

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 167.2 + 658

DOI 10.21685/2307-5538-2020-4-1

О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, М. Н. Крамм, В. В. Шерстнев

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

O. E. Bezborodova, O. N. Bodin, M. N. Kramm, V. V. Sherstnev

ENSURING THE EFFICIENCY OF INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Информационно-измерительные и управляющие системы (ИИУС) – это совокупность технических средств, выполненных в блочно-модульном исполнении, объединенных общим алгоритмом функционирования, обладающих набором нормированных метрологических характеристик и предназначенных для автоматического (автоматизированного) получения информации непосредственно от объекта, преобразования ее, передачи, измерения, обработки, хранения и представления в форме, доступной для восприятия лицом, принимающим решение, и формирования управляющего воздействия на объект. Отличительной особенностью рассматриваемой в статье ИИУС является наличие в ее составе интеллектуальных агентов, которые в процессе работы системы непрерывно адаптируются к изменяющимся условиям функционирования. Целью является обеспечение оптимального функционирования ИИУС на основе иерархической структуры управления с использованием клонирования и коалиции интеллектуальных агентов. **Материалы и методы.** Использованы методы системного анализа для выбора показателей ИИУС, характеризующих ее эффективность. Показано, что система ключевых показателей эффективности *KPI* является индикатором соответствия уровня текущих показателей ИИУС стратегическим целям. **Результаты.** Предложенный в статье усовершенствованный алгоритм функционирования интеллектуальных агентов на основе клонирования и образования коалиций обеспечивает анализ результатов измерений и воздействие на объект управления. Обоснована синергетическая эффективность в режиме нормального функционирования ИИУС и при выходе из строя отдельных агентов на примере использования беспилотных воздушных судов, обеспечивающих оперативность и своевременность сбора и представления информации при мониторинге территориальной техносферы. **Выводы.** Предлагаемая концепция построения ИИУС является инструментом анализа эффективности и позволяет оптимизировать структуру и функционирование ИИУС по Парето, когда значение каждого частного показателя, характеризующего систему, не может быть улучшено без ухудшения других.

A b s t r a c t. Background. Information-measuring and control systems (IMS) are a set of technical means made in a block-modular design, united by a common algorithm of functioning, having a set of normalized metrological characteristics and intended for automatic (auto-

mated) obtaining information directly from an object, transforming it, transmitting it, measurement, processing, storage and presentation in a form accessible for perception by the decision-maker, and the formation of a control action on the object. A distinctive feature of the IMS considered in the article is the presence of intelligent agents in its composition, which, in the process of the system's operation, continuously adapt to changing operating conditions. The aim is to ensure the optimal functioning of the IMS on the basis of a hierarchical management structure using cloning and a coalition of intelligent agents. **Materials and methods.** The methods of system analysis were used to select the indicators of the IMS that characterize its effectiveness. It is shown that the system of key performance indicators – KPI, is an indicator of the compliance of the level of current indicators of the IMS with strategic goals. **Results.** The proposed in the article an improved algorithm for the functioning of intelligent agents based on cloning and coalition formation provides an analysis of measurement results and impact on the control object. Synergetic efficiency is substantiated in the normal operation of the IMS and in the event of failure of individual agents on the example of the use of unmanned aerial vehicles, which ensure the efficiency and timeliness of collecting and presenting information when monitoring the territorial technosphere. **Conclusions.** The proposed concept of building an IMS is a tool for analyzing efficiency and allows you to optimize the structure and functioning of the IMS by Pareto, when the value of each particular indicator characterizing the system cannot be improved without deteriorating others.

К л ю ч е в ы е с л о в а: информационно-измерительная и управляющая система, интеллектуальный агент, показатели эффективности, синергетическая эффективность.

Key words: information-measuring and control system, intelligent agent, performance indicators, synergistic efficiency.

Актуальность

Обеспечение эффективности сбора и обработки данных необходимо для гарантированной безотказной работы информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС). В данном случае речь идет об интеллектуализации процессов сбора и обработки данных и о возможности быстрой адаптации ИИУС к изменяющимся требованиям внешней среды.

Техногенные объекты (ТО) – это сложные системы, состоящие из большого количества подсистем (агентов), которые работают при изменяющихся внутренних и внешних условиях, адекватно реагируя на эти изменения. Поэтому безаварийное функционирование ТО не может быть обеспечено без участия ИИУС.

Мультиагентная система (МАС), входящая в состав ИИУС, направлена на обеспечение эффективности и надежности работы контролируемого ТО. Это достигается гибкой согласованной корректировкой функционирования контролируемого объекта в ответ на изменения во внешней среде в зависимости от возникающих событий. В результате с помощью МАС параллельно осуществляются процессы сбора данных, анализа, планирования, оптимизации, мониторинга и контроля состояния ТО в режиме реального времени, что обеспечивает повышение эффективности функционирования объекта.

