

О. Ю. Бочкарьов, В. А. Голембо
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин

САМООРГАНІЗАЦІЯ АВТОНОМНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ У ЗАДАЧАХ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

© Бочкарьов О.Ю., Голембо В.А., 2010

Розглянуто проблему самоорганізації автономних розподілених систем у задачах прийняття рішень в умовах невизначеності. Запропоновано узагальнений підхід до вирішення цієї проблеми та способи опису і моделювання відповідних алгоритмів самоорганізації автономних розподілених систем.

The problem of organization of joint coordinated actions of a collective formed by itelligent autonomous agents is considered. The generalized approach to solve the problem and methods of specification and modelling of the corresponding algorithms of itelligent autonomous agents' collective behaviour are proposed.

Вступ. Сьогодні все більшої ваги набувають дослідження та розробки у галузі автономних розподілених систем (АРС), призначених для розв'язання багатьох прикладних задач без участі людини шляхом прийняття рішень в умовах невизначеності. Головними тенденціями у цій галузі є подальше збільшення рівня автономності розподілених систем (їм передається все більше повноважень у прийнятті рішень) та збільшення надійності роботи АРС шляхом децентралізації управління (організації узгодженої спільної роботи вузлів системи за умов відсутності єдиного центру). Однак на цьому шляху виникає ціла низка складних проблем, пов'язаних з прийняттям рішень в умовах невизначеності та використанням ресурсу децентралізованого управління. Однією з таких проблем є проблема координації незалежних процесів прийняття рішень окремими вузлами у межах єдиної АРС. Відтак в роботі розглядається актуальне питання розв'язання цієї проблеми шляхом розроблення узагальненого підходу до вирішення задач координації спільних узгоджених дій вузлів АРС на основі принципів самоорганізації.

Стан проблеми. Автономні розподілені системи призначені для виконання поставлених перед ними завдань без участі людини (автономність) в ситуаціях, коли необхідно рознести окремі елементи (частини) системи в просторі об'єкта управління (розподіленість). АРС використовують для розв'язання задач в умовах нестачі інформації (невизначеності), коли розробнику (користувачу) не відомі наперед деякі параметри цих задач (наприклад, певні характеристики об'єкта управління або характер збурень, які виникають у середовищі, в якому розміщено АРС). Внаслідок цього вузлам АРС делегують повноваження з прийняття рішень “на місці” залежно від обставин. За термінологією, яка склалася у галузі дослідження та розроблення таких систем, окремий вузол АРС отримав назву автономний агент (autonomous agent), що відображає його часткову або повну незалежність у прийнятті рішень від людини-користувача системи та інших вузлів АРС. Відповідно загалом АРС розглядається як багатоагентна система (multi-agent system) [1,2] або колектив автономних агентів [3,4,5]. Цими термінами відображається децентралізованість АРС, тобто відсутність в системах такого класу єдиного центру управління.

Існуючі сьогодні підходи до дослідження та розроблення АРС можна умовно поділити на два великі класи: 1) об'єднання в колектив множини “простих” автономних агентів з метою отримання синергетичного ефекту від їх спільних зусиль [3,4,5]; 2) координація поведінки множини “складних” (інтелектуальних) автономних агентів, об'єднаних у багатоагентну систему [1,2].

Спільним недоліком цих підходів є спрямування зусиль в окремих специфічних напрямках досліджень (наприклад, лише на проблемі побудови ігрових методів координації автономних агентів [2]) за відсутності вкрай необхідних узагальнень у межах ширшого системного підходу.

Постановка задачі. Розглянути проблему самоорганізації автономних розподілених систем у задачах прийняття рішень в умовах невизначеності. Розробити узагальнений підхід до вирішення цієї проблеми та способи опису і моделювання відповідних алгоритмів самоорганізації автономних розподілених систем.

