ПОЛІАГЕНТНІ ФУНКЦІОНАЛИ В ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ

*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

Анотація. Застосування багатоагентного підходу до реалізації технологій інтелектуального моніторингу у формі моніторингових інформаційних систем дозволяє їм набути нових властивостей при заміні завдань моніторингу. У кризових умовах, коли властивості об'єктів моніторингу різко змінюються, від моніторингової інформаційної системи вимагається здатність отримати відомості про нові властивості об'єктів за умов відсутності нових спостережень за поведінкою цих об'єктів. Інформативність існуючих масивів даних знижується. Для забезпечення інформацією процесів прийняття рішень впродовж періоду накопичення результатів нових спостережень вимагається значне підвищення потужності засобів видобування цієї інформації із існуючих масивів даних. З цією метою запропоновано будувати моніторингові інформаційні системи як сукупність агентів та методів побудови відношень між ними. Можливість зростання потужності засобів перетворення інформації запропоновано забезпечувати шляхом побудови надагентних утворень – агентних функціоналів. Оскільки вимоги до агентних функціоналів на різних рівнях ієрархічної структури МІС різні, запропоновано виділяти мультиагентні та поліагентні функціонали. Вони відрізняються призначенням, структурою, сумісністю масивів вхідних даних, за якими будувались їх агенти, методами формування відносин між агентами. Спільним для них є ешелонна структура, забезпечення адаптивності інформаційних технологій інтелектуального моніторингу до змін властивостей об'єктів та заміни завдань моніторингу. Запропонований новий метод формування відношень між агентами у формі висхідного конструювання структури агентних функціоналів. Описаний процес формування поліагентного простору. Експериментально доведено залежність емерджентності агентного функціонала від інформативності поліагентного простору.

Ключові слова: інтелектуальний моніторинг, моніторингові інформаційні системи, агент, відношення між агентами, агентний функціонал, поліагентне середовище.

Аннотация. Применение многоагентного подхода к реализации технологий интеллектуального мониторинга в форме мониторинговых информационных систем позволяет им приобрести новые свойства при замене задач мониторинга. В кризисных условиях, когда свойства объектов мониторинга резко меняются, от мониторинговой информационной системы требуется способность получить сведения о новых свойствах объектов в условиях отсутствия новых наблюдений за поведением этих объектов. Информативность существующих массивов данных снижается. Для обеспечения информацией процессов принятия решений в течение периода накопления результатов новых наблюдений требуется значительное повышение мощности средств добытия этой информации из существующих массивов данных. С этой целью предложено строить мониторинговые информационные системы как совокупность агентов и методов построения отношений между ними. Возможность увеличения мощности средств преобразования информации предложено обеспечивать путем построения надагентных образований – агентных функционалов. Поскольку требования к агентным функционалам на разных уровнях иерархической структуры МИС разные, предложено выделять мультиагентные и полиагентные функционалы. Они отличаются назначением, структурой, совместимостью массивов входных данных, по которым строились их агенты, методами формирования отношений между агентами. Общим для них является эшелонная структура, обеспечение адаптивности информационных технологий интеллектуального мониторинга к изменениям свойств объектов и замены задач мониторинга. Предложен новый метод формирования отношений между агентами в форме восходящего конструирования структуры агентных функционалов. Описан процесс формирования полиагентного пространства. Экспериментально доказана зависимость эмерджентности агентного функционала от информативности полиагентного пространства.

Ключевые слова: интеллектуальный мониторинг, мониторинговые информационные системы, агент, отношение между агентами, агентный функционал, полиагентная среда.