МАС состоят из иерархии интеллектуальных агентов (ИА), когда ИА верхнего уровня получает только те данные, которые нужны ему для работы, и координирует работу подчиненных ИА, но не диктует им, какие действия выполнять.

В работе [1] предложена МАС с возможностью клонирования и организации коалиций ИА – *MASL (MultiAgent System Logic)*. Недостатками *MASL* являются: отсутствие иерархии ИА и механизма разрешения конфликтов ИА с внешней средой при невозможности ИА выполнить поставленную задачу.

В работе [2] предложена МАС, работа которой строится на согласовании значений ключевых показателей эффективности (*Key Performance Indicator – KPI*) с учетом их иерархичности и взаимосвязанности.

Целью данной работы является обеспечение оптимального функционирования ИИУС на основе иерархической структуры МАС с использованием клонирования и коалиции ИА.

Постановка проблемы

Как следует из функционального назначения ИИУС, ее основной задачей является оптимальная организация информационного взаимодействия для обеспечения выполнения поставленных задач.

Под оптимизацией понимается процесс нахождения экстремумов (глобального максимума или минимума), которые могут быть оценены как лучшие значения (показатели) определенной целевой функции или выбор наилучшего (оптимального) варианта из множества возможных.

Оптимизация ресурсов может осуществляться на разных уровнях иерархии ИИУС. Одновременно должен быть выполнен принцип глобальной оптимизации, т.е. локальные критерии оптимизации и принимаемые на их основе решения не должны противоречить глобальному оптимуму ИИУС в целом.

В ИИУС различают вычислительные, информационные, интеллектуальные ресурсы и ресурсы времени. При построении и анализе ИИУС в основном оперируют вычислительными и временными ресурсами, но это не значит, что другие виды ресурсов, например материально-технические, для решения конкретной задачи игнорируются.

При этом у любой ИИУС ресурсы для достижения стратегических, тактических или оперативных целей ограничены. Поэтому задача оптимизации ресурсов в ИИУС может быть сформулирована двояко. Во-первых, при ограниченных ресурсах добиться глобального максимума векторной целевой функции ИИУС, т.е. надо хранить больше данных в выделенном пространстве, быстрее производить вычисления, не потребляя и не выделяя слишком много энергии, передавать больше информации по имеющимся каналам связи, обеспечивать максимальную степень готовности эксплуатируемых подсистем. Во-вторых, при запланированных значениях показателей ИИУС добиться совокупного минимума используемых ресурсов.

Это иллюстрирует важность разработки методов и средств обеспечения эффективного функционирования ИИУС при решении задач управления процессами и объектами.

Материалы и методы

Сбалансированная система показателей – инструмент оценки результативности системы, позволяющий контролировать функционирование подсистем, а также последствия их выхода из строя [3]. Оценка результативности системы связана с определением ее эффективности, т.е. степени достижения целей и решения задач, направленных на их достижение. Эффективность используется для оценки, контроля и регулирования соответствующей деятельности. Она является наглядным показателем превосходства одного варианта системы по отношению к другому.

Для обеспечения требуемой эффективности функционирования ИИУС, прежде всего, необходимо составить перечень параметров, влияющих на ее уровень. Для этого необходимо проанализировать возможности самой ИИУС, потребности лица, принимающего решения (ЛПР) в ее эффективной работе, и желаемые результаты (устремления) на основе алгоритма стратегического управления [4]:

запрос к ИИУС → формирование цели → ее анализ → выбор стратегии достижения цели → реализация стратегии → полученный результат.

В данном случае *полученный результат* – это оптимальное сочетание возможностей ИИУС, потребностей и устремлений ЛПР (рис. 1). Для получения этого оптимума необходимо проанализировать внутреннее состояние ИИУС (объект) и внешнюю среду и устремления ЛПР (субъект) (по совокупностям выбранных параметров) (рис. 2).

Предпочтительно использовать для этого систему ключевых показателей эффективности *KPI*, которая позволяет выделить наиболее существенные показатели ИИУС, наилучшим образом характеризующие ее эффективность [5].

Показатели *KPI* являются индикаторами соответствия уровня текущих показателей ИИУС стратегическим целям.

Критериями эффективной структуры любой иерархической ИИУС управления являются: соответствие уровней управления их функциям, возможно меньшее число уровней в системе, сосредоточение на каждом уровне всех необходимых функций, четкое выделение участия каждого уровня в общем процессе, исключение дублирования функций.