Розв'язання задачі. Розв'язання поставленої задачі ґрунтується на ідеї самоорганізації автономної розподіленої системи (колективу автономних агентів) як процесу взаємодоповнення та впорядковувального об'єднання вузлів АРС (автономних агентів) у єдиний колектив, функціональні можливості якого вищі за просту суму можливостей окремих автономних агентів та який здатний адаптуватись до змін і впливів зовнішнього середовища шляхом зміни своєї структури, функцій та параметрів [6–18]. За цією ідеєю, в роботі запропоновано: 1) узагальнений опис автономної розподіленої системи; 2) концептуальна модель колективу автономних агентів; 3) механізм забезпечення спільних узгоджених дій автономних агентів.

Узагальнений опис автономної розподіленої системи. У найзагальнішому випадку АРС розглядається як однорангова множина n вузлів (автономних агентів) $A = \{a\}_n$, повністю або частково незалежних з погляду процесу прийняття рішень. Кожний вузол АРС (автономний агент) безпосередньо взаємодіє з середовищем E (об'єктом управління), в якому розміщено АРС. На кожному кроці цієї взаємодії автономний агент a згідно з узагальненою функціональною схемою автономного агента (рис. 1): 1) сприймає поточний стан середовища s за допомогою сенсорної системи $P(E, a)$, 2) оцінює поточний стан середовища на основі заданої функції оцінки $R(s, a)$, 3) обмінюється деякою службовою інформацією з іншими агентами у спосіб $C(a)$, який визначається моделлю інформаційної взаємодії автономних агентів; 4) приймає рішення про вибір своїх подальших дій згідно з деяким алгоритмом прийняття рішень $U(a)$, намагаючись максимізувати задану цільову функцію $f(a)$; 5) реалізує обрані дії в середовищі за допомогою наявних виконавчих підсистем $D(a)$.

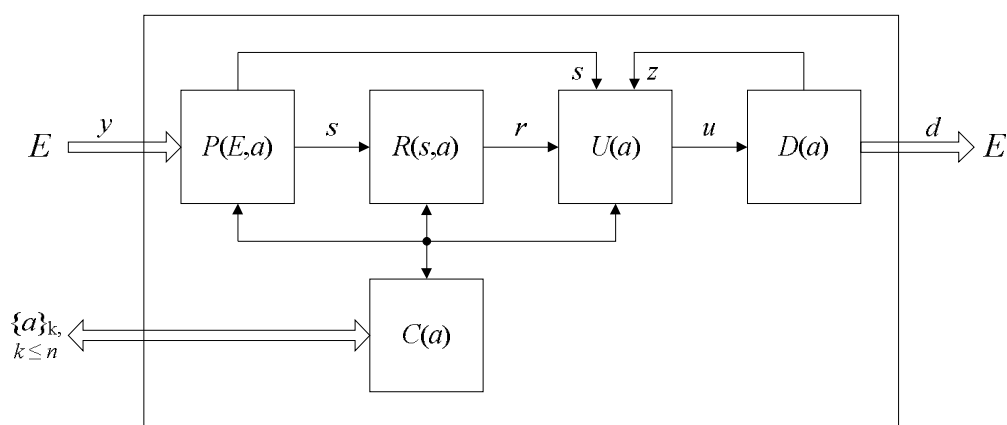


Рис. 1. Узагальнена функціональна схема автономного агента (вузла АРС)

Множина автономних агентів A , об'єднаних деякою спільною метою, утворює колектив автономних агентів (багатоагентну систему, multiagent system). Колективна дія – це сукупність індивідуальних дій окремих автономних агентів (рис. 2). Послідовність колективних дій під час міжагентної взаємодії та взаємодії з середовищем E формує колективну поведінку АРС. Отже, колективна поведінка відображає хід частково або повністю незалежних процесів прийняття рішень окремими автономними агентами, які входять до складу АРС. Цільова функція всього колективу