Abstract. *The application of a multi-agent approach to the implementation of intelligent monitoring technologies in the form of monitoring information systems allows them to acquire new properties under replacing monitoring tasks. In crisis situations, when the properties of monitoring objects change dramatically, the monitoring information system is required to be able to obtain information about new properties of objects in the absence of new observations of the behavior of these objects. The informativeness of existing data sets is declining. To provide information on decision-making processes during the period of accumulation of the results of new observations requires a significant increase in the capacity of the means of extracting this information from existing data sets. Towards this, it is proposed to build monitoring information systems as a set of agents and methods of building relationships between them. It is proposed to provide the possibility of increasing the power of information transformation means by building supra-agent formations – agent functionalities. Since the requirements for agent functionals at different levels of the hierarchical structure of MIS are different, it is proposed to distinguish multiagent and polyagent functionals. They differ in purpose, structure, compatibility of arrays of input data on which their agents were built, methods of formation of relations between agents. What they have in common is the echelon structure, ensuring the adaptability of information technologies of intelligent monitoring to changes in the properties of objects and replacement of monitoring tasks. A new method of forming relations between agents in the form of ascending construction of the structure of agent functionals is proposed. The process of formation of polyagent space is described. The dependence of the emergence of the agent functional on the informativeness of the polyagent space has been experimentally proved.*

Keywords: *intelligent monitoring, monitoring information systems, agent, relationship between agents, agent functionality, polyagent environment.*

DOI: 10.34121/1028-9763-2020-4-11-19

1. Вступ

Агентні функціонали в моніторингових інформаційних системах (МІС) будуються для розширення можливостей в інформаційних технологіях інтелектуального моніторингу [1]. Такі потреби виникають у разі зміни завдань моніторингу або при зміні властивостей досліджуваних об'єктів. У цих випадках інформативність результатів минулих спостережень знижується, а для отримання результатів нових спостережень потрібен час. Для забезпечення адекватності результатів моніторингу впродовж цього перехідного періоду в умовах зниження інформативності масиву вхідних даних виникає потреба у підвищенні потужності технологій обробки даних і перетворенні форми інформації.

Актуальність завдань щодо побудови агентних функціоналів викликана необхідністю отримання нових властивостей МІС, які вже не можна отримати за допомогою окремих агентів. У цій роботі досліджується процес побудови поліагентних функціоналів – одного з методів забезпечення адаптивності МІС, що побудована на основі багатоагентного підходу, до зміни завдань або властивостей об'єктів моніторингу у кризових ситуаціях.

2. Існуючі підходи до формування відношень між агентами

Ешелонна ієрархія взаємовідносин елементів складної системи описана в [2]. Система подається у формі відносно незалежних, взаємодіючих між собою підсистем, деякі з яких наділені правом самостійно формувати цілі та приймати рішення. Прийняті рішення підсистемою, яка належить до нижнього ешелону, можуть не співпадати з рішеннями, які б прийняв елемент, що належить до вищого ешелону. Це забезпечує підвищення ефективності функціонування системи, але й призводить до виникнення конфліктних цілей і рішень між підсистемами. Ієрархічність взаємовідносин забезпечується правом втручання підсистеми з вищого ешелону для усунення протиріч, що виникли при прийнятті рішень підсистемами з нижчих ешелонів.

Принципи формування зв'язків між агентами досить детально розглянуті в роботі [3]. Узгодження взаємовідносин агентів реалізується за заданими правилами, які, у свою чергу, наперед побудовані відповідно до існуючих принципів координації елементів бага-

торівневих систем. У залежності від завдань, для розв'язання яких призначені агенти, їхні взаємодії або зв'язки формуються за наперед заданими принципами.

У [2] запропоновані три принципи координації елементів складних багаторівневих систем: прогнозування взаємодій, розв'язування взаємодій і оцінка взаємодій. У багатоагентних системах (БАС) ці принципи реалізуються у формі методів та алгоритмів розв'язку задачі координації агентів.

Задача взаємовідносин агентів розв'язується [4] шляхом відображення їх взаємних зобов'язань та відповідних цим зобов'язанням угод. Угоди визначають умови, за яких зобов'язання виконуються і обставини, за яких агент відмовляється від зобов'язань.

