчання демонстрації проактивної поведінки. Поведінка агента виводиться зі специфікацій мультиагентної системи на основі ролі агента в представленні конкретного компонента системи.

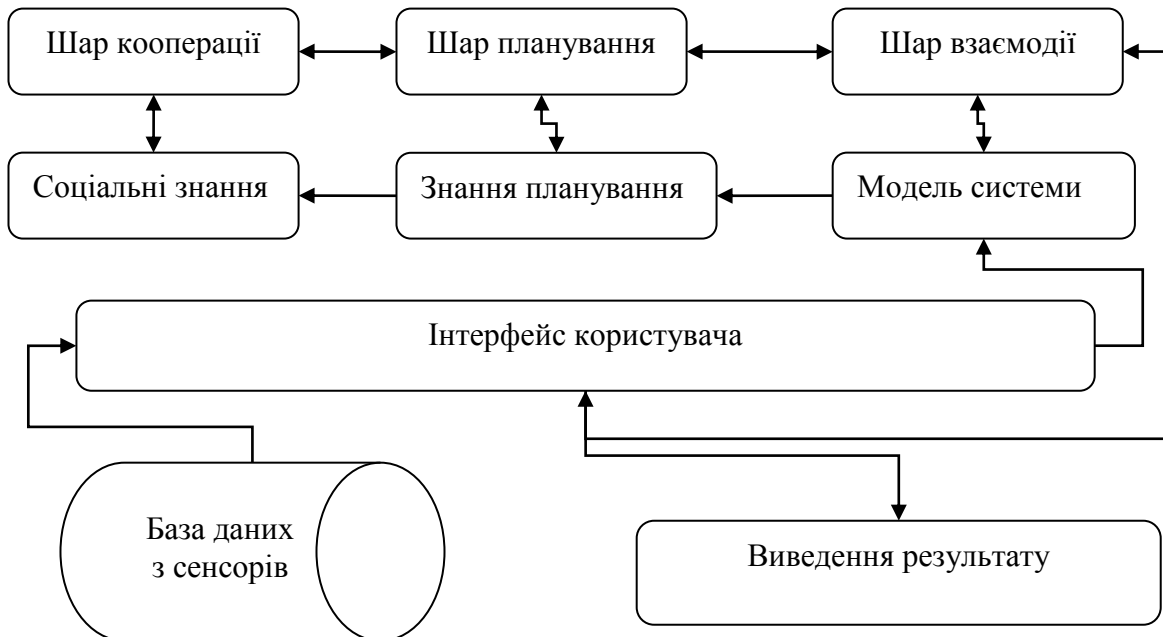


Рис. 2. Архітектура окремого агента мультиагентної системи штучного інтелекту

Після авторизації агенти керування програмами створюють і/або підтримують контексти програми. Тут для агентів корисно спільно оцінювати запити та контексти додатків, наприклад якщо кілька користувачів отримують доступ до однієї програми або кілька програм доступні одному користувачу. У такому випадку агенти можуть діяти як представники агрегованих запитів на стороні системи, зберігаючи контексти, надані користувачами, і функціонуючи як проміжна ланка між елементами системи. Такий агент зменшує потребу в синхронних з'єднаннях із користувацьким додатком і далі працює як інтелектуальний проксі-сервер у сприятливому середовищі.

Для програми обслуговування або надання послуг угода про рівень обслуговування і платіжні агенти представляють постачальників послуг, які разом із клієнтськими агентами та агентами керування програмами укладають угоди щодо використання ними послуг. Перевагою, порівняно з не агентськими підходами, є можливість використовувати добре відомі протоколи взаємодії. Тоді постачальників послуг можна було б легко абстрагувати як брокерів у таких сценаріях.