$F(A)$ – це агрегатна функція (aggregate function), яка об’єднує цільові функції окремих агентів $\{f(a)\}$ і визначає характер та спрямування колективної поведінки. Відтак, у разі заданої цільової функції колективу постає проблема її відображення у множину цільових функцій окремих агентів:

$$F(A) \rightarrow \{f(a)\}.$$

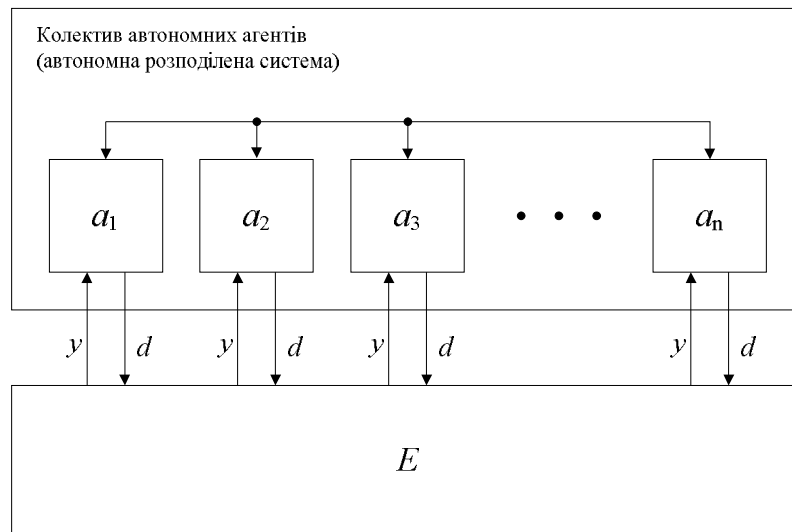


Рис. 2. Схема взаємодії колективу автономних агентів із середовищем

У загальному випадку припускається, що цільові функції автономних агентів $\{f(a)\}$ можуть бути різними. В більш специфічному (з погляду особливостей синтезу) випадку додатково вимагається, щоб усі цільові функції $\{f(a)\}$ були однаковими [3, 4]. У такий спосіб досягають максимальної живучості АРС внаслідок повної взаємозамінності окремих вузлів АРС (автономних агентів) та спрощується практична реалізація АРС за рахунок повної уніфікації її вузлів.

Після знаходження цільових функцій $\{f(a)\}$ постає проблема їх відображення у характеристики сенсорної системи, функції оцінки, спосіб інформаційної взаємодії агентів, алгоритми прийняття рішень та можливості щодо їх реалізації:

$$\{f(a)\} \rightarrow \{P(E,a), R(s,a), C(a), U(a), D(a)\}.$$

Як правило, цю задачу синтезу доцільно розбити на дві підзадачі: 1) вибір і забезпечення сенсорних, комунікаційних та виконавчих можливостей автономних агентів $\{P(E,a), C(a), D(a)\}$; 2) розроблення алгоритмів колективної поведінки $\{R(s,a), U(a)\}$, ґрунтуючись на заданих можливостях автономних агентів. Разом з тим розглядаються також інші питання, пов’язані з витратами енергії, забезпеченням необхідної обчислювальної потужності та ін.

Основні вимоги, які висуваються до алгоритмів колективної поведінки, наступні: 1) робота в реальному масштабі часу: вибір рішення окремим автономним агентом має займати деякий незмінний проміжок часу, який не перевищує заданої величини затримки; 2) локальність поведінки: алгоритм колективної поведінки має бути поданий у вигляді сукупності локальних алгоритмів індивідуальної поведінки автономних агентів; 3) локальність взаємодії: алгоритм колективної поведінки має коректно працювати в умовах обмеженої інформаційної взаємодії агентів (наприклад, в умовах обмеженого радіуса видимості засобів зв’язку вузлів АРС); 4) уніфікованість (“однаковість”): всі автономні агенти мають виконувати один і той самий локальний алгоритм (для випадку однакових цільових функцій $\{f(a)\}$); 5) незалежність роботи локальних алгоритмів від поточної кількості автономних агентів: алгоритм колективної поведінки має продовжувати працювати коректно, незважаючи на зміни чисельності колективу (наприклад, внаслідок виходу деяких автономних агентів з ладу або приєднання до колективу нових автономних агентів). Останні дві вимоги в багатьох випадках розглядають як занадто жорсткі і не беруть до уваги [12].

