
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 004.896:57.063

А.Л. Яловець, д-р техн. наук
Ін-т програмних систем НАН України
(Україна, 03187, Київ, пр. Академіка Глушкова, 40, корп. 5,
e-mail: yal@isofts.kiev.ua)

Про таксономію автономних агентів

Досліджено проблему побудови таксономії автономних агентів. Проаналізовано найвідомішу в світі таксономію автономних агентів, запропоновану С. Франкліном та А. Грайссером, в якій виявлено суперечності. По результатах виконаного аналізу запропоновано нову таксономію автономних агентів, яка є природною класифікацією автономних агентів відповідно до сучасного стану їх досліджень в світі. Наведено визначення основних класів агентів, що входять до складу таксономії. Виконано порівняння трьох основних класів комп'ютерних агентів та визначено головні розбіжності між ними.

К л ю ч о в і с л о в а : таксономія, класифікація, автономні агенти, програмні агенти, агенти моделювання, агенти імітаційного моделювання.

Исследована проблема построения таксономии автономных агентов. Дан анализ наиболее известной в мире таксономии автономных агентов, предложенной С. Франклином и А. Грайссером, и выявлены противоречия в ней. По результатам выполненного анализа предложена новая таксономия автономных агентов, являющаяся естественной классификацией автономных агентов соответственно современному состоянию их исследования в мире. Приведены определения основных классов агентов, входящих в состав таксономии. Выполнено сравнение трех основных классов компьютерных агентов и определены главные различия между ними.

К л ю ч е в ы е с л о в а : таксономия, классификация, автономные агенты, программные агенты, агенты моделирования, агенты имитационного моделирования.

В роботах [1—6] викладено основні результати наукових досліджень щодо мультиагентного моделювання процесів переслідування/утікання на площині, на основі яких створено мультиагентну систему «Навігація» [7, 8]. Система «Навігація» призначена для моделювання поведінки множини інтелектуальних агентів у динамічному навколишньому середовищі. Під динамічним навколишнім середовищем мається на увазі ділянка морського кордону, в межах якої протидіють два класи кораблів: кораблі-порушники (утікачі) та кораблі берегової охорони (переслідувачі). Відповідно до цього було розглянуто два класи антагоністичних агентів (агенти-утікачі та агенти-переслідувачі), які протидіють у динамічному навколишньому сере-

© А.Л. Яловець, 2018

довищі. Спроба визначити клас цих агентів на основі відомих таксономій агентів [9—11], не дала позитивних результатів, оскільки агенти, що розглядалися, не подані в жодній із них. Зазначимо, що агенти такого ж класу розглядаються і в публікаціях інших авторів (наприклад, [12—23]). Необхідність вирішення питань класифікації таких агентів спонукала запропонувати нову таксономію автономних агентів. Перед тим, як перейти до формування такої таксономії, необхідно дати визначення поняттю «агент».

Визначення агентів та їх основні властивості. До основних властивостей агентів належать зокрема наступні [24—26]:

агент — це окрема, модульна та унікально ідентифікована сутність;

агент є автономним та самокерованим, тобто спроможним автономно функціонувати в навколишньому середовищі та взаємодіяти з іншими агентами;

агент може мати соціальні спроможності, які полягають в тому, що він може динамічно «спілкуватись» з іншими агентами, які впливають на його поведінку;

агент може бути реактивним, тобто спроможним сприймати навколишнє середовище і своєчасно реагувати на його зміни;

агент може бути проактивним, тобто спроможним брати на себе ініціативу для досягнення своєї мети;

агент може бути гнучким, тобто може мати множину способів досягнення своєї мети та бути спроможним відновлюватись після відмови;

агент може бути кооперативним, тобто здатним координувати свої дії з діями інших агентів для досягнення загальної мети;

агент може бути мобільним, тобто спроможним рухатись в навколишньому середовищі для досягнення своєї мети.

Наявність широкого кола таких властивостей призводить до ускладнень при формулюванні визначення агента, тобто надати визначення, яке враховувало б всі властивості та одночасно було б коректним для будь-якого довільного агента, є просто неможливим. В той же час, в літературі [27—30] найчастіше наводиться визначення агента, дане в [31].

Визначення 1. Агент — це комп'ютерна система, розташована в деякому навколишньому середовищі та спроможна до автономних дій в ньому для того, щоб забезпечити досягнення закладених в неї цілей.

Очевидно, що це визначення не є загальним, оскільки стосується тільки окремого класу агентів (наприклад, воно не поширюється на клас агентів-людей). Для подальших досліджень важливо дати більш загальне визначення поняття «агент», яке б розповсюджувалось на всі відомі класи агентів. Для цього будемо спиратись на поняття «сутність». Під сутністю

будемо розуміти дещо, що має незалежне та окремо ідентифіковане існування, як предмет або об'єкт, дійсне або потенційне, конкретне або абстрактне, фізичне або ні [32, 33]. Виходячи з цього, сутністю може бути як біологічний або небіологічний об'єкт чи їх абстракція, так і програмний додаток або робот. Зазначимо, що підхід до визначення агента через поняття «сутність» не є новим. Наприклад, М. Вулдрідж в [34] зазначає: «Під терміном «агент» я маю на увазі сутність, що впливає на середовище, в якому вона мешкає».

Отже, узагальнимо визначення поняття «агент».

Визначення 2. Агент — це сутність, розташована в деякому навколишньому середовищі та спроможна до автономних дій в ньому для того, щоб забезпечити досягнення закладених в неї цілей.

Незважаючи на загальність цього визначення, воно дозволяє віддзеркалити найбільш визначальні та невід'ємні властивості агентів: автономність та обов'язковість їх розташування в деякому навколишньому середовищі.

Автономність є фундаментальною властивістю агентів. Аналізу її різнобічних аспектів присвячено багато теоретичних досліджень [35—37]. Під автономністю [27—29, 38] слід розуміти здатність агентів діяти самостійно та приймати власні рішення, без зовнішнього керування з боку людей або інших систем. Це, зокрема, означає [27], що агенти мають контроль як над власним внутрішнім станом, так і над своєю поведінкою. Як зазначено в [39], існує два основних аспекти автономності агента: спроможність бути динамічним (динамічна автономія) та спроможність приймати рішення (автономія прийняття рішень).

Під динамічною автономією мається на увазі спроможність агента реагувати на події, що відбуваються в навколишньому середовищі. Цей аспект автономії може варіюватися від пасивного у своїх діях агента до активного (проактивного). Внаслідок впливу подій агент може динамічно змінювати свою поведінку, виявляючи властивості реактивності або проактивності. При цьому агент може одночасно взаємодіяти з декількома іншими агентами, тим самим збільшуючи динамічний характер своїх дій. В процесі реагування на різного роду події агент самостійно вирішує, коли починати діяти. В цьому і полягає сутність його динамічної автономії.

Під автономією прийняття рішень мається на увазі спроможність агента самостійно обирати, яку саме дію виконувати в наступний момент часу. Цей аспект автономії агента варіюється за ступенем складності рішень, які ним приймаються: від простих до складних. Прості рішення відповідають ситуаціям, коли агент не відчуває впливу зовнішніх факторів на його процес прийняття рішень, а враховує для цього тільки свої поточні власні цілі та стан. Складні рішення відповідають ситуаціям, коли агент має

враховувати не тільки власні поточні цілі та стан, а також вплив дій інших агентів і інформації, що надходить в процесі комунікацій з іншими агентами, та, можливо, свої попередні стани, що загалом може призвести до зміни цілей агента та характеру його подальших дій.

Вважається, що агент є повністю автономним тоді, коли він одночасно автономний у двох вищезгаданих аспектах: має властивість проактивності та здатен приймати складні рішення [39]. В свою чергу, навколишнє середовище та його властивості вважаються не менш важливими для досліджень, ніж самі агенти [40]. Це пов'язано з тим, що мультиагентна система включає множину агентів, для кожного з яких [41] навколишнє середовище виступає у якості «зовнішнього світу». В межах цього середовища діють та взаємодіють агенти, воно є простором для координації дій та комунікації агентів, для створення їх організаційних структур та вирішення поточних задач. Класифікацію властивостей навколишнього середовища наведено в [42].

Загальні відомості про побудову таксономії. Визначення 2 є достатньо загальним і дозволяє віднести до агентів досить багато різних за ознаками сутностей. Для уникнення можливих непорозумінь необхідно систематизувати агентів та виконати їх класифікацію, що дозволить чітко визначати, які сутності відносяться до того чи іншого класу агентів.

Для здійснення такої систематизації традиційно використовується таксономія. Таксономія [43] (грец. taxis — розташування за порядком, nomos — закон) — це підрозділ систематики, в якому розглядаються ієрархії, де таксони (в якості яких виступають множини або класи) зв'язані відношенням підпорядкування; ієрархічні зв'язки таксонів формалізуються за допомогою відношення включення $X \subset Y$ (таксономічна інтерпретація: таксон X є частиною таксона Y ; це означає, що будь-який елемент таксона X є одночасно елементом таксона Y , зворотне не вірно).

В прикладному плані під таксономією розуміють деревоподібну структуру класифікацій для досліджуваної множини об'єктів [44]. Вгорі цієї структури — об'єднуюча єдина класифікація (кореневий таксон), яка відноситься до всіх об'єктів даної таксономії. Таксони, що знаходяться нижче кореневого, є більш конкретними класифікаціями, які відносяться до підмножин множини всіх об'єктів, що класифікуються.

При створенні класифікації (лат. classis — розряд, facere — робити) [45, 46] виконується логічний поділ обсягу поняття (таксономічний поділ) як операція розбиття обсягу родового поняття на підкласи, що являють собою види об'єктів, які мисляться у понятті (таксони). Таксономічний поділ може виконуватись або за основою (видоутворюючою ознакою), або за дихотомією (коли обсяг родового поняття поділяється на обсяги суперечних одне одному (контрадикторних) видових понять).