Роль єдиного простору взаємодії полягає в обробці запиту від агентів керування програмами та авторизації контекстів програми для розгортання. Це виконується агентами автентифікації додатків, які спільно та з агентами керування оцінюють багатокористувацькі або багатопрограмні запити та вимоги в контекстах. Це корисно для зменшення повторюваних і дублюючих запитів від різних зацікавлених сторін. Агенти керування додатками перевіряють раціональність контекстів у співпраці з агентом мережевого оператора, який представляє ресурси мобільної мережі, наприклад політики оператора та розташування хост-сайтів. У найкращому випадку співпраця агентів призводить до розгортання, де агенти можуть проактивно розробляти спільні плани щодо забезпечення функціональності програм. Машинне навчання на основі агентів можна використовувати для подальшої оцінки та оптимізації планів за допомогою інформації про продуктивність, отриманої від мультиагентної системи. Агенти спів взаємодії та агенти керування програмами можуть бути внутрішньо організовані як окрема ланка мультиагентної системи штучного інтелекту.

Окреслена ланка є найскладнішим компонентом у системі. Специфікації дозволяють вважати її розподіленим компонентом. Агент управління системою – має повноваження приймати рішення на системному рівні щодо життєвого циклу програми, керувати ланками і використовувати системні ресурси з урахуванням необхідних ключових показників ефективності.

Агент управління системою має містити всю інформацію про систему, як зазначено в специфікаціях. Однак інформація має розподілятися відповідно до ролей агентів у системі, причому кожен агент надає власну уточнену контекстно-залежну інформацію для прийняття рішень. Саме тут агентна парадигма демонструє свої сильні сторони, оскільки для мультиагентної системи загалом доступна низка стратегій організації, планування, оркестровки та навчання. Таким чином, архітектура управління мультиагентною системою є ієрархічною та гібридною, що складається з суб-агентів та агентів із різними ролями. Через внутрішню складність вивчення мультиагентна система є об'єднаним зусиллям, де для оптимізації підсистем впроваджують машинне навчання на основі агента з обмеженими цілями. Агент керування програмами керує життєвим циклом програм на рівні системи. Агент моніторингу ресурсів підтримує загальне уявлення про продуктивність системи та використання ресурсів, розгорнуті пакети програм і логічні топології мережі. Агент керування програмами та агент моніторингу ресурсів можуть бути розроблені різними способами, наприклад на основі агентів, специфічних для програми, агентів, специфічних для платформи чи хоста, або агентів, специфічних для типу ресурсу.

Мультиагентні системи і пов'язані з ними моделі обробки і зв'язку стали відмінними інструментами для моделювання та імітації складності в науці. Наприклад, вони використовувалися для аналізу зовнішніх властивостей, таких як глобальні структури. У той же час агенти мультиагентної системи можуть співпрацювати з іншими, за для створення більш крупних коаліцій. Всі ці ідеї разом із властивостями агрегацій (складу) і спеціалізації (наслідування) мультиагентної системи дуже цікаві для аналізу і розуміння природних систем з наукової точки зору, а для створення нових ефективних – з інженерної.

Висновки. У роботі розкрито принципи формування мультиагентної системи штучного інтелекту. Інтелектуальні агенти були предметом багатьох розробок за останнє десятиліття, особливо в області аналізу операцій, де потрібно моделювання розумних інтелектуальних компонентів і компонентів, що приймають рішення. Завдяки таким властивостям програмного агента, як автономність, реактивність, адаптивність, співпраця, навчання та проактивність, такий інтелект може бути вбудований у компоненти системи. Проведене дослідження продемонструвало, як існуючу структуру агента можна бездоганно інтегрувати в мультиагентну систему штучного інтелекту за допомогою принципів архітектури REST. Можливості програмного агента сприяють майбутнім периферійним обчисленням з розширеним штучним інтелектом.