Отже, процес створення APC складається з трьох основних кроків: 1) визначення цільової функції колективу автономних агентів $F(A)$; 2) визначення цільових функцій окремих автономних агентів $\{f(a)\}$, враховуючи $F(A)$; 3) забезпечення необхідних можливостей автономних агентів $\{P(E,a), C(a), D(a)\}$ та розроблення алгоритмів колективної поведінки $\{R(s,a), U(a)\}$, враховуючи $\{f(a)\}$.

Концептуальна модель колективу автономних агентів. Сьогодні існує багато прикладів практичної реалізації та застосування APC (колективів автономних агентів, багатоагентних систем) у різних галузях [1, 2, 6, 8, 14, 18]. Серед них можна знайти як системи розподіленої робототехніки на основі автономних мобільних робототехнічних агентів (robotic agents), так і багатоагентні системи на основі програмних агентів (software agents). Однак все це різноманіття практичних реалізацій APC та підходів до опису APC у межах вирішення окремих спеціальних проблем колективної поведінки доцільно описати у вигляді загальної концептуальної моделі колективу автономних агентів. Це дасть змогу уникнути прикрих “повторів” вже існуючих рішень під час розроблення нових APC, а також збільшить область пошуку можливих варіантів рішень. Крім того, така концептуальна модель може стати основою для теоретичних досліджень та пошуку універсальних законів колективної поведінки автономних агентів (вузлів APC) у найзагальнішому вигляді. За рахунок цього з’явиться можливість автоматизувати процес розроблення нових APC, а також, що особливо цікаво, використати ці закони в механізмах самоорганізації APC шляхом делегування повноважень за їх (незалежним від людини) дослідженням та використанням самими автономними агентами (вузлами APC).

Для опису загальної концептуальної моделі колективу автономних агентів зручно розглянути окремо дві групи моделей-компонент: 1) моделі функціонування колективу автономних агентів, які відображають різні аспекти побудови та режиму роботи колективу; 2) моделі об’єднання автономних агентів в колектив, які відображають різні аспекти (само-)організації колективної поведінки.

До моделей функціонування колективу автономних агентів можна віднести такі моделі:

1) M_a – модель автономного агента (окремого вузла APC) як складового елемента колективу. Ця модель визначає можливості окремого автономного агента із сприйняття станів середовища і впливу на нього, а також “когнітивні” можливості агента з погляду процесу прийняття рішень, тобто рівень його складності з огляду на два основних підходи до дослідження та розроблення APC, які зазначені вище;

2) M_c – модель інформаційної взаємодії автономних агентів. Ця модель визначає: 2.1) присутність або відсутність можливості інформаційної взаємодії між агентами (самовиявлений та несамовиявлений колектив [6]); 2.2) спосіб ідентифікації одним автономним агентом інших агентів колективу; 2.3) спосіб та порядок обміну інформацією між автономними агентами (зокрема якісні показники швидкості обміну та відповідного об’єму інформації, яким можуть обмінятися автономні агенти за одиницю часу);

3) M_n – модель числового складу колективу автономних агентів. Ця модель визначає кількісні характеристики колективу та характер їхніх змін у часі. При цьому порядок кількості агентів у колективі, який визначається цією моделлю (наприклад, 10, 100, 1000, ...) істотно впливає на роботу колективу, так як із зростанням кількості агентів, як правило, зростає “хаотична складова” в колективній поведінці [3]. На окрему увагу також заслуговують способи моделювання процесів зростання та скорочення чисельності агентів, наприклад, на основі механізмів популяційної динаміки [19].