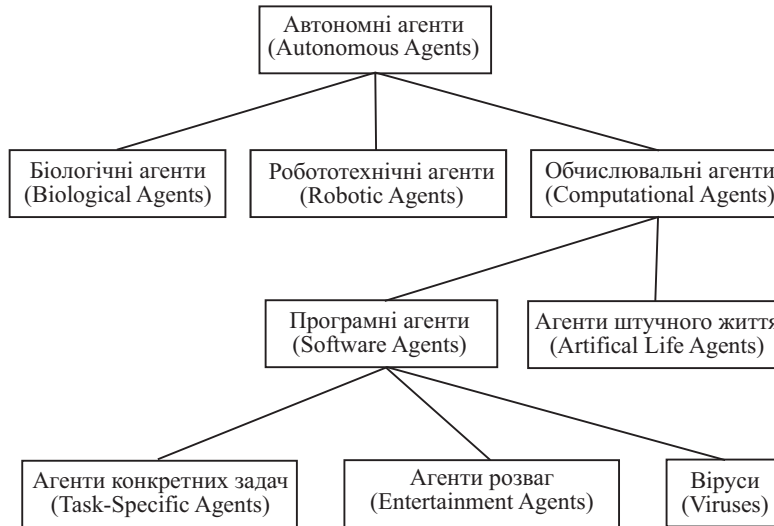


Рис. 1. Таксономія автономних агентів С. Франкліна та А. Грайссера [9]

Зазначимо, що при здійсненні таксономічного поділу необхідно виконувати наступні правила [45]:

- 1) в одній класифікації має бути використана одна основа поділу;
- 2) обсяг членів класифікації має дорівнювати обсягу класу, що класифікується;
- 3) члени класифікації мають взаємно виключати один одного;
- 4) розподіл на підкласи має бути безперервним (тобто не повинно бути «стрибків у поділі»).

Розрізняють два види класифікацій — природні та штучні, які відрізняються за характером основ, що використовуються в операціях поділу [46]. Якщо у якості основ поділу взято суттєві ознаки об'єктів, то така класифікація є природною, якщо несуттєві — то штучною.

Критичний аналіз існуючої таксономії автономних агентів. В [44, 47] підкреслено, що різні погляди на агентів призвели до виникнення різних таксономій агентів (наприклад, [9—11]), які не узгоджені між собою та є внутрішньо суперечними, що призводить до протиріч при їх тлумаченні. Проаналізуємо найбільш відому таксономію агентів — таксономію С. Франкліна і А. Грайссера [9] (рис. 1). Автори цієї таксономії також називають її природною класифікацією автономних агентів, але зауважують, що вона не є вичерпною.

Як впливає з рис. 1, в таксономії автономні агенти поділяються на біологічних (люди, тварини тощо), робототехнічних (програмно-апаратні (не програмні (softbots)) роботи) та обчислювальних агентів. В свою чергу,

обчислювальні агенти поділяються на програмних агентів та агентів штучного життя, а програмні агенти — на агентів конкретних задач, агентів розваг та комп'ютерних вірусів.

Зазначимо, що автори таксономії дають визначення тільки поняттю «автономний агент» (відповідає кореневому таксону), інші поняття таксономії не визначено. Використання ж відомих визначень таких понять призводить до суперечностей при змістовному аналізі структури таксономії. Так, наприклад, поняття «обчислювальний агент» визначено в [48] наступним чином: «обчислювальний агент — це агент, рішення якого про його дії можуть бути пояснені в термінах обчислень». Виходячи з цього, можна стверджувати, що робототехнічні агенти мають належати до обчислювальних агентів, але вони (як і саме обчислювальні агенти) належать до таксону «автономні агенти», тобто в даному випадку порушено правила таксономічного поділу як поняття «автономні агенти», так і поняття «обчислювальні агенти». Для уникнення виявленої суперечності необхідно ввести замість поняття «обчислювальні агенти» більш загальне поняття (наприклад, поняття «комп'ютерні агенти») та перебудувати структуру таксономії.

Крім того, в даній таксономії поділ обсягу поняття «обчислювальні агенти» виконано за дихотомією з утворенням двох контрадикторних понять: «програмні агенти» та «агенти штучного життя». При цьому допущено «стрибок у поділі», оскільки в таксономії відсутній деякий таксон, якому повинен бути підпорядкований таксон «агенти штучного життя». В [49] зазначено, що «штучне життя використовує інформаційні концепції та комп'ютерне моделювання для вивчення життя в цілому, і земного життя зокрема. Воно покликано пояснити конкретні життєві феномени, ... а також абстрактні властивості життя як такого (життя, яким воно могло би бути)». З цього випливає, що у якості відсутнього таксону повинен виступати, наприклад, таксон «агенти моделювання».

З іншого боку, необхідність введення таксону «агенти моделювання» обґрунтовується наступним: в [50] розрізняють дві головні парадигми для мультиагентних систем — мультиагентні системи прийняття рішень (multi-agent decision systems (MADS)) та мультиагентні системи моделювання (multi-agent simulation systems (MASS)). При цьому, якщо MADS в загальному випадку призначені для здійснення прийняття спільних рішень групою агентів, то MASS призначені для моделювання деякої предметної області.

Означені розбіжності є принциповими: на відміну від MADS, які дозволяють вирішувати конкретні задачі, MASS дозволяють відповісти на деякі з наступних питань [50]:

якої поведінки можна очікувати від системи при довільно заданих комбінаціях параметрів та початкових умов?

яку поведінку покаже система в майбутньому?

якого стану досягне система в майбутньому?

Очевидно, що агенти, які діють відповідно в MADS та MASS, орієнтовані на виконання принципово різних завдань, і тому мають належати до різних класів агентів. Якщо зіставити класи агентів, які використовуються для створення таких систем, з вищенаведеною таксономією, то стає очевидним, що агенти, які діють в MADS, мають належати до таксону «агенти конкретних задач» (склад даного таксону буде конкретизовано нижче), а агенти, які діють в MASS, в таксономії взагалі не подані.

Той факт, що ці агенти не подані в аналізованій таксономії, можна пояснити наступним: дану таксономію було запропоновано в 1996 році, в той час, як перша міжнародна конференція з мультиагентного моделювання відбулась тільки у 1998 році, тобто на час створення даної таксономії мультиагентне моделювання ще не виділилось в окремий самостійний напрямок досліджень. Очевидно, агенти, що діють в MASS, повинні утворювати окремий таксон (наприклад, таксон «агенти імітаційного моделювання»), який має підпорядковуватись таксону «агенти моделювання».

Зауважимо, що обрана назва таксону «агенти імітаційного моделювання» не є випадковою: ці агенти використовуються в рамках парадигми мультиагентного моделювання, яка разом з парадигмами системної динаміки та дискретно-подієвого моделювання утворює три основні парадигми імітаційного моделювання. Слід зазначити, що таксону «агенти моделювання» має підпорядковуватись також таксон «агенти розваг», склад якого за останні роки розширився за рахунок агентів, які використовуються при створенні комп'ютерних ігор, кіно- та анімаційних фільмів.

За час, що минув з моменту опублікування даної таксономії, з'явилися агенти інших нових класів, які не подані в таксономії. Зокрема, це так звані агенти агрегування (agentization agents), орієнтовані на агентизацію існуючих програм, агенти, орієнтовані на самовдосконалення (self-improving agents) тощо. Об'єднуючою ознакою таких агентів є те, що вони орієнтовані на модифікацію програмного коду. Як наслідок в таксономію повинен бути доданий таксон «агенти модифікації коду», який має бути підпорядкованим таксону «програмні агенти», та якому мають бути підпорядковані таксони «агенти агрегування», «агенти самовдосконалення» та «віруси» (оскільки останні, безперечно, є агентами модифікації програмного коду).

Обґрунтування запропонованої таксономії автономних агентів.

На рис. 2 подано таксономію, утворену по результатах проведеного аналізу. Наведемо тлумачення основних понять, поданих у запропонованій таксономії, та проаналізуємо і обґрунтуємо її структуру.

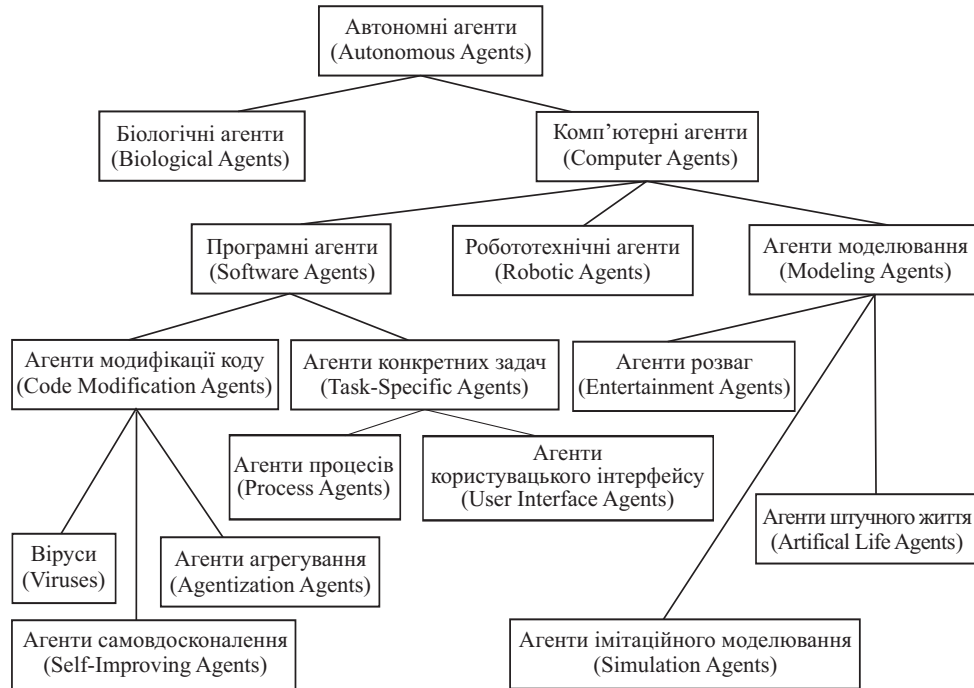


Рис. 2. Запропонована таксономія автономних агентів

Тлумачення поняття «автономний агент» ґрунтується на визначенні 2 з додатковою деталізацією щодо двох основних аспектів автономності агента. Як видно з рис. 2, поділ обсягу поняття «автономний агент» у таксономії виконано за дихотомією з утворенням двох контрадикторних понять: «біологічні агенти» та «комп'ютерні агенти». При цьому, якщо наше тлумачення поняття «біологічні агенти» збігається з його тлумаченням в таксономії С. Франкліна і А. Грайссера, то під поняттям «комп'ютерні агенти» ми розуміємо автономних агентів, створених із застосуванням комп'ютерних засобів. В свою чергу, поділ обсягу поняття «комп'ютерні агенти» у таксономії виконано з формуванням трьох видових понять: «робототехнічні агенти», «програмні агенти» та «агенти моделювання».