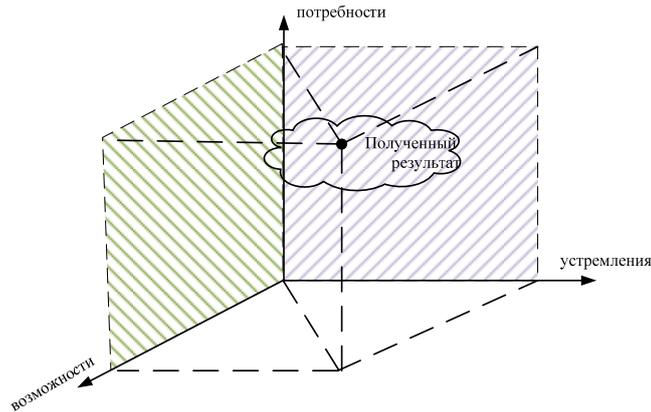


Рис. 1. Система координат при разработке результата функционирования ИИУС

		Рыночная конъюнктура	Внешняя среда		
			Техносфера	Биосфера	Социум
Субъект	Знания и умения	ПОЛУЧЕННЫЙ РЕЗУЛЬТАТ			
	Навыки и опыт				
	Ценности и ожидания				
Объект	Уникальность технологий				
	Исключительность ресурсов				

Рис. 2. Иллюстрация алгоритма формирования результата функционирования ИИУС

Выбор показателей для перечня *KPI* зависит от области применения многоуровневой иерархической ИИУС и условий ее эксплуатации, но в большинстве случаев это ресурсы (финансовые, материальные, людские, временные и пр.), необходимые для ее функционирования.

Результаты

Параметрами эффективности ИИУС являются их надежность (безаварийность функционирования) и возможность быстрой адаптации к изменяющимся требованиям внешней среды, а в случае чрезвычайной ситуации (ЧС) – время и ресурсы, необходимые на восстановление работоспособности контролируемого ТО.

В соответствии с работой [6] многоуровневой иерархической ИИУС присущи следующие существенные характеристики: вертикальное расположение подсистем (вертикальная декомпозиция), приоритет действий или право вмешательства подсистем верхнего уровня, зависимость действий подсистем верхнего уровня от фактического исполнения нижними уровнями своих действий.

Многоуровневые иерархические ИИУС включают линейные и функциональные элементарные организационные структуры. Их неоспоримыми достоинствами являются единство руководства, простота и четкость подчинения, полная ответственность подсистем верхнего уровня за результаты деятельности подсистем нижнего уровня, оперативность в принятии решений, согласованность действий всех уровней, получение подсистемами нижнего уровня согласованных между собой задач, высокая компетентность подсистем нижнего уровня, отвечающих за решение конкретных задач, специализация подсистем нижнего уровня на решении определенного вида задач, ликвидация дублирования при их решении.

Исходя из этого МАС, разработанная для иерархической ИИУС, имеет структуру, приведенную на рис. 3.

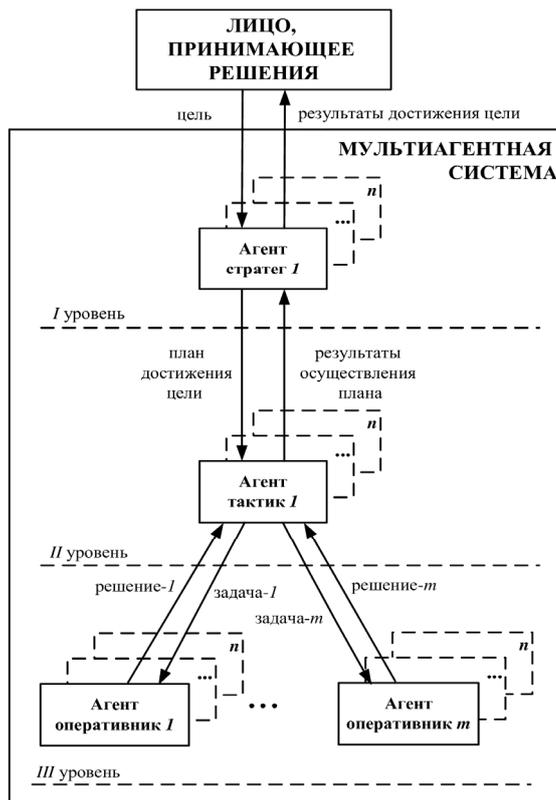


Рис. 3. Графическое представление уровней иерархии в МАС

Как показано на рис. 4, объект управления (ТО) получает из внешней среды вещество, энергию и информацию (B, \mathcal{E}, I) и отдает преобразованные вещество, энергию и информацию (B', \mathcal{E}', I') обратно во внешнюю среду. Кроме того, из внешней среды на ИИУС воздействуют случайные, изменяющиеся во времени и не несущие полезной информации, сигналы $\eta(t)$ – помехи. Помехи могут исказить результаты измерений, оценки и команды, отдаваемые подсистемой управления.