Список бібліографічного опису

1. Огневий, О.В. Методи створення мультиагентних систем управління інформаційними ресурсами у реальному часі / О. В. Огневий, М. В. Заворотний, А. М. Огнева // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – №4. – С. 106-110.
2. Сорока, М. Ю. Методи побудови мультиагентного середовища інтелектуальної навчальної системи підготовки диспетчерів управління повітряним рухом : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.13 / Михайло Юрійович Сорока ; Льотна академія Національного авіаційного університету МОН України. – Кропивницький, 2020. – 219 с.
3. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посіб. / укл. Д.В. Лубко, С.В. Шаров. – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. – 264 с.
4. Волков В.П., Павленко В. М., Кужель В.П. Дослідження агентного підходу контролю технічного стану транспортних засобів. Вісник Машинобудування та транспорту. №2(10), Вінниця, 2019. – С. 89 – 97. DOI <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-9-1-89-97>.
5. Мельников О. Ф. Застосування мультиагентних систем у публічному управлінні / І. В. Кобзев, О. Ф. Мельников, О. В. Орлов // Теорія та практика державного управління: зб. наук. пр. – Харків: Вид-во ХарПІ НАДУ "Magistr", 2020. – Вип. 3(70). – С. 8–15.
6. Idri, Abdelfettah & Boulmakoul, Azedine. (2020). A survey on Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems.
7. Silva, Jesus & Lezama, Omar & Varela, Noel. (2020). Competitions of Multi-agent Systems for Teaching Artificial Intelligence. 10.1007/978-3-030-33846-6_98.
8. Leppänen, Teemu. (2019). Distributed Artificial Intelligence with Multi-Agent Systems for MEC. 10.1109/ICCCN.2019.8846960.
9. Sante Dino Faccini (2022). Decentralized Autonomous Organizations and Multi-agent Systems for Artificial Intelligence Applications and Data Analysis. 5817-5818. 10.24963/ijcai.2022/824.
10. Yin, H. & Liu, L. & Zhong, Y. (2017). Research on a distributed artificial intelligence and multi-agent system. Agro Food Industry Hi-Tech. 28. 2122-2126.
11. Mathur, Sumeet & Singh, Yashpal & Syed, Habeebullah Hussaini. (2019). Self-organized multi agent system in artificial intelligence negotiation techniques and its applications: a study. SSRN Electronic Journal. 7. 1-8.
12. Grzonka, Daniel & Jakóbiak, Agnieszka & Kołodziej, Joanna & Pllana, Sabri. (2017). Using a multi-agent system and artificial intelligence for monitoring and improving the cloud performance and security. Future Generation Computer Systems. 86. 10.1016/j.future.2017.05.046.

13. Giret, A. & Botti, V. (2022). Multi Agent Systems of Multi Agent Systems.
14. Banerjee, Indradip & Bhattacharyya, Siddhartha. (2022). Introduction to Multi-agent Systems. 10.1007/978-981-19-0493-6_1.
15. Amirkhani, Abdollah & Barshooi, Amir. (2022). Consensus in multi-agent systems: a review. *Artificial Intelligence Review*. 55. 1-39. 10.1007/s10462-021-10097-x.
16. Yinshuang Sun, Zhijian Ji, Yungang Liu, Chong Lin (2022). On stabilizability of multi-agent systems. *Automatica*. 144. 110491. 10.1016/j.automatica.2022.110491.
17. Bezborodova, O.E.. (2022). HIERARCHICAL STRUCTURE OF A MULTI-AGENT SYSTEM. *Measuring. Monitoring. Management. Control*. 10.21685/2307-5538-2022-2-4.
18. Beutner, Raven & Finkbeiner, Bernd. (2022). A Logic for Hyperproperties in Multi-Agent Systems.
19. Erman, L.D., Lesser V.R: (1975) A multi-level organization for problem solving using many diverse cooperating sources of knowledge. *Advanced papers of the fourth IJCAI*. Tbilisi, Georgia (URSS).