Подання та аналіз структури таксону «робототехнічні агенти» виходить за рамки даного дослідження. Зазначимо лише, що у даному випадку в якості сутностей, що відповідають агентам, виступають певні спеціалізовані програмно-апаратні комплекси (роботи), які діють у фізичному навколишньому середовищі в реальному масштабі часу (де час є безперервним).

Перед тим як виконати аналіз структури таксону «програмні агенти», розглянемо деякі відомі визначення цього поняття з метою виявлення, які

саме сутності описує поняття «програмні агенти», та в яких навколишніх середовищах і в якому масштабі часу вони діють.

«Програмні агенти — це автономні програмні модулі, які мають здатність сприйняття та соціальні здібності для виконання цілеспрямованої обробки знань в часі в інтересах людей або інших агентів у програмному навколишньому середовищі» [44].

«Програмний агент визначається як програма, яка може виконувати певні завдання для користувача і має ступінь інтелекту, що дозволяє їй виконувати частини своїх завдань автономно і взаємодіяти з навколишнім середовищем найбільш ефективним чином» [51].

«Агент є обчислювальною сутністю, яка:
автономно діє від імені інших сутностей;
виконує свої дії з певним рівнем проактивності та (або) реактивності;
демонструє певний рівень ключових атрибутів навчання, кооперації та мобільності.

Програмні агенти є програмними системами, які відповідають цьому визначенню і в основному можуть бути описані як такі, що мешкають у комп'ютерах та мережах, допомагаючи користувачам вирішувати комп'ютерні задачі» [52].

Узагальнюючи ці визначення (а також визначення 1, яке, безперечно, стосується саме програмних агентів), можна стверджувати, що, по-перше, сутність, яка відповідає поняттю «програмний агент», є деякий автономний програмний модуль (програмна система); по-друге, програмні агенти діють або в деякому програмному навколишньому середовищі, або в певному середовищі операційної системи, або в мережному (Internet, Intranet) навколишньому середовищі. Крім того, очевидно, що в даному випадку час є дискретним; масштаб часу, в якому діють програмні агенти, визначається в залежності від швидкодії програмно-апаратних засобів та (або) від пропускну здатності мережі, що підтримують функціонування навколишнього середовища, в якому перебувають програмні агенти.

Як впливає з рис. 2, обсяг поняття «програмні агенти» у таксономії поділяється на два видових поняття: «агенти конкретних задач» та «агенти модифікації коду».

Аналіз таксону «агенти конкретних задач» показав, що на даний час не існує єдиної точки зору на те, які класи агентів мають входити до його складу. На рис. 1 видно, що в таксономії С. Франкліна та А. Грайссера склад цього таксону не конкретизовано. Однак в таксономії, запропонованій в [10], є таксон «агенти задач», до складу якого входять таксони «персональні агенти» та «групові агенти» (очевидно, що останній таксон можна розглядати як такий, що має включати агентів, які діють в MADS).

Втім, така класифікація агентів задач не визначає, на вирішення яких класів задач орієнтовані агенти, що належать до відповідних таксонів. На наш погляд, більш вдалу класифікацію таких агентів запропоновано в [53], де вони розподіляються на агентів користувацького інтерфейсу та агентів процесів.

Агенти користувацького інтерфейсу фіксують побажання користувача та перетворюють їх у дії для виконання у певному додатку або мережі Internet. Це програмні агенти, які забезпечують надання допомоги, поради користувачу та виконання його доручень. Агенти користувацького інтерфейсу можуть вивчати індивідуальні особливості і потреби користувача та пристосовуватися, надаючи кожному користувачеві персоналізований інтерфейс. На відміну від цих агентів, агенти процесів безпосередньо не мають інтерфейсу з користувачем та призначені для вирішення наступних задач: перетворення запитів від користувацького інтерфейсу в оперативні дії; визначення кращих джерел для отримання затребуваних інформації або дій; вибір та прийняття рішень серед альтернатив; ведення переговорів з іншими агентами від імені користувача тощо. Ці агенти не замінюють процеси, а діють від імені користувача, забезпечуючи керування процесами та їх виконанням.

Узагальнюючи, можна дати наступне визначення поняття «агент конкретних задач»: це програмний агент, який допомагає користувачеві у виконанні певних завдань або виконує завдання від імені користувача.

В свою чергу, таксон «агенти модифікації коду» відсутній в інших відомих таксономіях агентів. В запропонованій таксономії (див. рис. 2) обсяг поняття «агенти модифікації коду» включає три видові поняття: «агенти агрегування», «агенти самовдосконалення» та «віруси».

Аналіз таксону «агенти агрегування» показав [54, 55], що на даний час існує декілька підходів до агентизації програм, заснованих, зокрема, на використанні агентами «перетворювачів» (transducers), «оболонки» (wrappers) та «посередників» (mediators). Серед них найбільш поширені так звані агенти-«оболонки» (wrapper agents), призначені для перетворення існуючих програм, створених без використання агентного підходу, в програмних агентів [54, 56]. Таке перетворення здійснюється за допомогою вставки коду агентом в існуючу програму, що дозволяє забезпечити подальшу комунікацію інших агентів з такою програмою стандартними засобами агентного спілкування. Агент-«оболонка» може безпосередньо аналізувати структури даних програми та модифікувати їх, формувати виклики з програми для отримання доступних зовнішніх інформації та сервісів тощо. Обов'язковою умовою для використання агентів-«оболонки» є відкритість коду програми, що агентизується. Агенти-«оболонки» широко вико-

ристовуються у відомих платформах мультиагентних систем, наприклад IMPACT [55], JADE [57] тощо.

У відповідності до [58] агенти самовдосконалення можуть бути класифіковані за ступенем здійснюваної модифікації програмного агента. Виходячи з цього виділяються три рівня вдосконалення агентів: самомодифікація, самовдосконалення (слабке самовдосконалення) та рекурсивне самовдосконалення (сильне самовдосконалення). Самомодифікація не призводить до удосконалення коду, її метою є зміна вихідного програмного коду (маскування його призначення) для ускладнення його розуміння зовнішніми спостерігачами. В [59—61] аналізуються різні аспекти створення агентів самомодифікації (*self-modifying agents*). В свою чергу, метою слабого самовдосконалення є певне настроювання програмного агента під поточне навколишнє середовище або користувачів. Для здійснення цього використовуються еволюційні (в тому числі генетичні) алгоритми та алгоритми навчання з підкріпленням [62—66]. Сильне самовдосконалення — це єдиний тип удосконалення, який може повністю замінити оригінальний програмний код агента на інший і, що важливо, зробити це багаторазово. На кожному етапі удосконалення новостворений програмний код має покращити версію програмного агента в порівнянні з його попереднім кодом, не змінюючи цілей оригінального програмного агента. Різні аспекти створення агентів рекурсивного самовдосконалення (*recursively self-improving agents*) досліджено, наприклад, в [67—69].

Віруси є ще одним різновидом агентів модифікації коду і належать до шкідливих програм. Узагальнюючи визначення, наведені в [70—72], можна стверджувати, що вірус — це програмний агент, здатний до несанкціонованого створення своїх функціонально ідентичних копій та впровадження їх у файли, системні області комп'ютера та комп'ютерні мережі з метою виконання різного роду шкідливих дій, при цьому створювані копії зберігають здатність подальшого поширення. У даному визначенні під «несанкціонованим створенням» мається на увазі, що вірусам притаманна властивість автономності (зазначені копії створюються незалежно від бажання користувача), а під «функціонально ідентичними копіями» — те, що дві різні копії зовнішньо можуть відрізнятися, виконуючи одні і ті ж самі дії у відповідності з одним і тим же алгоритмом.

Зазначимо, що існує декілька класифікацій вірусів за різними критеріями [72]. Найбільш вдалу класифікацію вірусів, що узгоджується з задачею побудови таксономії агентів, запропоновано в [71]. У відповідності з нею віруси можна розподілити на локальні (не здатні на самостійне розповсюдження та спроможні підтримувати свою життєдіяльність виключно за рахунок впровадження своїх копій у різного роду виконувани

об'єкти (файли, скрипти, завантажувальні сектори тощо) та активізації при їх запуску) та мережні (здатні на самостійне розповсюдження, існують окремо, не впроваджуючись в інші програми, розсилаючи свої копії по комп'ютерних мережах). Локальні віруси поділяються на файлові (що впроваджуються у файли) та завантажувальні (що впроваджуються у завантажувальні сектори носіїв інформації). Мережні віруси включають різного роду комп'ютерних «хробаків» (worms), до яких, зокрема, належать так звані поштові хробаки (email-worms), мережні хробаки (net-worms), хробаки файлообмінних мереж (P2P-worms) тощо. Детальний огляд різного роду вірусів можна знайти в [70—73].