Розглянемо детальніше способи ідентифікації одним автономним агентом інших агентів колективу. З погляду можливостей координації спільних дій автономних агентів можна запропонувати такі варіанти способів ідентифікації (у порядку зростання відповідних можливостей координації): 1) агент не розрізняє виявлених “сусідніх” агентів між собою і не може встановити їхньої кількості (результат ідентифікації: факт наявності або відсутності “сусідніх” агентів); 2) агент не розрізняє виявлених “сусідніх” агентів, але може встановити їхню кількість (додатковий результат ідентифікації: кількість “сусідніх” агентів (можливо, не точна кількість, а деяке відповідне порогове значення)); 3) агент розрізняє виявлених “сусідніх” агентів між собою, може визначити їхню кількість, але агенти не мають унікальних ідентифікаторів в межах всього колективу (додатковий

результат ідентифікації: масив “сусідів”, в якому ідентифікатор “сусіднього” агента дорівнює індексу в масиві); 4) агент розрізняє виявлених “сусідніх” агентів між собою, може визначити їхню кількість, і всі агенти мають унікальні ідентифікатори у межах всього колективу (додатковий результат ідентифікації: попередня історія “сусідства”, яка може бути використана для підвищення ефективності координації спільних дій автономних агентів). Крім цього на процедуру ідентифікації інших агентів можуть накладатись певні обмеження, наприклад, у вигляді заданої максимальної кількості “сусідніх” агентів (обмеження зверху), які можуть бути виявлені цим агентом в один момент часу (як умова гарантованої швидкодії роботи процедури ідентифікації або як наслідок обмеженої пам’яті автономного агента).

До моделей об’єднання автономних агентів в колектив належать такі моделі:

1) M_{dc} – модель співвідношення децентралізованого та централізованого управління процесами спільного прийняття рішень автономними агентами. Ця модель визначає ступінь незалежності окремого агента від інших агентів колективу з погляду механізму прийняття рішень у межах деякої структури взаємного підпорядкування агентів один одному. У межах цієї моделі виконання одним агентом наказів іншого розглядається як елемент централізованого управління, тоді як самостійне прийняття рішення агентом розглядається як елемент децентралізованого управління. При цьому можна висунути гіпотезу, що максимальна децентралізація управління (відсутність будь-яких елементів централізації) в повному обсязі розкриває всі переваги ідеї самоорганізації;

2) M_{hg} – модель співвідношення однорідності та неоднорідності автономних агентів колективу. Ця модель визначає: 2.1) який зміст вкладається в поняття однорідності (неоднорідності) агентів (наприклад, можна розрізняти “однаковість” агентів з погляду їх функціональних можливостей (сенсорних, комунікаційних, виконавчих) та “однаковість” агентів щодо їх “когнітивних” можливостей) та 2.2) яке співвідношення “однакових” та “різних” автономних агентів у складі колективу реалізовано (наприклад, в повністю однорідному колективі – усі автономні агенти “однакові” в тому чи іншому розумінні). У межах цієї моделі розкриваються поняття функціональної спеціалізації автономних агентів та взаємодоповнення різних функціональних ролей, які обирають для себе автономні агенти;

3) M_{cc} – модель співвідношення співпраці та суперництва між автономними агентами колективу. Ця модель визначає ступінь незбігу індивідуальних інтересів окремих автономних агентів і загального колективного інтересу, тобто силу об’єднання автономних агентів (вузлів АРС) спільним колективним інтересом (або ступінь інтегрованості автономних агентів у склад колективу). У межах цієї моделі узгоджене сумісне виконання дій агентами розглядається як елемент співпраці, а виконання суперечливих дій, які призводять до конфліктів між агентами, розглядається як елемент суперництва (наприклад, в ситуаціях конкуренції за одиниці спільного ресурсу).

Отже, на основі запропонованих моделей функціонування та моделей об’єднання можна побудувати таку концептуальну модель колективу автономних агентів:

$$M(k) = \{M_a, M_c, M_n\} \times \{M_{dc}, M_{hg}, M_{cc}\},$$

різні реалізації якої $k=1,2,\dots$ задаються вибором вигляду відповідних моделей-компонент та визначенням їхніх параметрів.