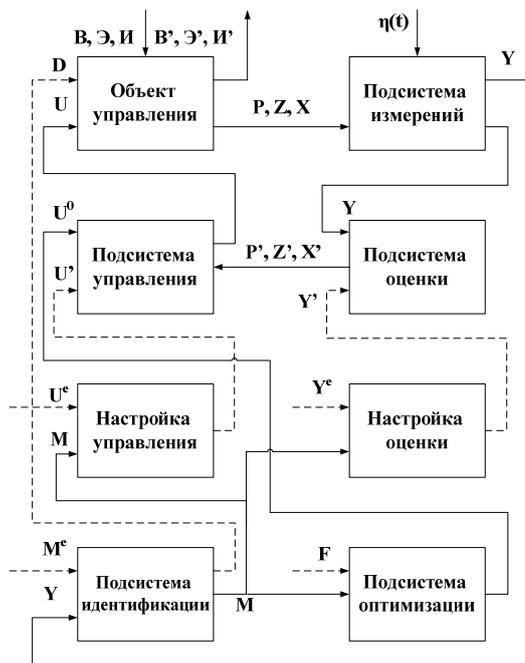


Рис. 4. Общая структурная схема ИИУС

На рис. 4 сплошными линиями показаны связи, без которых функционирование ИИУС невозможно. Подсистемы, соединенные этими связями, образуют главную обратную связь. Информационное наполнение главной обратной связи определяется функциями подсистем. Это информация о входах (множество P), состоянии (множество Z) и выходах (множество X) объекта управления, измерения, загрязненные помехами (множество Y), оценки входного процесса (множество P') и выходного процесса (множество Z'), состояния (множество X'), управляющие воздействия – команды (множество U).

ТО должен быть снабжен устройствами, распознающими и выполняющими команды подсистемы управления. Потоки вещества, энергии и информации через объект управления должны быть доступны для измерения в любой момент времени.

Подсистема измерений получает информацию через первичные преобразователи лишь о наиболее существенных характеристиках входов и выходов ТО. О состоянии самого объекта получить информацию можно лишь косвенно – через его входы и выходы.

Подсистема оценки состояния, анализируя измерения Y^e использованием алгоритмов фильтрации и обработки информации, получает оценки входного процесса X' .

Эти данные либо напрямую устанавливаются из внешней среды при настройке ИИУС, либо вырабатываются подсистемой настройки оценки состояния на основе данных для настройки. Как правило, при настройке системы автоматики используются и тот и другой метод одновременно.

Оценки состояния подают на вход подсистемы управления. По этим оценкам подсистема управления вырабатывает управляющие воздействия – команды U . Сигналы вырабатываются подсистемой настройки управления на основе входной информации.

Коррекцию настроек можно производить автоматически, если в подсистемах настройки заложить модель процесса M , изменяющуюся в реальном времени. Такое изменение модели обеспечивают подсистемы идентификации. На входе этой подсистемы формируют обобщенную модель процесса M^e в виде систем алгебраических или дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами.

На основе модели M и целевой функции F подсистема оптимизации находит такой вектор управляющих воздействий U^0 .

По степени участия подсистем каждого уровня в процессе принятия и реализации решений их подразделяют на: стратегов, тактиков и оперативников, расположенных иерархически.

Синергизм ИИУС проявляется в усилении свойств системы (эффективности E) при объединении отдельных агентов, что выражается общей формулой [7]:

$$E_{1+...+N} > E_1 + \dots + E_N, \quad (1)$$

где N – количество агентов, объединенных в систему.

Синергетическую эффективность [7, 8] процесса объединения логично определить как системную эффективность. Тогда эта эффективность характеризует общую эффективность нелинейного взаимодействия агентов, входящих в состав системы. Следовательно, синергетическая эффективность – это способ учета общей эффективности системы, складывающийся из нескольких видов эффективности, когда ее невозможно определить простым суммированием эффективностей отдельных агентов системы.

Авторами разработан алгоритм *MASL+*, имеющий иерархическую структуру и возможности клонирования и организации коалиций ИА (рис. 5), что объединяет отмеченные достоинства и повышает *KPI* функционирования МАС.

Эффективность синергетической системы можно представить в виде двух составляющих «линейной эффективности» и «нелинейной эффективности». «Линейная эффективность» создается простым суммированием эффективностей отдельных агентов в составе синергетической ИИУС, а «нелинейная эффективность» формируется за счет появления у системы свойств и параметров, не характерных для отдельных агентов (эмерджентность). Синергетическую эффективность E_s можно записать как

$$E_s = E_L + E_N, \quad (2)$$

где E_L – линейная составляющая эффективности; E_N – нелинейная составляющая эффективности.