Слід також зазначити, що стратегії, реалізовані у вірусах, подібні стратегіям, підтримуваним іншими агентами модифікації коду. Так, наприклад, локальні віруси, як і агенти-«оболонки», додають код у зовнішні файли. Крім того, для ускладнення свого виявлення віруси можуть як частково (поліморфні віруси), так і повністю (метаморфні віруси) змінювати (маскувати) свій код, не змінюючи при цьому свого призначення. Такі властивості вірусів подібні властивостям згаданих вище агентів саmomодифікації та агентів рекурсивного самовдосконалення. І, як підкреслено в [74], ускладнення стратегій поведінки вірусів є стимулюючою проблемою для розвитку програм, що саmomодифікуються.

Узагальнюючи, можна дати наступне визначення поняття «агент модифікації коду»: це програмний агент, здатний змінювати свій програмний код та (або) код зовнішніх програм з метою його удосконалення, маскування його призначення або його зіпсування.

Як впливає з рис. 2, обсяг поняття «агенти моделювання» поділяється на три видових поняття: «агенти імітаційного моделювання», «агенти розваг» та «агенти штучного життя».

Агенти імітаційного моделювання відповідають агентам, які використовуються в рамках парадигми мультиагентного моделювання (МММ). Метою МММ є моделювання поведінки системи на мікрорівні як множини сутностей (агентів), що складають систему, для кожної з яких задано її власні властивості та поведінкові правила, та які діють і взаємодіють у навколишньому середовищі, разом утворюючи глобальну динаміку системи. В основі МММ лежить висхідний підхід до моделювання систем, для якого характерним є те, що не існує ніякого централізованого управління поведінкою модельованої системи, а глобальна поведінка системи утворюється в результаті дій та взаємодій автономних приймаючих рішення агентів, що складають систему.

Відмінною властивістю МММ є те, що взаємодія між агентами утворює нову і стійку поведінку на глобальному рівні, що відповідає явищу

емерджентності [75, 76]. Емерджентність (emergence — поява, виникнення) може бути визначена як якість або властивість системи, що є новою в порівнянні з якостями або властивостями ізольованих або інакше організованих компонентів системи. Вважається [76], що явище емерджентності спостерігається тоді, коли відбувається взаємодія між локальними законами, якими керуються агенти при прийнятті рішень, і такі закони не містять жодних глобальних цілей. Це явище являє собою нову якість, яку важко заздалегідь передбачити, та яка слідує з об'єднаної поведінки агентів і тому не може бути зменшена до рівня окремих агентів.

До складу імітаційних моделей, що використовуються при виконанні МАМ, входять три головні компоненти:

- 1) множина агентів та їх властивостей;
- 2) навколишнє середовище, в якому діють та взаємодіють агенти;
- 3) множина правил, що визначають, як агенти діють в навколишньому середовищі та взаємодіють між собою.

Агенти є центральною частиною будь-якої імітаційної моделі МАМ та подають сутності, які діють в модельованій системі. В [26] зауважено, що в парадигмі МАМ «агент може подавати частинку, фінансового торговця, клітину в живому організмі, хижака в складній екосистемі, електростанцію, атом, що належить до певного матеріалу, покупця в закритій економіці, клієнтів в моделі ринку, лісові дерева, автомобілі у великій системі транспортного руху тощо». Тобто на відміну від програмних агентів, які подають певні автономні програмні модулі, агенти імітаційного моделювання подають деякі автономні модельовані сутності досліджуваної предметної області.

Для обробки імітаційної моделі необхідно вирішити проблему управління перебігом часу в МАМ, для чого використовуються два різні підходи [26, 77, 78]: керованого часом управління та керованого подіями управління. В першому підході перебіг часу відбувається дискретно з часовими кроками постійної тривалості (цей підхід також називається синхронним підходом оновлення імітаційної моделі). В другому підході управління процесом моделювання виконується на основі хронологічно упорядкованого списку майбутніх подій, в якому кожній події, яка має відбутися, призначено час виникнення, причому проміжки часу між настанням різних подій можуть відрізнитися (цей підхід також називається асинхронним підходом оновлення імітаційної моделі).

Для виконання МАМ використовуються спеціалізовані існуючі або створювані системи (платформи, мови), зокрема [79] LEE, JAMES II, SeSAm, RePast, Swarm, MAML, SIM_AGENT, MASON, CHARON, JADE, Jason, AnyLogic, NetLogo, які «надають механізми для визначення агентів

та їх навколишнього середовища, підтримки взаємодії агентів, а також додаткові функції, такі як управління моделюванням (наприклад, його налагодження, конфігурування, керування чергою), його візуалізація, моніторинг та збір даних про модельовану динаміку» [26].

З викладеного випливає, що, по-перше, сутністю, яка відповідає поняттю «агент імітаційного моделювання», є деяка автономна модельована сутність досліджуваної предметної області; по-друге, агенти імітаційного моделювання діють в деякому модельованому навколишньому середовищі, яке функціонує в певному програмному середовищі, створюваному засобами системи підтримки МАМ; по-третє, час є дискретним; масштаб часу, в якому діють агенти імітаційного моделювання, визначається в залежності від вибраного підходу з управління перебігом часу.

Тоді, конкретизуючи визначення 2, можна дати визначення поняття «агент імітаційного моделювання», яке відповідає сутності агентів, що розглядаються в системі «Навігація»: агент імітаційного моделювання — це модельована сутність досліджуваної предметної області, розташована в модельованому навколишньому середовищі та спроможна до автономних дій в ньому для того, щоб забезпечити досягнення закладених в неї цілей.

Агенти розваг за останні 20 років набули потужного розвитку у зв'язку з удосконаленням графічних комп'ютерних технологій, які використовуються для створення реалістичних віртуальних світів в комп'ютерних іграх, кіно- та анімаційних фільмах. Це обумовило виникнення нових задач моделювання поведінки віртуальних персонажів (агентів), які діють у відповідному віртуальному світі (середовищі), що відображується у комп'ютерній грі або фільмі. Поведінка віртуальних персонажів має бути правдоподібною та реалістичною, тобто створювати ілюзію того, що віртуальні світи заповнені живими персонажами. Крім того, ця поведінка, наприклад, в комп'ютерних іграх повинна дозволяти таким персонажам адекватно реагувати на несподівані дії гравця або інших віртуальних персонажів. Необхідність вирішення зазначених задач обумовила впровадження агентного моделювання для керування автономними віртуальними персонажами.

Отже, якщо при створенні агентів імітаційного моделювання намагаються досягти найбільш раціональної або ефективної поведінки агентів, то створення агентів розваг націлено на забезпечення максимальної реалістичності та правдоподібності віртуальних персонажів (агентів) як в плані зовнішнього вигляду, так і їх поведінки. В [26] підкреслено, що віртуальні персонажі, створені на основі агентного підходу, є автономними, соціальними, реактивними та проактивними сутностями, тобто їм притаманні основні властивості агентів.

Активізація використання агентного підходу для моделювання віртуальних персонажів в першу чергу пов'язана з потребами кіноіндустрії щодо вирішення задачі моделювання натовпу у віртуальних світах, оскільки створення сцен з великою кількістю різномірних віртуальних персонажів вручну є трудомістким та коштовним процесом. Використання агентного моделювання для керування діями віртуальних персонажів, утворюючих натовп, кожний з яких має власну поведінку, з урахуванням явища емерджентності дозволило досягти високої реалістичності та правдоподібності результатів моделювання.

Прикладами успішності використання агентного підходу для вирішення таких задач [26] є моделювання зграї кажанів (кінофільм «Бетмен повертається»), множини тварин (анімаційний фільм «Король Лев») та мурах (анімаційні фільми «Мураха Антц» та «Пригоди Фліка»), батальних сцен у кінотрилогії «Володар перснів» (де деякі епізоди містять більше 200000 віртуальних персонажів) тощо. Для моделювання таких віртуальних персонажів використовуються спеціалізовані системи моделювання, наприклад Voids [80], Massive [81], c4 [82], Improv [83], ViCrowd [84]. Слід зауважити, що здійснення агентного моделювання засобами названих систем щодо створення віртуальних персонажів кіноіндустрії потребує значного часу навіть для відпрацювання досить простих сцен [26]. Це відрізняє задачу агентного моделювання в кіноіндустрії від подібної задачі в галузі створення віртуальних персонажів в комп'ютерних іграх, де моделювання відбувається в дискретному часі, наближеному до реального масштабу часу.

Агентний підхід до моделювання віртуальних персонажів в комп'ютерних іграх набув більш потужного розвитку, ніж в кіноіндустрії. Це, зокрема, пов'язано з необхідністю вирішення задач адекватного реагування віртуальних персонажів на несподівані дії гравців та інших віртуальних персонажів комп'ютерної гри. В той же час, існують певні складнощі щодо використання агентних методів моделювання в іграх [26].

По-перше, сучасні комп'ютерні ігри передбачають активну взаємодію гравця з віртуальними персонажами з метою отримання необхідної інформації або співпраці з ними для вирішення певної задачі, ключової для сюжету гри. При цьому віртуальні персонажі повинні правдоподібно реагувати в будь-якій ситуації, незалежно від того, наскільки дивними або несподіваними будуть дії гравця, що передбачає необхідність формалізації всіх подібних ситуацій при створенні правил поведінки агентів.

По-друге, більшість комп'ютерних ігор функціонують в дискретному часі, наближеному до реального масштабу часу. Це означає, що обчислювальна складність процесів, що моделюються у грі, не повинна перевищувати обчислювальних можливостей використовуваного комп'ютера.

Тобто методи, які використовуються для управління віртуальними персонажами в іграх, повинні бути оптимізовані з урахуванням часових обмежень на обробку модельованих процесів (в тому числі і обробку графіки).

Для управління перебігом часу щодо моделювання поведінки віртуальних персонажів комп'ютерних ігор [85] використовується кероване подіями управління. Для створення віртуальних персонажів (агентів) комп'ютерних ігор використовуються спеціалізовані системи, в тому числі [86]: F.E.A.R, Quagents, QASE, Original Gamebots, RIT's Gamebots, JavaBots, UT3 .Net Bots, Pogamut 3, Moai.