Механізм забезпечення спільних узгоджених дій автономних агентів. Враховуючи ідею самоорганізації колективу автономних агентів, а також ґрунтуючися на: 1) принципі ієрархії (“вкладеності”) процесів управління та прийняття рішень [3], застосування якого дає змогу абстрагуватись від специфіки способу організації переміщення та інших аспектів роботи окремого автономного агента, та 2) принципі функціональної декомпозиції (розбиття задачі на підзадачі) можна запропонувати такий набір базових службових алгоритмів колективної поведінки автономних агентів, який складається з двох частин:

1. Базові алгоритми координації (A1):
 - 1.1. Самовиявлення колективу автономних агентів.
 - 1.2. Самоіменування колективу автономних агентів.
 - 1.3. Самоузгодження колективу автономних агентів.

2. Базові алгоритми самоорганізації (A2):

- 2.1. Самовпорядкування колективу автономних агентів в просторі.
- 2.2. Самосинхронізація колективу автономних агентів в часі.
- 2.3. Самоорганізація колективу автономних агентів за параметром.

Базові алгоритми координації A1 відповідають за підтримку організаційної інфраструктури колективу автономних агентів. Під самовиявленням колективу розуміють отримання кожним окремим автономним агентом інформації про інших автономних агентів (які, наприклад, знаходяться в зоні видимості засобів детектування або зв'язку даного автономного агента) з метою сформуванню “зв'язний” колектив. Формат та зміст цієї інформації визначає розробник у межах відповідної моделі інформаційної взаємодії автономних агентів M_c .

Під самоіменуванням розуміють процес породження множини унікальних у межах колективу імен (ідентифікаторів) автономних агентів, тобто перехід від початкового набору однакових величин (імен) автономних агентів до набору гарантовано різних величин (імен), зокрема в умовах динамічних змін чисельності колективу (вибуття одних автономних агентів і входження в колектив інших автономних агентів). Під самоузгодженням колективу автономних агентів розуміють процес погодження усіма автономними агентами, що входять до колективу, деякої однакової для всіх величини, тобто перехід від набору можливо різних величин до набору однакових для всіх автономних агентів величин (задачі цього класу також називають задачами на пошук консенсусу [1]).

Базові алгоритми самоорганізації A2 забезпечують основну функціональність колективу автономних агентів з погляду самоорганізації спільних узгоджених дій. Під самовпорядкуванням колективу автономних агентів у просторі (просторовою самоорганізацією [13, 15–17]) розуміють здатність колективу цілеспрямовано управляти розміщенням та переміщенням своїх представників у просторі, враховуючи поставлені перед ним задачі вищого рівня. До алгоритмів просторової самоорганізації зокрема належать: 1) впорядковане розміщення автономних агентів у просторі (розгортання колективу): рівномірне заповнення колективом автономних агентів обмеженої деякими границями ділянки простору [15, 17]; формування автономними агентами правильної решітки із заданим кроком; формування гнучкої решітки, форма якої залежить від характеристик навколишнього середовища; 2) “формування” геометричних фігур: лінії, кола, квадрата і т.п. із заданим кроком між автономними агентами [10, 13]; 3) впорядковане переміщення автономного агента у просторі (узгоджене групове переміщення, переміщення за схемою лідер–наслідувач, слідування заданій траєкторії руху і т.п.); 4) уникнення зіткнень з іншими автономними агентами в процесі переміщення; 5) колективне подолання (оминання) перешкод та ін.

Під самосинхронізацією колективу автономних агентів у часі розуміють процес синхронізації дій автономних агентів у фізичному або логічному часі (з урахуванням лише послідовності подій) за умов відсутності “зовнішнього годинника” (тобто єдиного центра, який забезпечує “примусову” синхронізацію), локальної обмеженої взаємодії між автономними агентами та змінних невідомих наперед затримок під час обміну синхронізуючими сигналами.