Узгодження взаємовідносин агентів у багатоагентних системах із фіксованою структурою відбувається за допомогою задоволення загальних правил групової поведінки [5]. Алгоритм поведінки окремого агента будується відповідно до глобальних правил, заданих для цього співтовариства.

Координація поведінки агентів на основі обміну інформацією на метарівні [6] застосовується при необхідності досягнення мети системи шляхом глобального планування. Агенти повідомляють один одному про свої плани, узгоджують свої локальні зобов'язання із глобальним завданням БАС. Це дозволяє усувати протиріччя.

Роль агента розглядають як одну з його зобов'язань [3].

3. Нерозв'язані задачі та мета досліджень

Напрацьовані методи координації агентів у БАС можуть бути використані для побудови мультиагентних функціоналів із реалізованою горизонтальною та вертикально-горизонтальною ієрархією. Для побудови агентних функціоналів треба створювати нові процедури формування міжешелонних зв'язків вертикальної ієрархії.

Тому *метою цієї роботи* є дослідження особливостей формування поліагентних функціоналів при реалізації інформаційної технології інтелектуального моніторингу у формі МІС.

4. Формалізація завдання побудови поліагентних функціоналів

Інформаційна технологія інтелектуального моніторингу (ІТІМ) реалізується у формі моніторингової інформаційної системи на основі агентного підходу. Моніторингові завдання МІС виконує шляхом узгодження взаємовідносин агентів, у тому числі й інтелектуальних агентів та за потреби побудови агентних функціоналів, яким делеговані завдання з реалізації етапів ІТІМ. Інтелектуальні агенти наділені властивостями самостійно формувати свої бази знань та оптимізувати інші елементи своєї структури, будувати висновки на основі обробки результатів спостережень за самостійно визначеними характеристиками об'єктів та використовувати їх для виконання моніторингових завдань.

Агентний функціонал (АФ) – це надагентна структура, яка утворюється з метою кращого виконання існуючого завдання або для виконання нового завдання, реалізація якого не може бути забезпечена самостійно жодним із наявних агентів. Потреба у створенні АФ часто виникає при зниженні інформативності результатів спостережень, при виникненні нових завдань моніторингу та в інших ситуаціях. Таке трапляється в умовах кризового моніторингу, коли властивості об'єктів, процесів та ситуацій моніторингу різко змінюються і МІС повинна забезпечити отримання адекватних висновків про нові властивості об'єкта на основі попередньо вже отриманих результатів спостережень.

Агентний ешелон є формою поєднання окремих агентів МІС. Структура агентного функціонала може бути одноешелонною та багатоешелонною. Один і той же агент може залучатись для виконання локальних завдань у різних ешелонах. У цьому випадку він може входити до структури також і різних агентних функціоналів.

У залежності від принципів формування міжагентних зв'язків у ешелонах АФ може бути поліагентним (ПАФ), мультиагентним (МАФ) та ін.

У мультиагентних функціоналах поєднуються агенти, структура яких сформована за різними первинними описами (ПО), які створювались за результатами різноцілових спостережень. До структури елементів мультиагентних функціоналів входять ознаки з не-сумісних масивів даних, спостереження для яких проводились із різною метою, і результати спостережень можуть бути отримані з різнорідних джерел. Такі спостереження проводились у процесі виконання завдань, що виникли за результатами декомпозиції глобальної мети моніторингу та делегування повноважень агентам нижнього рівня від агентів, що належать до вищих ешелонів. Зміна значення характеристики однієї ознаки не часто приводить до значних змін властивостей агентного простору.

Поліагентні функціонали в МІС будуються шляхом поєднання агентів із сумісними структурами. Простір поліагентний, коли для побудови функціонала використовуються агенти, структури яких були сформовані за спільними ознаками елементів одного і того ж первинного опису і є сумісними за ознаками. Зміна значення однієї інформативної ознаки може призвести до одночасної зміни у структурі кількох агентів та змінити властивості поліагентного простору в цілому.