Таким чином, по-перше, сутністю, яка відповідає поняттю «агенти розваг», є деякий віртуальний персонаж; по-друге, агенти розваг діють в деякому віртуальному світі (модельованому навколишньому середовищі); по-третє, час є дискретним; масштаб часу, в якому діють агенти розваг, визначається в залежності від галузі їх застосування (для кіноіндустрії — умовами та вимогами створюваних сцен, для ігор — умовами керованого подіями управління).

Узагальнюючи, можна дати наступне визначення поняття «агент розваг»: це модельована сутність (віртуальний персонаж), розташована в модельованому навколишньому середовищі (віртуальному світі) та спроможна до автономних дій в ньому з метою досягнення максимально реалістичної та правдоподібної зовнішності та (або) поведінки модельованого персонажу.

У галузі штучного життя (Artificial Life) досліджуються штучні системи, які демонструють поведінку, характерну для природних живих систем, з метою моделювання «життя, яким воно могло би бути» [87]. В цих дослідженнях вивчають життєподібні (life-like) властивості систем на абстрактному рівні, зосереджуючись на інформаційному наповненні таких систем незалежно від середовища (біологічного, хімічного, фізичного тощо), в якому вони існують.

Розрізняють три напрями досліджень у галузі штучного життя [87]:

«м'яке» (soft) штучне життя, призначене для здійснення комп'ютерного моделювання життєподібних процесів;

«тверде» (hard) штучне життя, призначене для створення апаратних реалізацій життєподібних систем;

«вологе» (wet) штучне життя, призначене для синтезування живих систем з біохімічних речовин.

Агенти штучного життя, подані в таксономії, належать до галузі досліджень «м'якого» штучного життя, в яких вивчається еволюція агентів або популяцій імітованих на комп'ютері життєвих форм в штучних навколишніх середовищах [88]. Найбільш важливими властивостями «м'якого»

штучного життя є наявність явища емерджентності та динамічної взаємодії агентів між собою і навколишнім середовищем, завдяки чому в процесі комп'ютерного моделювання з окремих взаємодій між агентами виникає колонізація всієї системи. При цьому агенти демонструють характеристики поведінки живих організмів в природному світі, такі як ріст, автономність, адаптацію, розмноження, самозбереження, самоконтроль та еволюцію, які реалізуються за допомогою еволюційних обчислень (в тому числі генетичних та еволюційних алгоритмів), кліткових автоматів, технологій нейронних мереж тощо [89].

Для управління перебігом часу щодо моделювання агентів «м'якого» штучного життя використовується кероване часом управління. Для моделювання «м'якого» штучного життя використовуються спеціалізовані системи, в тому числі [90] Avida, Framstricks, DDLab, Spartacus, SBEAT, Eden, SBART, Smoldyn.

Таким чином, по-перше, сутністю, що відповідає поняттю «агент штучного життя», є деяка автономна модельована сутність; по-друге, агенти штучного життя діють в деякому модельованому (штучному) навколишньому середовищі, яке функціонує в певному програмному середовищі, створеному засобами спеціалізованої системи моделювання, що використовується; по-третє, час є дискретним; масштаб часу, в якому діють агенти штучного життя, визначається умовами керованого часом управління. Підсумовуючи викладене, можна дати наступне визна-

Розбіжності між основними класами автономних комп'ютерних агентів

Критерій порівняння	Робототехнічні агенти	Програмні агенти	Агенти моделювання
Тип сутності, що відповідає агенту	Спеціалізований програмно-апаратний комплекс (робот)	Програмний модуль (програмна система)	Модельована (віртуальна) сутність
Тип навколишнього середовища	Фізичне навколишнє середовище	Програмне навколишнє середовище; середовище операційної системи; мережне навколишнє середовище	Модельоване (віртуальне) навколишнє середовище, яке функціонує в певному програмному середовищі
Властивості часу; масштаб часу, в якому діють агенти	Час є безперервним; діють в реальному масштабі часу	Час є дискретним; масштаб часу визначається в залежності від швидкодії програмно-апаратних засобів та (або) від пропускної спроможності мережі	Час є дискретним; масштаб часу визначається в залежності від галузі застосування агентів

чення поняття «агент штучного життя»: це модельована сутність, розташована в модельованому навколишньому середовищі та спроможна до автономних дій в ньому з метою демонстрації власної еволюції.

В таблиці наведено основні розбіжності між класами автономних агентів, що підпорядковані таксону «комп'ютерні агенти». Як впливає з таблиці, порівнювані класи агентів суттєво відрізняються між собою за всіма запропонованими критеріями. Крім того, додатково зазначимо, що агентам моделювання також притаманні явище емерджентності та необхідність вирішення питань управління перебігом часу, що загалом не властиво для інших агентів, поданих у таблиці.

Слід підкреслити, що запропонована таксономія автономних агентів (див. рис. 2) не претендує на завершеність та вичерпність, але дозволяє адекватно віддзеркалити сучасний стан основних напрямів досліджень агентів в світі.

Висновки

В запропоновану нову таксономію автономних агентів додано декілька нових таксонів, які враховують результати розвитку агентних технологій в світі за останні 20 років. Зокрема, додано таксон «агенти імітаційного моделювання», який за своїм складом відповідає агентам, що використовуються в рамках парадигми МАМ. Запропонована таксономія є природною класифікацією автономних агентів. З метою запобігання непорозумінь при тлумаченні таксономії надано визначення основних класів агентів, поданих в ній. Виділено та обґрунтовано головні розбіжності між класами агентів, що підпорядковані таксону «комп'ютерні агенти». Є сподівання, що запропонована таксономія дозволить більш чітко розрізняти різні класи агентів та уникати помилок при віднесенні агентів до того чи іншого класу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Яловець А.Л. До постановки задачі переслідування на площині//Проблеми програмування. 2013, № 2, с. 95—100.
2. Яловець А.Л. Про один метод переслідування на площині// Там же. 2013, № 3, с. 117—124.
3. Яловець А.Л. Про метод найближчої точки як метод управління стратегіями переслідування/утікання агентів // Там же. 2013, № 4, с. 94—99.
4. Яловець А.Л. Методи моделювання поведінки агентів в мультиагентній системі «Навігація»// Там же. 2014, № 2—3, с. 212—220.
5. Яловець А.Л. Проблема формування угруповань агентів у задачах переслідування/утікання на площині//Там же. 2014, № 1, с. 108—118.
6. Яловець А.Л. Проблема моделювання маневрування агентів в задачах переслідування/утікання на площині// Там же. 2015, № 2, с. 86—100.

7. Яловець А.Л. Архітектура та функціональні можливості мультиагентної системи «Навігація» // Там же. 2017, № 1, с. 83—96.
8. *Авт. свідоцтво* № 57880. Комп'ютерна програма «Мультиагентна система «Навігація», версія 2.5» Яловець А.Л., Кондращенко В.Я., Арістов В.В. Державна служба інтелектуальної власності України, 2014 р.
9. Franklin S., Graesser A. Is it an Agent, or Just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents // Proc. of Workshop Intelligent agents III: agent theories, architectures, and Languages (ECAI '96). Hungary, Budapest: Springer, 1996, p. 21—35.
10. Sanchez J.A. A Taxonomy of Agents. Technical Report ICT-97-1. Interactive and Cooperative Technologies Lab. Department of Computer Systems Engineering. Mexico: Universidad de las Américas-Puebla, 1997, 24 p.
11. Huang Z., Eliens A., van Ballegoij A., de Bra P. A taxonomy of web agents // Proc. 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications. UK, London, 2000, p. 765—769.
12. Coninx K., Holvoet T. A Microscopic Traffic Simulation Platform for Coordinated Charging of Electric Vehicles // Proc. of 12th International Conf. «Advances in Practical Applications of Heterogeneous Multi-Agent Systems» (PAAMS 2014). Spain, Salamanca: Springer, 2014, p. 323—326.
13. Garcia-Magarino I. Practical Multi-Agent System Application for Simulation of Tourists in Madrid Routes with INGENIAS // Ibid. Spain. Salamanca: Springer, 2014, p. 122—133.
14. Hajinasab B., Davidsson P., Persson J.A., Holmgren J. Towards an Agent-Based Model of Passenger Transportation // Proc. of International Workshop “Multi-Agent-Based Simulation XVI” (MABS 2015). Turkey, Istanbul: Springer, 2016, p. 132—145.
15. Hassan S., Antunes L., Pavyn J. Mentat: A Data-Driven Agent-Based Simulation of Social Values Evolution // Proc. of International Workshop «Multi-Agent-Based Simulation X» (MABS 2009). Hungary, Budapest: Springer, 2010, p. 135—146.
16. Henein C.M., White T. Agent-Based Modelling of Forces in Crowds // Proc. of Joint Workshop «Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation» (MABS 2004). USA, New York: Springer, 2005, p. 173—184.
17. Jordan R., Birkin M., Evans A. Agent-Based Simulation Modelling of Housing Choice and Urban Regeneration Policy // Proc. of International Workshop «Multi-Agent-Based Simulation XI» (MABS 2010). Canada, Toronto: Springer, 2011, p. 152—166.
18. Molina M., Martin J., Carrasco S. An Agent-Based Approach for the Design of the Future European Air Traffic Management System // Proc. of 12th International Conf. «Advances in Practical Applications of Heterogeneous Multi-Agent Systems» (PAAMS 2014). Spain, Salamanca: Springer, 2014, p. 359—362.
19. Monga R., Karlapalem K. MASFMMS: Multi Agent Systems Framework for Malware Modeling and Simulation // Proc. of International Workshop «Multi-Agent-Based Simulation IX» (MABS 2008). Portugal, Estoril: Springer, 2009, p. 97—109.
20. Niwa T., Okaya M., Takahashi T. TENDENKO: Agent-Based Evacuation Drill and Emergency Planning System // Proc. of International Workshop «Multi-Agent-Based Simulation XV» (MABS 2014). France, Paris: Springer, 2015, p. 167—179.
21. Pezzulo G., Calvi G. Designing and Implementing MABS in AKIRA // Proc. of Joint Workshop «Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation» (MABS 2004). USA, New York: Springer, 2005, p. 49—64.
22. Vaněk O., Jakob M., Hrstka O., Pěchouček M. Using Multi-agent Simulation to Improve the Security of Maritime Transit // Proc. of International Workshop «Multi-Agent-Based Simulation XII» (MABS 2011). Taiwan, Taipei: Springer, 2012, p. 44—58.