Під самоорганізацією колективу автономних агентів за параметром (параметричною самоорганізацією) розуміють здатність автономних агентів узгоджувати свої дії (наприклад, переміщення) на основі показів своїх сенсорних підсистем [11]. До алгоритмів параметричної самоорганізації зокрема належать: 1) рух колективу автономних агентів вздовж лінії рівня деякого параметра навколишнього середовища (наприклад, температури); 2) виявлення та оточення зони збурень навколишнього середовища (наприклад, виявлення та оточення нафтової плями); 3) рівномірний розподіл автономних агентів у межах виявленої зони збурень; 4) уникання автономними агентами зони збурень; 5) супроводження автономними агентами зони збурень, що переміщується в просторі та ін.

Основними показниками ефективності роботи алгоритмів (A1,A2) є час виконання алгоритму (мета – мінімізація кількості часових кроків) та використання енергетичних, обчислювальних та комунікаційних ресурсів (мета – мінімізація витрат ресурсу). Окремо можна розглядати питання “функціональної повноти” запропонованого набору службових алгоритмів (A1,A2).

Тобто за узагальненим підходом вирішення проблеми самоорганізації узгоджених колективних дій автономних агентів можна шукати одночасно на двох рівнях: 1) інфраструктурному рівні (розроблення та організація службових алгоритмів у межах набору (A1,A2)) та 2) прикладному рівні (розроблення складних стратегій колективної поведінки [8,12,14] з використанням службових алгоритмів (A1,A2) як “готових” складових елементів). Своєю чергою, складні стратегії колективної поведінки прикладного рівня, які можуть бути достатньо формалізовані (до них, наприклад, належать стратегії пошуку, патрулювання, моніторингу та ін.) також можна виділити в окремий проміжний рівень і використовувати надалі як “готові” рішення.

Висновки. У роботі розглянуто проблему самоорганізації автономних розподілених систем у задачах прийняття рішень в умовах невизначеності. Розроблено узагальнений підхід до вирішення цієї проблеми, запропоновані способи опису і моделювання відповідних алгоритмів самоорганізації автономних розподілених систем, зокрема запропоновано концептуальну модель колективу автономних агентів та механізм забезпечення спільних узгоджених дій автономних агентів, враховуючи ідеї самоорганізації.

1. *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*, by Gerhard Weiss (Editor), MIT Press, 2000. – 648p. 2. *Michael Wooldridge, An Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons, 2002. – 348 p. 3. *Цетлин М.Л. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем.* – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва “Наука”, 1969. – 316 с. 4. *Варшавский В.И. Коллективное поведение автоматов.* – М.: Наука, 1973. – 408с. 5. *Eric Bonabeau, Marco Dorigo, Guy Theraulaz, Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems (Santa Fe Institute Studies on the Sciences of Complexity)*, Oxford University Press, 1999. – 288p. 6. *Бочкарёв О.Ю., Голембо В.А. Система розподілених контактних вимірювань на основі автономних мобільних інтелектуальних агентів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2001. – № 437. – С. 14–20.* 7. *Бочкарёв О.Ю., Голембо В.А. Моделі колективної поведінки вимірювальних агентів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2002. – № 463. – С. 19–27.* 8. *Мельник А.О., Голембо В.А., Бочкарёв О.Ю. Нові принципи побудови вимірювально-обчислювальних мереж на основі інтелектуальних агентів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2003. – № 492. – С. 100–107.* 9. *Бочкарёв О.Ю., Голембо В.А. Інтерполяційна модель колективної поведінки мобільних агентів вимірювально-обчислювальної мережі // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2003. – № 492. – С. 21–27.* 10. *Бочкарёв О.Ю., Голембо В.А., Попадюк Х.Р. Самоорганізація колективу мобільних агентів у просторі: формування многокутника // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2004. – № 523. – С. 15–23.* 11. *Бочкарёв О.Ю., Голембо В.А., Грицуляк Т.О., Параметрична самоорганізація колективу вимірювальних агентів: задача оточення зони збурень // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2004. – № 523. – С. 6–15.* 12. *Бочкарёв А.Ю., Голембо В.А. Самоорганизация коллектива мобильных измерительных агентов в задаче распределенных контактных измерений // Искусственный интеллект. – 2005. – №3. – С. 723–731.* 13. *Бочкарёв О.Ю., Голембо В.А., Попадюк Х.Р. Розробка та вирішення тестових задач просторової самоорганізації багатоагентної системи // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2005. – № 546. – С. 17–23.* 14. *Бочкарёв О.Ю. Колективна поведінка мобільних інтелектуальних агентів в задачах автономних розподілених досліджень // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2005. – № 546. – С. 12–17.* 15. *Голембо В.А., Бочкарёв О.Ю., Ціж А.М. Задача формування індивідуальних зон відповідальності колективом мобільних агентів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2006. – № 573. – С. 62–67.* 16. *Голембо В.А., Бочкарёв О.Ю., Попадюк Х.Р. Проблема алгоритмічного забезпечення колективної поведінки автономних мобільних агентів в задачах просторової самоорганізації // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2007. – № 603. –*