Побудова поліагентного функціонала вважається завершеною у випадку, коли властивості, яких набуває МІС, забезпечують виконання нових завдань моніторингу. Необхідно забезпечити процес формування зв'язків між агентами таким чином, щоб розв'язок задачі побудови окремого поліагентного функціонала був би одним із етапів розв'язання глобальної задачі МІС – виконання завдання моніторингу.

Задача побудови поліагентних функціоналів повинна розв'язуватись паралельно з задачами побудови агентними функціоналами інших типів у процесі отримання результатів наступних спостережень та підвищення інформативності первинного опису об'єктів моніторингу.

Використовуючи положення теорії ієрархічних багаторівневих систем [2], завдання побудови поліагентних функціоналів може бути формалізовано у формі задачі узгодження взаємовідносин агентів-перетворювачів даних МІС. ПАФ вважається побудованим, коли існує стратегія координації агентів ω і існує множина агентів, сигнали на виході яких утворюють МВД X достатньої інформативності для створення системи ПАФ. Вони забезпечують виконання нових глобальних завдань, поставлених перед моніторинговою системою Z_n шляхом виконання сукупності локальних завдань $Z_i(\omega)$. Ці локальні завдання виконуються або вже існуючими агентами, або для їх виконання будуються нові агенти. Процес функціонування АФ щодо перетворення результатів спостережень може бути формалізований як відображення

$$\mu_Y : X \rightarrow Y, \quad (1)$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – множина аналітичних сигналів на виході агентів, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}$ – множина інформативних сигналів на виході агентного функціонала.

Умовою, яка забезпечує можливість побудови ПАФ, є можливість координованості локальних процесів поєднання агентів із новими глобальними завданнями моніторингу, які необхідно виконати МІС:

$$(\exists \omega)(\exists x)[P(x, Z_i(\omega)) \& P(\mu_Y(x), Z_n)], \quad (2)$$

де ω – стратегія координації агентів, x – сигнали на виході агентів, що утворюють МВД для вищих рівнів, $Z_i(\omega)$ – множина задач поєднання агентів за стратегією ω , $\mu_Y(x)$ – правила перетворення сигналів на виході агентів X до сигналів на виході поліагентного функціонала Y , Z_n – нові глобальні завдання МІС.

Поліагентний функціонал побудований, якщо існують перелік агентів із сигналами на виході x та методи узгодження взаємовідношень агентів $\omega \in \Omega$, відповідно до яких розв'язання локальних задач формування зв'язків між агентами $Z_i(\omega)$ забезпечує утворення правил відображення сигналів на виході агентів у сигнали на виході агентних функціоналів $\mu_Y(x)$, що утворюють нові властивості МІС, здатної виконати глобальне завдання моніторингу Z_n .

Координація взаємовідносин окремих агентів відносно нової глобальної мети МІС $M^\omega = (m_1^\omega, \dots, m_n^\omega)$, $m_i^\omega = (x_i^\omega, u_i^\omega)$, $1 \leq i \leq n$, в результаті яких утворюється поліагентний функціонал, є глобально оптимальною $m^\omega = \hat{m}$.

$$(\exists \omega)(\exists m^\omega)(\exists \hat{m})[\mu_X(m^\omega) = \hat{m}], \quad \mu_X : X \times U \rightarrow Y, \quad m^\omega \equiv (x^\omega, u^\omega), \quad (3)$$

де X – множина сигналів на виході агентів, що утворюють МВД ешелону, U – множина зв'язків між агентами, що утворюють АФ, Y – множина вихідних сигналів поліагентного функціонала, m^ω – метод координації агентів у процесі побудови АФ. $\hat{m}$ – глобально оптимальний координуючий вплив.