References

1. Ognevy, O.V. Methods of creating multi-agent systems for managing information resources in real time / O. V. Ognevy, M. V. Zavorotny, A. M. Ogneva // *Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. – 2019. – No. 4. – P. 106-110.
2. Soroka, M. Yu. Methods of building a multi-agent environment of an intelligent training system for air traffic control dispatchers: diss. ...candidate technical Sciences: 05.22.13 / Mykhailo Yuriyovych Soroka; Flight Academy of the National Aviation University of the Ministry of Education and Culture of Ukraine. – Kropyvnytskyi, 2020. – 219 p.
3. Methods and systems of artificial intelligence: education. manual / incl. D.V. Lubko, S.V. Sharov. – Melitopol: FOP Odnorog T.V., 2019. – 264 p.
4. Volkov V.P., Pavlenko V.M., Kuzhel V.P. A study of the agent approach to control the technical condition of vehicles. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*. No. 2(10), Vinnytsia, 2019. - pp. 89 - 97. DOI <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2019-9-1-89-97>.
5. O. F. Melnikov Application of multi-agent systems in public administration / I. V. Kobzev, O. F. Melnikov, O. V. Orlov // *Theory and practice of public administration: coll. of science pr.* - Kharkiv: "Master's" Publishing House of HarRI NADU, 2020. - Iss. 3(70). – pp. 8–15.
6. Idri, Abdelfettah & Boulmakoul, Azedine. (2020). A survey on Distributed Artificial Intelligence and Multi-Agent Systems.
7. Silva, Jesus & Lezama, Omar & Varela, Noel. (2020). Competitions of Multi-agent Systems for Teaching Artificial Intelligence. 10.1007/978-3-030-33846-6_98.
8. Leppänen, Teemu. (2019). Distributed Artificial Intelligence with Multi-Agent Systems for MEC. 10.1109/ICCCN.2019.8846960.
9. Sante Dino Faccini (2022). Decentralized Autonomous Organizations and Multi-agent Systems for Artificial Intelligence Applications and Data Analysis. 5817-5818. 10.24963/ijcai.2022/824.
10. Yin, H. & Liu, L. & Zhong, Y. (2017). Research on a distributed artificial intelligence and multi-agent system. *Agro Food Industry Hi-Tech*. 28. 2122-2126.
11. Mathur, Sumeet & Singh, Yashpal & Syed, Habeebullah Hussaini. (2019). Self-organized multi-agent system in artificial intelligence negotiation techniques and its applications: a study. *SSRN Electronic Journal*. 7. 1-8.
12. Grzonka, Daniel & Jakóbk, Agnieszka & Kołodziej, Joanna & Pllana, Sabri. (2017). Using a multi-agent system and artificial intelligence for monitoring and improving the cloud performance and security. *Future Generation Computer Systems*. 86. 10.1016/j.future.2017.05.046.
13. Giret, A. & Botti, V. (2022). Multi Agent Systems of Multi Agent Systems.
14. Banerjee, Indradip & Bhattacharyya, Siddhartha. (2022). Introduction to Multi-agent Systems. 10.1007/978-981-19-0493-6_1.
15. Amirkhani, Abdollah & Barshooi, Amir. (2022). Consensus in multi-agent systems: a review. *Artificial Intelligence Review*. 55. 1-39. 10.1007/s10462-021-10097-x.
16. Yinshuang Sun, Zhijian Ji, Yungang Liu, Chong Lin (2022). On stability of multi-agent systems. *Automatica*. 144. 110491. 10.1016/j.automatica.2022.110491.
17. Bezborodova, O.E.. (2022). HIERARCHICAL STRUCTURE OF A MULTI-AGENT SYSTEM. *Measuring. Monitoring. Management. Control*. 10.21685/2307-5538-2022-2-4.
18. Beutner, Raven & Finkbeiner, Bernd. (2022). A Logic for Hyperproperties in Multi-Agent Systems.
19. Erman, L.D., Lesser V.R: (1975) A multi-level organization for problem solving using many diverse cooperating sources of knowledge. *Advanced papers of the fourth IJCAI*. Tbilisi, Georgia (USSR).