С. 26–30. 17. Бочкаръов О.Ю., Голембо В.А., Ціж А.М. Колективна поведінка мобільних агентів в задачах рівномірного розподілу обмеженої території // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2008. – № 630. – С. 31–35. 18. Голембо В.А., Бочкаръов О.Ю., Гребеняк А.В. Проблема організації узгоджених колективних дій автономних мобільних підводних апаратів // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – 2009. – № 650. – С. 167–173. 19. Васин А.А. Модели динамики коллективного поведения. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 156 с.

УДК 658.562

Т.З. Бубела, Т.В. Рябкова

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

АЛГОРИТМ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ

© Бубела Т.З., Рябкова Т.В., 2010

Здійснено аналітичне дослідження проблем оперативного контролю ґрунтів. Запропоновано алгоритм оцінювання стану їх забруднення шляхом використання імітансних методів.

Analytical research of problems of operative control of soils is carried out. The algorithm of evaluation of the state of their contamination is offered by the use of imitansnikh methods.

Вступ. Сьогодні техногенне забруднення довкілля невпинно зростає, тому особливої актуальності набула проблема оперативного контролю за його станом. Найбільше занепокоєння викликають процеси деградації ґрунтового покриву, обумовлені наявністю залишкової кількості пестицидів, частка яких у загальному забрудненні навколишнього середовища становить 3 %.

Огляд літературних джерел. Стан ґрунтового покриву оцінюється шляхом моніторингу, тобто аналізу низки послідовних спостережень за показниками ґрунтів. Інформаційне забезпечення моніторингу земель складається з даних, які мають необхідну повноту для об’єктивного оцінювання ситуації, її моделювання та прогнозування. Нормативною базою моніторингу є встановлення граничнодопустимих концентрацій (ГДК) показників забруднення, які для пестицидів мають відповідні значення (табл. 1) [1, 2]. За хімічним складом останні можна поділити на пестициди на основі міді, хлорорганічні, фосфорорганічні, сірковмісні та інші. Варто зазначити, що пестицид на основі міді, а саме купроксат, безпосередньо досліджувався авторами. Аналіз стану використання пестицидів за останні роки (табл. 2) свідчить, що найбільше їх було використано в АР Крим, а найменше – у Закарпатті.

Слід зазначити, що найдовше у ґрунті та рослинах зберігаються хлорорганічні пестициди, а найшвидше ліквідовуються фосфорорганічні пестициди. Для визначення останніх використовують стандартизований метод газової хроматографії [3, 4]. Проте він має недоліки, пов’язані з обмеженою кількістю видів пестицидів, що визначаються складністю реалізації, ймовірністю зменшення ефективності методу у різних за складом ґрунтах, довго- тривалістю та коштовністю аналізу.