Пари множин показників МВД ешелону та множин зв'язків (x_i^ω, u_i^ω) повинні бути ω – оптимальними. Структура агентного функціонала буде скоординованою тоді і тільки тоді, коли існує оптимальна координуюча стратегія. Координуючий алгоритм (координатор) повинен впливати на всі агенти так, щоб їх результируючий вплив на процес у цілому забезпечував виконання одного із глобальних завдань МІС.

5. Підходи та гіпотези, що використовуються при побудові поліагентних функціоналів

Гіпотеза 1. Оптимальною координуючою стратегією є процес висхідного конструювання структури агентних функціоналів. Структура агентів вищого ешелону конструюється за алгоритмами евристичної самоорганізації через таблицю масиву вхідних даних (МВД). Цей масив сформований вихідними сигналами агентів нижчого ешелону та результатами додаткових спостережень. Структура окремого ешелону будується шляхом горизонтального або горизонтально-вертикального поєднання агентів. База модельних знань агента вищого ешелону будується за масивом вхідних даних, сформованих із сигналів на виході агентів нижніх ешелонів. Зміна властивостей локального агента реалізується шляхом конструювання нової його структури після заміни модельованого показника $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$. При зміні властивостей моделей локального агента нижнього ешелону відбувається конструювання структур нових агентів для вищих ешелонів.

Відповідно до постулату узгодженості М.Д. Месаровича [2], координатор, що використовує як координуючі стратегії процес висхідного конструювання структури АФ, впливає на властивості і локальних агентів, і агентних функціоналів у цілому з метою розв'язання нових задач моніторингу.

Критерієм виконання умов координованості агентів є характеристики сигналів на виході АФ. Вони оцінюються за адекватністю висновків та точністю результатів моделювання по відношенню до дійсних станів об'єктів або дійсних значень результатів спостережень:

$$\varepsilon = y - y(m^\omega), \quad (4)$$

де y – дійсне значення модельованого показника стану об'єкта моніторингу, $y(m^\omega)$ – розраховане значення сигналу, який подається агентом на вихід.

Значення сигналу на виході агента $y(m^o)$ може бути покращене шляхом застосування робасних процедур перетворення сигналів у структурі агентного функціонала з метою зменшення значення похибки ε .

$$Y' = Y + f(\varepsilon) = Y + f(y - y(m^o)), \quad (5)$$

де Y' – значення характеристики сигналу на виході агентного функціонала, Y – значення характеристики сигналу на виході локального агента.

При зміні завдання моніторингу впродовж тривалого часу МІС формує нові правила перетворення даних на основі спостережень за об'єктами, що перебували в інших станах. Тому у процесі формування нових правил перетворення даних для агентів вищих ешелонів інформативність МВД знижується. Для побудови нових правил щодо перетворення даних необхідно підсилювати потужність засобів синтезу моделей у процесі формування БМЗ локальних агентів. Але можливості алгоритмів синтезу моделей (АСМ) у структурі локальних агентів мають методичні обмеження. Для того, щоб їх подолати, формується надагентні структури у формі агентних функціоналів.

Гіпотеза 2. Емерджентність агентного функціонала підвищується із зростанням інформативності поліагентного простору. Поліагентний простір формується шляхом залучення сигналів на виході агентів із суміжними масивами вхідних даних. Межа інформативної достатності поліагентного простору може використовуватись як оцінка ефективності елементів поліагентного функціонала. Чим нижча їх ефективність, тим більше ешелонів має бути сформовано при побудові агентного функціонала.

6. Експериментальна перевірка гіпотез

Для перевірки гіпотез був проведений експеримент. Технологія інтелектуального моніторингу стану хворих на запалення прямої кишки Черкаської міської лікарні № 3 реалізовувалась у формі моніторингової інформаційної системи з можливістю побудови агентних функціоналів. Прізвища пацієнтів були зашифровані. Ознаки стану пацієнтів для первинного опису визначались із історій хвороб експертами-лікарями, які мають досвід у лікуванні цих захворювань. У табл. 1 подані перелік ознак та змінні моделювання, якими ці ознаки позначені.