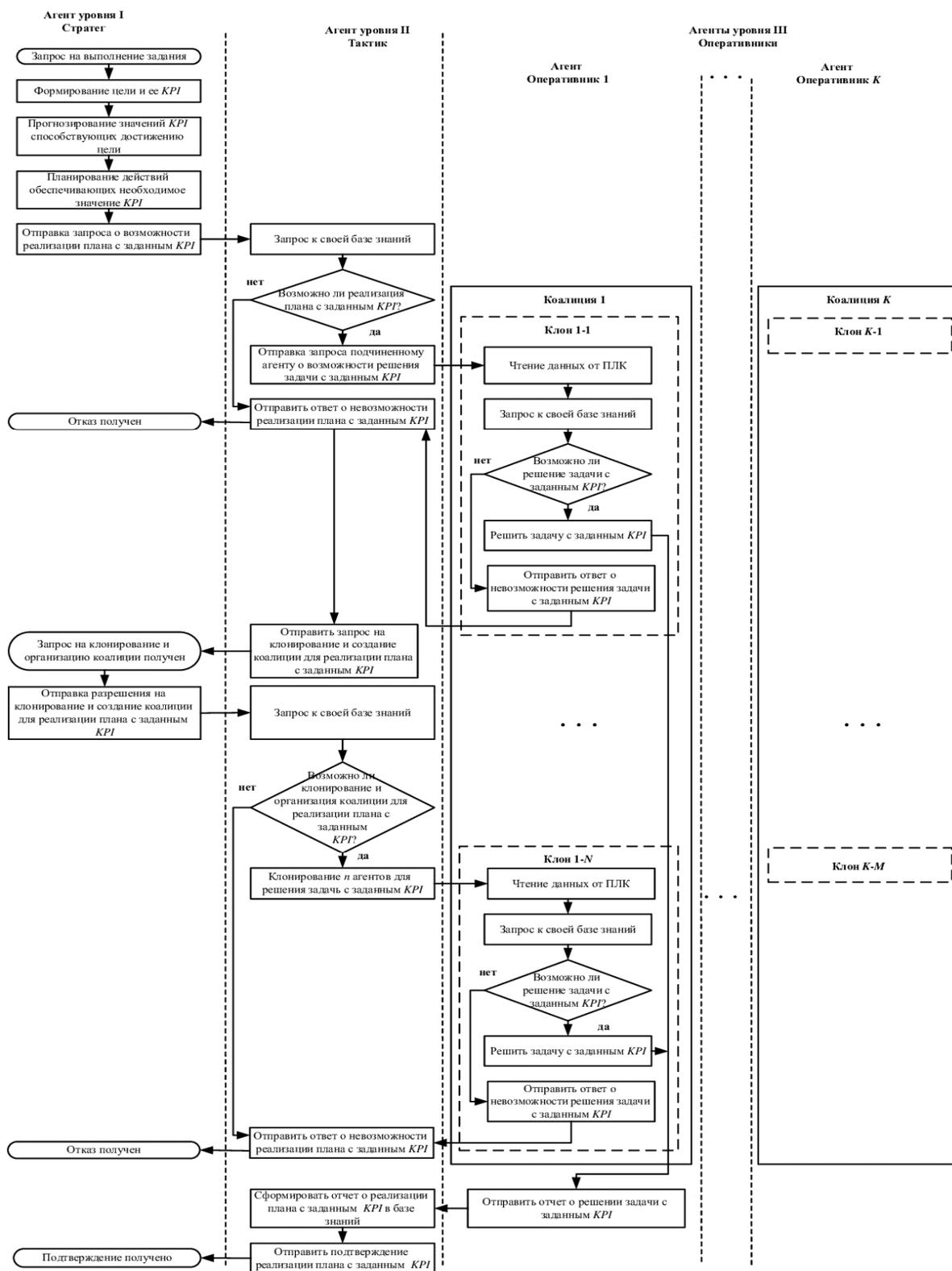


Рис. 5. Алгоритм MASL+

Самоорганизация, результатом которой является реконфигурирование системы, может произойти лишь в системах высокого уровня сложности, обладающих определенным количеством взаимодействующих между собой агентов, имеющих некоторые критические параметры связи и относительно высокие значения вероятностей своих флуктуаций. В противном случае эффекты от синергетического взаимодействия будут недостаточны для появления коллективного поведения агентов и тем самым возникновения самоорганизации. Недостаточно

сложные ИИУС не способны к спонтанной адаптации и развитию и при чрезмерных воздействиях извне теряют свою структуру и необратимо разрушаются.

Выбор варианта самоорганизации системы зависит от критичности параметров функционирования ИИУС и ТО. Если нужно действовать быстро (критичный параметр время), то может быть задействовано большее количество ресурсов (агентов). Но если критическими параметрами являются и время, и ресурсы, то за счет синергизма ИИУС и наличия нелинейной эффективности (см. выражение (2)), возможно достичь цели без привлечения дополнительных ресурсов и в срок за счет перераспределения обязанностей между однофункциональными агентами [9].

Рассмотрим проявление синергетической эффективности ИИУС на примере работы гетерогенной группы беспилотных воздушных судов (БВС) в зоне ЧС. В соответствии с работой [10] в зону ЧС при проведении поисково-спасательных работ (ПСР) отправляют гетерогенную группу БВС, входящую в состав подсистемы чрезвычайного (экстренного) реагирования.