23. Werlang P., Fagundes M.Q., Adamatti D.F. et al. Multi-Agent-Based Simulation of Mycobacterium Tuberculosis Growth // Proc. of International Workshop «Multi-Agent-Based Simulation XIV» (MABS 2013). USA, Saint Paul: Springer, 2014, p. 131—142.
24. Georgakarakou C.E., Economides A.A. Software Agent Technology: An Overview // Software applications: concepts, methodologies, tools, and applications / Ed. by Tiako P.F. IGI Global, 2009, p. 128—151.
25. Macal C.M., North M.J. Tutorial on agent-based modeling and simulation // Agent-based Modeling and Simulation / Ed. by Taylor S.J.E. Palgrave MacMillan, 2014, p. 11—31.
26. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science* / Ed. by Meyers R.A. Springer, 2009, 10398 p.
27. *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence* / Ed. by Weiss G. The MIT Press, 1999, 619 p.
28. Hadzic M., Wongthongtham P., Dillon T., Chang E. *Ontology-Based Multi-Agent Systems*. Springer, 2009, 273 p.
29. Padgham L., Winikoff M. *Developing Intelligent Agent Systems. A Practical Guide*. John Wiley & Sons Ltd, 2004, 240 p.
30. Wooldridge M. *An Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley & Sons, Ltd. 2002, 348 p.
31. Wooldridge M., Jennings N.R. Intelligent agents: Theory and practice // *The Knowledge Engineering Review*. 1995, Vol. 10, N 2, p. 115—152.
32. *Электронный ресурс*: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/entity>
33. *Электронный ресурс*: <http://en.wikipedia.org/wiki/Entity>
34. Wooldridge M. Reasoning about rational agents. The MIT Press, 2000, 227 p.
35. *Agent Autonomy* / Ed. by Hexmoore H., Castelfranchi C., Falcone R. Springer Science + Business Media, LLC, 2003, 288 p.
36. *Agents and Computational Autonomy. Potential, Risks and Solutions* / Ed. by Nickles M., Rovatsos M., Weiss G. Springer Science + Business Media, Inc, 2005, 278 p.
37. Mele A.R. *Autonomous Agents. From Self-Control to Autonomy*. Oxford University Press, 1995, 271 p.
38. *Industrial Agents. Emerging Applications of Software Agents in Industry* / Ed. by Leitno P., Karnouskos S. Elsevier, 2015, 455 p.
39. Odell J. *Agent Technology: What Is It and Why Do We Care?* // Enterprise Architecture Advisory Service Executive Report. Cutter Consortium, 2007, Vol. 10, N 3, p. 1—25.
40. Weyns D., Michel F., Van Dyke Parunak H. et al. Agent Environments for Multi-agent Systems — A Research Roadmap // Proc. of the 4th International Workshop «Agent Environments for Multi-Agent Systems» (E4MAS 2014). France, Paris: Springer, 2015, p. 3—21.
41. Weyns D., Omicini A., Odell J. Environment as a first class abstraction in multiagent systems // *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 2007, Vol. 14, Is. 1, p. 5—30.
42. Рассел С., Норвиг П. *Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд.*: Пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2007, 1408 с.
43. Шаталкин А.И. *Таксономия. Основания, принципы и правила*. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012, 600 с.
44. *Agent-Directed Simulation and Systems Engineering* / Ed. by Yilmaz L., _ren T. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co, 2009, 520 p.
45. Кондаков Н.И. *Логический словарь-справочник*. М.: Наука, 1976, 720 с.
46. Бочаров В.А., Маркин В.И. *Основы логики*. М.: ИНФРА-М, 1998, 296 с.
47. Höppner S. An Agents' Definition Framework and a Methodology for Deriving Agents' Taxonomies // Proc. 26th Annual German Conference on AI. Germany, Hamburg: 2003, p. 618—632.
48. Poole D.L., Mackworth A.K. *Artificial Intelligence: Foundations of Computational Agents*. Cambridge University Press, 2010, 662 p.

49. *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences* / Ed. by Wilson R.A., Keil F.C. The MIT Press. 1999, 964 p.
50. *Siebers P.-O., Aickelin U. Introduction to Multi-Agent Simulation // Encyclopedia of decision making and decision support technologies* / Ed. by Adam F., Humphreys P. IGI Global, 2008, p. 554—564.
51. *Brenner W., Zarnekow R., Schubert C. Intelligent software agents: foundations and applications*. Springer-Verlag, 1998, 326 p.
52. *Green S., Hurst L., Nangle B. et al. Software Agents: A review*. Dublin: Trinity College Dublin, Department of Computer Science. TCD-CS-1997-06.1997, 51 p.
53. *Janca P.C., Gilbert D. Practical Design of Intelligent Agent Systems // Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets* / Ed. by Jennings N.R., Wooldridge M.J. Springer, 1998, p. 73—89.
54. *Genesereth M.R., Ketchpel S.P. Software Agents // Communications of ACM*. 1994, Vol. 37, N 7, p. 48—53.
55. *Subrahmanian V.S. et al. Heterogeneous agent systems*. The MIT Press, 2000, 580 p.
56. *Zhang Z., Zhang C. Agent-Based Hybrid Intelligent Systems: An Agent-Based Framework for Complex Problem Solving*. Springer, 2004, 196 p.
57. *Multi-Agent Programming: Languages, Platforms and Applications* / Ed. by Bordini R.H. et al. Springer, 2005, 295 p.
58. *Yampolskiy R.V. Artificial Superintelligence: A Futuristic Approach*. CRC Press, 2016, 189 p.
59. *Hibbard B. Model-based Utility Functions // Journal of Artificial General Intelligence*. 2012, Vol. 3, Is. 1, p. 1—24.
60. *Orseau L., Ring M. Self-Modification and Mortality in Artificial Agents // 4th International Conf. on Artificial General Intelligence (AGI 2011)*. USA, NY, 2011, p 1—10.
61. *Brazier, F.M., Wijngaards N.J.E. Designing Self-Modifying Agents // Proc. of 5th International Conference of Computational and Cognitive Models of Creative Design*. Sydney, 2001, p. 93—112.
62. *Lin L.-J. Self-Improving Reactive Agents Based On Reinforcement Learning, Planning and Teaching // Machine Learning*. 1992, Vol. 8, p. 293—321.
63. *Schmidhuber J. A General Method for Incremental Self-Improvement and Multi-Agent Learning in Unrestricted Environments // Evolutionary Computation: Theory and Applications*. World Scientific Publishing Co, 1999, p. 81—123.
64. *Yampolskiy R.V., Ashby L., Hassan L. Wisdom of Artificial Crowds — A Metaheuristic Algorithm for Optimization // Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*. 2012, Vol. 4, p. 98—107.
65. *Zimmermann J., Henze H.H., Cremers A.B. G`del Agents in a Scalable Synchronous Agent Framework // Proc. of 8th International Conf. on Artificial General Intelligence (AGI 2015)*. Germany, 2015, p. 404—413.
66. *Wang S. Towards Dynamic Epistemic Learning of Action for Self-Improving Agents and Multi-agent Systems // Proc. of IEEE International Conference on Autonomic Computing (ICAC 2016)*. Germany, 2016, p. 292—299.
67. *Mahoney M. A Model for Recursively Self Improving Programs*. Available at: <http://mattmahoney.net/rsi.pdf>.
68. *Steunebrink B.R., Thyrisson K.R., Schmidhuber J. Growing Recursive Self-Improvers // Proc. of 9th International Conf. on Artificial General Intelligence (AGI 2016)*. USA, 2016, p. 129—139.
69. *Yampolskiy R.V. On the Limits of Recursively Self-Improving AGI // Proc. of 8th International Conf. on Artificial General Intelligence (AGI 2015)*. Germany, 2015, p. 394—403.
70. *Гинодман В.А., Обелец Н.В., Павлов А.А. От первых вирусов до целевых атак*. М.: НИЯУ МИФИ, 2014, 96 с.