Таблиця 1 – Перелік ознак первинного опису стану пацієнтів

№	Ознака	Змінна
1	Гемоглобін, г/л	y
2	Лейкоцити, г/л	x_1
3	Паличкаядерні, %	x_2
4	Лімфоцити, %	x_3
5	Загальний білок, г/л	x_4
6	Сечовина, ммоль/л	x_5
7	Креатинін, ммоль/л	x_6
8	Активний частковий тромбопластиновий час, сек.	x_7
9	Протромбіновий індекс	x_8
10	Аспартатамінотрансфераза, мкм/ч.л.	x_9
11	Аланінамінотрансфераза, мкм/ч.л.	x_{10}
12	Білок, г/л	x_{11}
13	Стать	x_{12}

Первинний опис містив опис станів 79 пацієнтів за ознаками, поданими у табл. 1. Для виявлення зміни впливовості показників стану пацієнта на концентрацію глюкози у його крові будувався агент за технологією, описаною в [1]. Алгоритми синтезу моделей агентської бази модельних знань [7] будувались за методом групового урахування аргументів (МГУА) [8], використовувались нейромережі кількох топологій, алгоритм Степаненка [9], гібридні методи синтезу моделей на основі поєднання МГУА та генетичних алгоритмів [10].

Результати випробовування показали, що побудований агент не забезпечує достатню адекватність опису властивостей організмів пацієнтів за ознакою концентрації глюкози в їх крові. Для виконання завдання моніторингу виникає необхідність у побудові поліагентного простору і побудові агентного функціонала. Для цього на основі ознак первинного опису, поданих у табл. 1, було сформовано 8 масивів вхідних даних для побудови 8 агентів, сигнали на виході яких стануть елементами поліагентного простору. Поліагентний масив даних подавався на вхід агента, застосовувались типові процедури синтезу агентної моделі та процеси адаптації структури агента, зокрема, синтезатора моделей агента, до властивостей поліагентного масиву і будувався поліагентний функціонал. Таким чином, поліагентний функціонал є результатом використання типових процедур синтезу моделі та нетипових процесів формування поліагентного простору. Структура агентів та агентних функціоналів подана у табл. 2.

Таблиця 2 – Елементи поліагентного простору

Агент (А)/ Агентний функціонал (АФ)	Сигнал на виході	Структурні елементи (за табл. 1)											
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
A_0	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}
A_1	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	
A_2	x_2	x_1	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{11}	
A_3	x_3	x_1	x_2	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	
A_4	x_4	x_1	x_2	x_3	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	
A_5	x_5	x_1	x_2	x_3	x_4	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	
A_6	x_6	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	
A_7	x_7	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	
A_8	x_8	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	
$A\Phi_1$	y	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	x_1	x_2	...	x_{12}
$A\Phi_2$	y	A_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	...	x_{12}
$A\Phi_3$	y	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	x_1	...	x_{12}

7. Аналіз результатів експериментів

На рис. 1 подані результати опису залежності концентрації глюкози у крові від інших показників стану хворого, що відображені в історії хвороби. Точність опису оцінювалася за відхиленням значення сигналу на виході агента чи поліагентного функціонала від дійсного значення концентрації глюкози у крові пацієнта.

Рисунок 1 – Усереднена відносна похибка відгуку агентної структури у точках п перевіркової послідовності МВД

Не будь-яке поєднання агентів дозволяє утворити поліагентний функціонал. Не зважаючи на значну похибку сигналів на виході елементів поліагентного простору, вдається отримати ефект емерджентності від поєднання агентів, тобто побудувати агентний функціонал. Похибка сигналу на виході агентного функціонала АФ3 більш ніж у двічі менша за похибку сигналу на виході агента А₀.