Алгоритм работы гетерогенной группы БВС включает этапы сбора и обработки данных, а также реализации на их основе действий, изменяющих внешнюю среду. Эти действия осуществляются синергетической ИИУС на основе интеллектуального взаимодействия агентов (в данном случае БВС) МАС, обеспечивающего при отказе одного БВС сохранение работоспособности всей гетерогенной группы [9]. Действительно, структурный расчет надежности показывает, что при отказе одного из N БВС не произойдет потеря работоспособности всей гетерогенной группы. Система переходит в более напряженный режим работы, в котором, обладая меньшими ресурсами, она выполняет заданные функции. При этом, безусловно, снижается производительность и эффективность решения задачи.

Синергетическая ИИУС работает следующим образом: сначала агент первого уровня иерархии анализирует поставленную цель, в том числе и по параметрам «ресурсы – время», и распределяет ее решение на ряд параллельных задач для обеспечения децентрализации управления и сокращения времени проведения поисково-спасательных работ. Соответственно, по результатам анализа исходной цели агентом второго уровня иерархии осуществляется коммутация ресурсов ИИУС (распределение задач агентам третьего уровня). Такая организация работы ИИУС обеспечивает максимально возможную загрузку БВС исходя из особенностей алгоритма решаемой каждой задачи и аппаратных ограничений каждого БВС. Все БВС, входящие в состав гетерогенной группы, работают параллельно и независимо друг от друга, в соответствии с задачами, но обмениваются собранными данными, что сокращает время решения поставленных задач перед каждым из них. Работу анализатора ресурсов можно рассмотреть на примере реализации формулы

$$(c_1, c_2) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где c_1 и c_2 – синергетическая эффективность системы с учетом анализируемых параметров «ресурсы – время», a_{ij} – агенты системы, для которых определяющим является i -й параметр, b_i – агенты системы, для которых определяющим является $i+1$ -й параметр.

В выражении (3) значения (c_1, c_2) количественно характеризуют ресурсы системы, необходимые для достижения цели. Покажем изменение времени функционирования ИИУС при выполнении задания в случае работоспособных БВС и в случае выхода из строя одного из БВС.

Допустим, что гетерогенная группа БВС состоит из шести агентов ($A := \{a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}, b_1, b_2\}$). Для четырех БВС определяющим является i -й параметр, для остальных – $i+1$ -й. Тогда реализация формулы (3) в случае всех работоспособных БВС происходит, как показано на рис. 6. В табл. 1 представлена работа агентов (БВС) по тактам в нормальном режиме. Анализатор ресурсов в этом случае осуществляет контроль работы гетерогенной группы БВС путем проверки на наличие режима «Стоп».

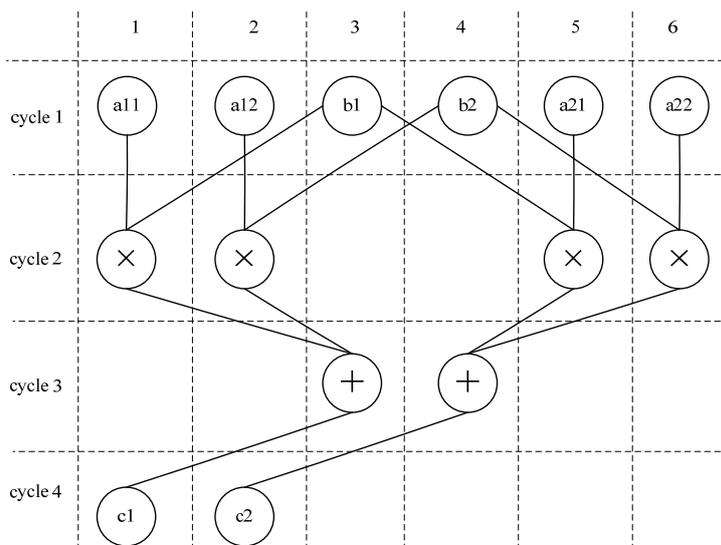


Рис. 6. Граф проведения ПСР при работоспособных БВС

Таблица 1

Работа агентов по тактам в нормальном режиме

Такты	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	чт a11	чт a12	чт b1	чт b2	чт a21	чт a22
2	1×3	2×4			3×5	4×6
3			1+2	5+6		
4	зп c1	зп c2				

П р и м е ч а н и е: чт – чтение данных; зп – запись данных.

При выходе из строя одного из БВС анализатор ресурсов осуществляет восстановительные процедуры в соответствии с вышеописанным алгоритмом. Например, пятый БВС в гетерогенной группе вышел из строя, тогда реализация формулы (3) будет выглядеть по-другому, так, как представлена на рис. 7. В табл. 2 представлена работа агентов (БВС) по тактам с неработоспособным агентом.