71. Касперски К. Записки исследователя компьютерных вирусов. СПб.: Питер, 2005, 316 с.
72. Климентьев К.Е. Компьютерные вирусы и антивирусы: взгляд программиста. М.: ДМК Пресс, 2013, 656 с.
73. Гордон Я. Компьютерные вирусы без секретов. М.: Новый изд. дом, 2004, 320 с.
74. Bonfante G., Marion J.-Y., Reynaud-Plantey D. A computability perspective on self-modifying programs // Proc. of Seventh IEEE International Conf. on Software Engineering and Formal Methods. USA, 2009, p. 231—239.
75. Handbook of research on nature inspired computing for economics and management / Ed. by Rennard J.-P. Idea Group Inc, 2007, 998 p.
76. Alkhateeb F., Maghayreh E.A., Doush I.A. Multi-Agent Systems — Modeling, Control, Programming, Simulations and Applications. InTech, 2011, 522 p.
77. Barnes D.J., Chu D. Introduction to Modeling for Biosciences. Springer, 2010, 322 p.
78. Meyer R. Event-Driven Multi-agent Simulation // Proc. of International Workshop «Multi-Agent-Based Simulation» (MABS 2014). France, Paris: Springer, 2015, p. 3—16.
79. Uhrmacher A.M., Weyns D. Multi-agent systems: simulation and applications. CRC Press, 2009, 483 p.
80. Reynolds C. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model // Proc. of the 14th annual Conf. on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH'87). Anaheim, USA, ACM Press, 1987, p. 25—34.
81. Aitken M., Butler G., Lemmon D. et al. The Lord of the Rings: the visual effects that brought middle earth to the screen // International Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'04). Los Angeles, USA, ACM Press, 2004. Course Notes. Article № 11.
82. Burke R., Isla D., Downie M. et al. Creature Smarts: The Art and Architecture of a Virtual Brain // Proc. of the 3rd International Conf. on Intelligent Games and Simulation (Game-On 2002), Westminster, UK, Westminster University Press, 2002, p. 89—93.
83. Perlin K., Goldberg A. Improv: A System for Scripting Interactive Actors in Virtual Worlds // Proc. of the ACM Computer Graphics Annual Conf. New York, USA, ACM Press, 1996, p. 205—216.
84. Musse S.R., Thalmann D. Hierarchical Model for Real Time Simulation of Virtual Human Crowds // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2001, Vol. 7, N 2, p. 152—164.
85. Buckland M. Programming game AI by example. Wordware Publishing, Inc, 2005, 495 p.
86. Gemrot J., Kadlec R., Biřla M. et al. Pogamut 3 Can Assist Developers in Building AI (Not Only) for Their Videogame Agents // Agents for Games and Simulations. Trends in Techniques, Concepts and Design / Ed. by Dignum F., Bradshaw J., Silverman B., van Doesburg W. Springer, 2009, p. 1—15.
87. Bedau M.A. Artificial_life // Handbook of the Philosophy of Biology / Ed. by Matthen M., Stephens C. Elsevier, 2007, p. 585—603.
88. Kumar A. An Overview of Abstract and Physical Characteristics «Artificial Life Systems» // International Journal of Scientific and Research Publications. 2012, Vol. 2, Is. 12, p. 1—7.
89. Banzhaf W., McMullin B. Artificial Life // Handbook of Natural Computing / Ed. by Rosenberg G. Springer, 2012, p. 1805—1834.
90. Artificial Life Models in Software / Ed. by Komosinski M., Adamatzky A. Springer, 2009, 441 p.

Отримано 18.09.17

REFERENCES

1. Yalovets, A.L. (2013), "To problem definition on prosecuting in the plane", *Problemy programuvannya*, no. 2, pp. 95-100.
2. Yalovets, A.L. (2013), "About one method of persecution on a plane", *Problemy programuvannya*, no. 3, pp. 117-124.
3. Yalovets, A.L. (2013), "About the method of the nearest point as a method of strategies management of pursuit/escape of agents", *Problemy programuvannya*, no. 4, pp. 94-99.
4. Yalovets, A.L. (2014), "Methods of modeling the behavior of agents in multi-agent system Navigation", *Problemy programuvannya*, no. 2-3, pp. 212-220.
5. Yalovets, A.L. (2014), "The problem of the formation of groups of agents in the tasks of pursuit/escape on a plane", *Problemy programuvannya*, no. 1, pp. 108-118.
6. Yalovets, A.L. (2015), "The problem of modelling of maneuvering of agents in the tasks of pursuit/escape on a plane", *Problemy programuvannya*, no. 2, pp. 86-100.
7. Yalovets, A.L. (2017), "The architecture and functionality of the multi-agent system Navigation", *Problemy programuvannya*, no. 1, pp. 83-96.
8. Yalovets, A.L., Kondraschenko, V.Ya. and Aristov, V.V. (2014), 57880 Certificate of registration of copy-right in a product. Computer program — "Multi-agent systems «Navigation» version 2.5". The State Service of Intellectual Property of Ukraine.
9. Franklin, S. and Graesser, A. (1996), Is it an agent, or just a program?: A taxonomy for autonomous agents, *Proceedings of Workshop Intelligent Agents III : Agent Theories, Architectures, and Languages (ECAI'96)*, Springer, Budapest, Hungary, pp. 21-35.
10. Sánchez, J.A. (1997), A taxonomy of agents. Technical report ICT-97-1, Interactive and Cooperative Technologies Lab, Department of Computer Systems Engineering, Universidad de las Américas-Puebla, México.
11. Huang, Z., Eliens, A., van Ballegooij, A. and de Bra, P. (2000), A taxonomy of web agents, *Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, London, UK, pp. 765-769.
12. Coninx, K. and Holvoet, T. A (2014), A microscopic traffic simulation platform for coordinated charging of electric vehicles, *Proceedings of the 12th International Conference "Advances in Practical Applications of Heterogeneous Multi-Agent Systems"* (PAAMS 2014), Springer, Salamanca, Spain, pp. 323-326.
13. Garcia-Magarino, I. (2014), Practical multi-agent system application for simulation of tourists in Madrid routes with INGENIAS, *Proceedings of the 12th International Conference "Advances in Practical Applications of Heterogeneous Multi-Agent Systems"* (PAAMS 2014), Springer, Salamanca, Spain, pp. 122-133.
14. Hajinasab, B., Davidsson, P., Persson, J.A. and Holmgren, J. (2016), Towards an agent-based model of passenger transportation, *Proceedings of International Workshop "Multi-Agent-Based Simulation XVI"* (MABS 2015), Springer, Istanbul, Turkey, pp. 132-145.
15. Hassan, S., Antunes, L. and Pavyn, J. (2010), Mentat: a data-driven agent-based simulation of social values evolution, *Proceedings of International Workshop "Multi-Agent-Based Simulation X"* (MABS 2009), Springer, Budapest, Hungary, pp. 135-146.
16. Henein, C.M. and White, T. (2005), Agent-based modeling of forces in crowds, *Proceedings of Joint Workshop "Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation"* (MABS 2004), Springer, New York, USA, pp. 173-184.
17. Jordan, R., Birkin, M. and Evans, A. (2011), Agent-based simulation modeling of housing choice and urban regeneration policy, *Proceedings of International Workshop "Multi-Agent-Based Simulation XI"* (MABS 2010), Springer, Toronto, Canada, pp. 152-166.

18. Molina, M., Martin, J. and Carrasco, S. (2014), An agent-based approach for the design of the future European air traffic management system, *Proceedings of the 12th International Conference "Advances in Practical Applications of Heterogeneous Multi-Agent Systems"* (PAAMS 2014), Springer, Salamanca, Spain, pp. 359-362.
19. Monga, R. and Karlapalem, K. (2009), MASFMMS: Multi-agent systems framework for malware modeling and simulation, *Proceedings of International Workshop "Multi-Agent-Based Simulation IX"* (MABS 2008), Springer, Estoril, Portugal, pp. 97-109.
20. Niwa, T., Okaya, M. and Takahashi, T. (2015), TENDENKO: Agent-based evacuation drill and emergency planning system, *Proceedings of International Workshop "Multi-Agent-Based Simulation XV"* (MABS 2014), Springer, Paris, France, pp. 167-179.
21. Pezzulo, G. and Calvi, G. (2005), Designing and implementing MABS in AKIRA, *Proceedings of Joint Workshop "Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation"* (MABS 2004), Springer, New York, USA, pp. 49-64.
22. Vaněk, O., Jakob, M., Hrstka, O. and Pěchouček, M. (2012), Using multi-agent simulation to improve the security of maritime transit, *Proceedings of International Workshop "Multi-Agent-Based Simulation XII"* (MABS 2011), Springer, Taipei, Taiwan, pp. 44-58.
23. Werlang, P., Fagundes, M.Q., Adamatti, D.F. and et al. (2014), Multi-agent-based simulation of mycobacterium tuberculosis growth, *Proceedings of International Workshop "Multi-Agent-Based Simulation XIV"* (MABS 2013), Springer, Saint Paul, USA, pp. 131-142.
24. Georgakarakou, C.E. and Economides, A.A. (2009), Software agent Technology: An overview, *Software applications: concepts, methodologies, tools, and applications*, Edited by Tiako P.F., *IGI Global*, pp. 128-151.
25. Macal, C.M. and North, M.J. (2014), Tutorial on agent-based modeling and simulation, *Agent-based modeling and simulation*, Edited by Taylor S.J.E., Palgrave MacMillan, pp. 11-31.
26. Meyers, R.A., editor (2009), *Encyclopedia of complexity and systems science*, Springer.
27. Weiss, G., editor (1999), *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*, The MIT Press, Massachusetts, USA.
28. Hadzic, M., Wongthongtham, P., Dillon, T. and Chang, E. (2009), *Ontology-based multi-agent systems*, Springer.
29. Padgham, L. and Winikoff, M. (2004), *Developing intelligent agent systems. A practical guide*, John Wiley & Sons Ltd.
30. Wooldridge, M. (2002), *An introduction to multiagent systems*, John Wiley & Sons, Ltd.
31. Wooldridge, M. and Jennings, N.R. (1995), Intelligent agents: Theory and practice, *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 10, no. 2, pp. 115-152.
32. Available at: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/entity>
33. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Entity>
34. Wooldridge, M. (2000), *Reasoning about rational agents*, The MIT Press, Massachusetts, USA.
35. Hexmoore, H., Castelfranchi, C. and Falcone, R., eds (2003), *Agent autonomy*, Springer Science + Business Media, LLC.
36. Nickles, M., Rovatsos, M. and Weiss, G. eds (2005), *Agents and computational autonomy. Potential, risks and solutions*, Springer Science + Business Media, Inc.
37. Mele, A.R. (1995), *Autonomous agents. From self-control to autonomy*, Oxford University Press, Oxford, USA.
38. Leitno, P. and Karnouskos, S., eds (2015), *Industrial agents. Emerging applications of software agents in industry*, Elsevier.
39. Odell, J. (2007), Agent technology: What is it and why do we care? *Enterprise Architecture Advisory Service Executive Report*. Cutter Consortium, Vol. 10, no. 3, pp. 1-25.