Експериментально підтверджено, що координація взаємодій агентів, створених для обробки результатів спостереження в моніторингових інформаційних системах шляхом висхідного конструювання структури агентних функціоналів є оптимальною координуючою стратегією, оскільки дозволяє побудувати надагентну структуру, яка задовольняє вимоги до агентного функціонала. Таким чином, гіпотеза 1 знайшла своє експериментальне підтвердження.

Встановлено також, що характеристики сигналів на виході агентних структур АФ1, АФ2 і АФ3 різні, оскільки вони відрізняються за структурою. Для їх побудови використовувались різні набори сигналів поліагентного простору. Ймовірно, що різні набори сигналів поліагентного простору утворюють різну його інформативність. Інформативність поліагентного простору АФ3 перевищила межу інформативної достатності і синтезатору вдалось побудувати агентний функціонал. Таким чином отримала експериментальне підтвердження гіпотеза 2.

8. Висновки

Методологія створення інформаційних технологій інтелектуального моніторингу на основі агентних функціоналів отримала свій подальший розвиток. Запропоновано виділяти мультиагентні та поліагентні функціонали. Мультиагентні функціонали призначені для використання на вищих рівнях ієрархії МІС, оскільки забезпечують формування нових її властивостей поєднанням різнорідних агентів. Поліагентні функціонали поєднують однорідні агенти, сформовані з єдиного масиву спостережень, мають різні структури, різні модельовані показники і описують об'єкти однієї предметної області. Кожен із класів агентних

функціоналів має свої переваги, які доповнюють один одного при їх застосуванні у процесі реалізації багатоагентного підходу до побудови моніторингових інтелектуальних систем.

Запропоновано стратегію побудови поліагентних функціоналів. Теоретично обґрунтовано умови, що дозволяють отримати поліагентну систему, описано зміст ефекту емерджентності та його ознаки. Експериментально доведено, що відхилення сигналів на виході поліагентного функціонала від їх дійсних значень на 76,77% менші за відхилення сигналів на виході локального агента у досліджуваних умовах.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Holub S., Kunytska S. Profiling of Clusters in Information Technologies of Intellectual Monitoring. *Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020). Advances in Intelligent Systems and Computing* / S. Shkarlet, A. Morozov, A. Palagin (eds). Springer, Cham. 2020. Vol. 1265. P. 227–236.
2. Месарович М., Мако Д., Тахакара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
3. Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. Прикладные многоагентные системы группового управления. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2009. № 2. С. 3–24.
4. Jennings N. Commitments and Conventions: The Foundation of Coordination in Multi-Agent Systems. *The Knowledge Engineering Review*. 1993. Vol. 8, N 3. P. 223–250.
5. Shoham Y., Tennenholtz M. On the synthesis of useful social laws for artificial agent societies. *Proceedings of 10th National Conference of Artificial Intelligence*. San Jose, USA, 1992. P. 276–287.
6. Gasser L. DAI approaches to coordination. *Distributed Artificial Intelligence: Theory and Practice* / N. Avouris, L. Gasser (eds.). Kluwer Academic Publishers, 1992. P. 31–51.
7. Zhyriakova I., Holub S. Transformation of modeling knowledge in multilevel monitoring technology. *Inzynier XXI wieku*. Bielsko-Biala: Wydawnictwo naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Bialej, 2016. P. 477–482.
8. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. К.: Наукова думка, 1981. 296 с.
9. Моделювання об'єктів моніторингу докільця за алгоритмом Степаненка. *Електроніка та системи управління*. 2006. № 4 (10). С. 165–168.
10. Немченко В.В., Нечипоренко В.Ю. Формування гібридної структури систем багаторівневого перетворення моніторингової інформації. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2010)*: зб. тез другої міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 24–26 травня 2010 р.). К.: НАУ, 2010. С. 169–170.

Стаття надійшла до редакції 03.11.2020