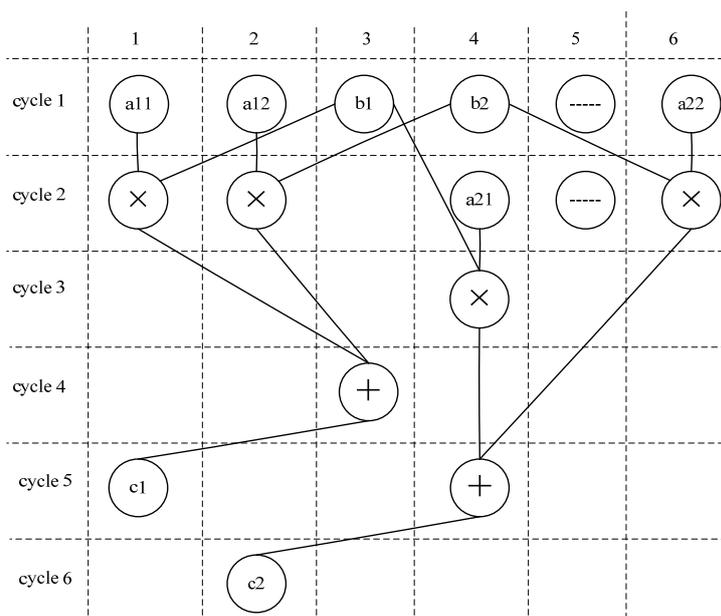


Рис. 7. Граф проведения ПСР при неработоспособном БВС

Таблица 2

Работа агентов по тактам с неработоспособным агентом

Такты	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	чт a11	чт a12	чт b1	чт b2	–	чт a22
2	1×3	2×4		чт a21	–	4×6
3				3×4	–	
4			1+2		–	
5	зп c1			4+6	–	
6		зп c2			–	

Примечание: чт – чтение данных; зп – запись данных.

Как следует из рассмотрения рис. 6, «работу» пятого БВС берет на себя четвертый БВС. Работа всей гетерогенной группы продолжается, несмотря на выход из строя одного из БВС.

Таким образом, использование синергетического подхода в ИИУС на основе интеллектуального взаимодействия агентов МАС позволяет сохранить эффективность проведения ПСР при выходе из строя БВС за счет нелинейной составляющей эффективности, возникающей из-за синергетического эффекта в системе.

Заключение

Для обеспечения эффективности сбора и обработки данных в ИИУС авторами предложен усовершенствованный алгоритм функционирования МАС (MASL+) на основе клонирования и образования коалиций ИА. Данная концепция построения ИИУС является инструментом анализа эффективности и позволяет оптимизировать структуру и функционирование ИИУС по Парето, когда значение каждого частного показателя, характеризующего систему, не может быть улучшено без ухудшения других.

Таким образом, структурно-функциональная модель предложенной синергетической ИИУС характеризуется набором структурных элементов и их функциональным назначением, присущим большинству современных ИИУС, что делает ее инвариантной относительно области применения. Пример использования предлагаемой синергетической ИИУС для управления БВС в условиях ЧС показывает оптимизацию ресурсов за счет синергетического эффекта и достижение поставленной цели даже при выходе агента из строя, так как структура ИИУС является восстанавливаемой и сохраняющей работоспособность при выходе из строя агента (БВС).

Библиографический список

1. Бугайченко, Д. Ю. Формально-логическая спецификация мультиагентных систем реального времени / Д. Ю. Бугайченко, И. П. Соловьев // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 1, Вып. 2, Математика. – 2007. – С. 49–57.
2. Ковалевский, В. Э. Мультиагентные алгоритмы согласования ключевых показателей эффективности предприятия / В. Э. Ковалевский, В. А. Онуфриев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 67–80. – DOI 10.18721/JCSTCS.12306.
3. Внедрение сбалансированной системы показателей / Horvath & Partners ; пер. с нем. М. Гавриш, С. Данилевич, В. Толкач. – Москва : Альпина Бизнес Букс, 2005. – 478 с. – (Модели менеджмента ведущих корпораций).
4. Закирова, А. Р. Управление процессами / А. Р. Закирова. – Казань : Казан. ун-т, 2015. – 86 с.
5. Безбородова, О. Е. Оценка эффективности совершенствования информационно-измерительных и управляющих систем / О. Е. Безбородова, А. Г. Убиенных, В. В. Шерстнев, О. Н. Бодин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 3 (33). – С. 33–41.
6. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем : пер. с англ. / М. Месарович, Д. Мако и И. Такахага ; под ред. И. Ф. Шахнова ; предисл. чл.-кор. АН СССР Г. С. Поспелова. – Москва : Мир, 1973. – 344 с.
7. Sukharev, O. S. The theory of effectiveness of economy : monograph / O. S. Sukharev. – 2nd ed., cor. – Moscow : Kurs: INFRA-M, 2014. – 367 p. – URL: https://studref.com/428048/ekonomika/sinergeticheskaya_effektivnost