40. Weyns, D., Michel, F., Van Dyke Parunak, H. et al. (2015), Agent environments for multi-agent systems – a research roadmap, *Proceedings of the 4th International Workshop “Agent Environments for Multi-Agent Systems”* (E4MAS 2014), Springer, Paris, France, pp. 3-21.
41. Weyns, D., Omicini, A. and Odell, J. (2007), Environment as a first class abstraction in multiagent systems, Vol. 14, Iss. 1, pp. 5-30.
42. Russell, S. and Norvig, P. (2007), *Iskusstvennyi intellekt: Sovremennyi podkhod* [Artificial intelligence: Modern approach], 2nd ed., Transl. from English, Izd. dom “Vilyams”, Moscow, Russia.
43. Shatalkin, A.I. (2012), *Taksonomiya. Osnovy, printsipy i pravila* [Taxonomy. Grounds, principles and rules], *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*, Moscow, Russia.
44. Yilmaz, L. and _ren, T. eds (2009), Agent-directed simulation and systems engineering, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
45. Kondakov, N.I. (1976), *Logicheskii slovar spravochnik* [Logical reference-dictionary], Nauka, Moscow, USSR.
46. Bocharov, V.A. and Markin, V.I. (1998), *Osnovy logiki* [The basics of logic], INFRA-M, Moscow, USSR.
47. H’ppner, S. (2003), An agents’ definition framework and a methodology for deriving agents’ taxonomies, *Proceedings of the 26th Annual German Conference on AI*, Hamburg, Germany, pp. 618-632.
48. Poole, D.L. and Mackworth, A.K. (2010), *Artificial intelligence: Foundations of computational agents*, Cambridge University Press, Cambridge, USA.
49. Wilson, R.A. and Keil, F.C. eds (1999), *The MIT encyclopedia of the cognitive sciences*, The MIT Press, Massachusetts, USA.
50. Siebers, P.-O. and Aickelin, U. (2008), Introduction to multi-agent simulation, *Encyclopedia of decision making and decision support technologies*, Ed. by Adam, F., Humphreys, P., IGI Global.
51. Brenner, W., Zarnekow, R. and Schubert, C. (1998), *Intelligent software agents: foundations and applications*, Springer-Verlag.
52. Green, S., Hurst, L., Nangle, B., Cunningham, P., Somers, F. and Evans, R. (1997), *Software agents: A review*. Dublin, Trinity College Dublin, Department of Computer Science, TCD-CS-1997-06.
53. Janca, P.C. and Gilbert, D. (1998), Practical design of intelligent agent systems. *Agent technology: Foundations, applications, and markets*, Edited by Jennings, N.R. and Wooldridge, M.J., Springer, pp. 73-89.
54. Genesereth, M.R. and Ketchpel, S.P. (1994), Software agents, *Communications of ACM*, Vol. 37, no. 7, pp. 48-53.
55. Subrahmanian, V.S. et al. (2000), *Heterogeneous agent systems*, The MIT Press, Massachusetts, USA.
56. Zhang, Z. and Zhang, C. (2004), *Agent-based hybrid intelligent systems: An agent-based framework for complex problem solving*, Springer.
57. Bordini, R.H. et al. eds. (2005), *Multi-agent programming: Languages, platforms and applications*, Springer.
58. Yampolskiy, R.V. (2016), *Artificial superintelligence: A futuristic approach*, CRC Press.
59. Hibbard, B. (2012), Model-based utility functions, *Journal of Artificial General Intelligence*, Vol. 3, Iss. 1, pp. 1-24.
60. Orseau, L. and Ring, M. (2011), Self-modification and mortality in artificial agents, *Proceedings of the 4th International Conference on Artificial General Intelligence* (AGI 2011), USA, pp. 1-10.
61. Brazier, F.M., Wijngaards, N.J.E. (2001), Designing Self-Modifying Agents, *Proceedings of International Conference of Computational and Cognitive Models of Creative Design V*, Sydney, pp. 93-112.

62. Lin, L.-J. (1992), Self-reactive agents based on reinforcement learning, planning and teaching, *Machine Learning*, Vol. 8, pp. 293-321.
63. Schmidhuber, J. (1999), A general method for incremental self-improvement and multi-agent learning in unrestricted environments, *Evolutionary Computation: Theory and Applications*, World Scientific Publishing Co, pp. 81-123.
64. Yampolskiy, R.V., Ashby, L. and Hassan, L. (2012), Wisdom of artificial crowds – a metaheuristic algorithm for optimization, *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, Vol. 4, pp. 98-107.
65. Zimmermann, J., Henze, H.H. and Cremers, A.B. (2015), G`del agents in a scalable synchronous agent framework, *Proceedings of the 8th International Conference on Artificial General Intelligence (AGI 2015)*, Germany, pp. 404-413.
66. Wang, S. (2016), Towards dynamic epistemic learning of actions for self-improving agents and multi-agent systems, *Proceedings of IEEE International Conference on Autonomic Computing (ICAC 2016)*, Germany, pp. 292-299.
67. Mahoney, M. A model for recursively self improving programs, available at: <http://mattmahoney.net/rsi.pdf>.
68. Steunebrink, B.R., Thyrisson, K.R. and Schmidhuber, J. (2016), Growing recursive self-improvers, *Proceedings of the 9th International Conference on Artificial General Intelligence (AGI 2016)*, USA, pp. 129-139.
69. Yampolskiy, R.V. (2015), On the limits of recursively self-improving AGI, *Proceedings of the 8th International Conference on Artificial General Intelligence (AGI 2015)*, Germany, pp. 394-403.
70. Ginodman, V.A., Obelets, N.V. and Pavlov, A.A. (2014), *Ot pervykh virusov do tselevykh atak* [From first viruses to target attacks], NIYaU MIFI, Moscow, Russia.
71. Kaspersky, K. (2005), *Zapiski issledovatelya kompyuternykh virusov* [The notes of the computer virus surveyor], Piter, St.Petersburg, Russia.
72. Klimentyev, K.E. (2013), *Kompyuternyie virusy i antivirusy: vzglyad programmista* [Computer viruses and anti-viruses: the programmer's view], DMK Press, Moscow, Russia.
73. Gordon, Ya. (2004), *Kompyuternyie virusy bez sekretov* [Computer viruses without secrets], Novyi izdatelskii dom, Moscow, Russia.
74. Bonfante, G., Marion, J.-Y. and Reynaud-Plantey, D. (2009), A computability perspective on self-modifying programs, *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Software Engineering and Formal Methods*, USA, pp. 231-239.
75. Rennard, J.-P. ed. (2007), *Handbook of research on nature inspired computing for economics and management*, Idea Group Inc.
76. Alkhateeb, F., Maghayreh, E.A. and Doush, I.A. (2011), Multi-agent systems – modeling, control, programming, simulations and applications, InTech.
77. Barnes, D.J. and Chu, D. (2010), *Introduction to modeling for biosciences*, Springer.
78. Meyer, R. (2015), Event-driven multi-agent simulation, *Proceedings of International Workshop "Multi-Agent-Based Simulation" (MABS 2014)*, Springer, Paris, France, pp. 3-16.
79. Uhrmacher, A.M. and Weyns, D. (2009), *Multi-agent systems: simulation and applications*, CRC Press.
80. Reynolds, C. (1987), Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model, *Proceedings of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH'87)*, pp. 25-34.
81. Aitken, M., Butler, G., Lemmon, D., Saindon, E., Peters, D. and Williams, G. (2004), The lord of the rings: the visual effects that brought middle earth to the screen, *International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH'04)*, *Course Notes*, Article № 11, Los Angeles, USA.

82. Burke, R., Isla, D., Downie, M., Ivanov, Y. and Blumberg, B. (2002), Creature smarts: The art and architecture of a virtual brain, *Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Games and Simulation (Game-On 2002)*, Westminster, UK, pp. 89-93.
83. Perlin, K. and Goldberg, A. (1996), Improv: A system for scripting interactive actors in virtual worlds, *Proceedings of the ACM Computer Graphics Annual Conference*, NY, USA, pp. 205-216.
84. Musse, S.R. and Thalmann, D. (2001), Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 7, no. 2, pp. 152-164.
85. Buckland, M. (2005), Programming game AI by example, Wordware Publishing, Inc.
86. Gemrot, J., Kadlec, R., BRda, M., Burkert, O., et al. (2009), Pogamut 3 can assist developers in building AI (not only) for their videogame agents, *Agents for games and simulations. Trends in techniques, concepts and design*, Edited by Dignum, F., Bradshaw, J., Silverman, B., van Doesburg, W. Springer, pp. 1-15.
87. Bedau, M.A. (2007), Artificial life. Handbook of the Philosophy of Biology, Edited by Matthen, M., Stephens, C., Elsevier.
88. Kumar, A. (2012), An overview of abstract and physical characteristics “Artificial Life Systems”, *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 2, Iss. 12, pp. 1-7.
89. Banzhaf, W. and McMullin, B. (2012), Artificial life. Handbook of Natural Computing, Edited by Rozenberg, D., Springer.
90. Komosinski, M. and Adamatzky, A. eds. (2009), Artificial life models in software, Springer.

Received 18.09.17

A.L. Yalovets

ABOUT THE TAXONOMY OF AUTONOMOUS AGENTS

The problem of constructing taxonomy of autonomous agents has been investigated. The most well-known taxonomy of autonomous agents proposed by S. Franklin and A. Graesser has been analyzed and the contradictions in it have been considered. Based on this analysis results a new taxonomy of autonomous agents is proposed. This taxonomy realizes natural classification of autonomous agents and takes into account the current state of their research. The classes and subclasses of autonomous agents that are represented in the taxonomy are defined. Three main classes of computer agents are compared and the main differences between them are distinguished.

Keywords: taxonomy, classification, autonomous agents, software agents, modeling agents, simulation agents.

ЯЛОВЕЦЬ Андрій Леонідович, д-р техн. наук, заст. директора з наукової роботи Інституту програмних систем НАН України. У 1981 р. закінчив Запорізький індустріальний ін-т. Область наукових досліджень — методи і моделі штучного інтелекту, методологія математичного моделювання в розробці систем штучного інтелекту.