8. Multi-agent Technologies for Comprehensive Monitoring of the State of Territorial Technosphere / O. Bezborodova, N. Gromkov, O. Bodin, A. Bodin, V. Baranov, V. Trilissky // 2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). – Budva, Montenegro, 2019. – P. 1–4. – DOI 10.1109/MECO.2019.8760064.
9. Пат. 2292075 Российская Федерация. Синергическая вычислительная система / Бодин О. Н., Логинов Д. С., Тернопольский К. А. – № 2005119236/09 ; заявл. 21.06.2005 ; опубл. 20.01.2007, Бюл. № 2. – 20 с.
10. Пат. 2694528 Российская Федерация. Способ проведения поисково-спасательных работ / Шерстнев В. В., Бодин О. Н., Безбородова О. Е., Рахматуллоев Ф. К. [и др.]. – № 2018139491 ; заявл. 07.11.2018 ; опубл. 16.07.2019, Бюл. № 20. 31 с.

References

1. Bugaychenko D. Yu., Solov'ev I. P. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 1, Vyp. 2, Matematika* [Bulletin of Saint Petersburg University. Ser. 1, Issue 2, Mathematics]. 2007, pp. 49–57. [In Russian]
2. Kovalevskiy V. E., Onufriev V. A. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie* [Scientific and technical statements of SPbGPU. Computer science. Telecommunications. Management]. 2019, vol. 12, no. 3, pp. 67–80. DOI 10.18721/JCSTCS.12306. [In Russian]
3. *Vnedrenie sbalansirovannoy sistemy pokazateley* [Implementation of a balanced scorecard]. Horvath & Partners; transl. from German by M. Gavrish, S. Danilevich, V. Tolkach. Moscow: Al'pina Biznes Buks, 2005, 478 p. [In Russian]
4. Zakirova A. R. *Upravlenie protsessami* [Process management]. Kazan: Kazan. un-t, 2015, 86 p. [In Russian]
5. Bezborodova O. E., Ubiennykh A. G., Sherstnev V. V., Bodin O. N. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol'* [Measurement. Monitoring. Management. Control]. 2020, no. 3 (33), pp. 33–41. [In Russian]
6. Mesarovich M., Mako D. and Takahara I. *Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnykh sistem: per. s angl.* [Theory of hierarchical multilevel systems: transl. from English]. Moscow: Mir, 1973, 344 p. [In Russian]
7. Sukharev O. S. *The theory of effectiveness of economy: monograph*. 2nd ed., cor. Moscow: Kurs: INFRA-M, 2014, 367 p. Available at: https://studref.com/428048/ekonomika/sinergeticheskaya_effektivnost
8. Bezborodova O., Gromkov N., Bodin O., Bodin A., Baranov V., Trilissky V. *2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*. Budva, Montenegro, 2019, pp. 1–4. DOI 10.1109/MECO.2019.8760064.
9. Pat. 2292075 Russian Federation. *Sinergicheskaya vychislitel'naya sistema* [Pat. 2292075 Russian Federation. Synergistic computing system]. Bodin O. N., Loginov D. S., Ternopol'skiy K. A. No. 2005119236/09; appl. 21.06.2005; publ. 20.01.2007, bull. № 2, 20 p. [In Russian]
10. Pat. 2694528 Russian Federation. *Sposob provedeniya poiskovo-spasatel'nykh rabot* [Pat. 2694528 Russian Federation. Method of conducting search and rescue operations]. Sherstnev V. V., Bodin O. N., Bezborodova O. E., Rakhmatulloev F. K. et al. No. 2018139491; appl. 07.11.2018; publ. 16.07.2019, bull. № 20, 31 p. [In Russian]

Безбородова Оксана Евгеньевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра техносферной безопасности,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: ot@pnzgu.ru

Bezborodova Oksana Evgen'evna

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of technosphere safety,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Бодин Олег Николаевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-измерительной техники
и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Bodin Oleg Nikolaevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information and measurement
technology and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Крамм Михаил Николаевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра основ радиотехники,
Национальный исследовательский университет
«МЭИ»
(Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14)
E-mail: KrammMN@mail.ru

Kramm Mikhail Nikolayevich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of radio engineering fundamentals,
National Research University «MPEI»
(14 Krasnokazarmennaya street, Moscow, Russia)

Шерстнев Владислав Вадимович

соискатель,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iit@pnzgu.ru

Sherstnev Vladislav Vadimovich

applicant,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Безбородова, О. Е. Обеспечение эффективности информационно-измерительных и управляющих систем / О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, М. Н. Крамм, В. В. Шерстнев // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 4 (34). – С. 5–16. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-4-1.