

УДК 004.896

В. Н. Ткачев, В. В. Токарев, Г. И. Чурюмов

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Проспект Науки, 14, 61166 Харьков, Украина

Разработка алгоритма мультиагентного управления группой мобильных «s-bot»

Проведен анализ существующих подходов к решению проблемы группового управления интеллектуальными мобильными объектами (ИМО). Дано определение понятиям «Swarm-bot» и «s-bot». Проанализированы основные проблемы, возникающие при управлении группой ИМО. Показано, что при построении «Swarm-bot»-системы наиболее важной и сложной задачей является разработка системы управления, способной решать задачи глобального и локального планирования в соответствии с выбранной стратегией группового управления и получаемой «s-bot» информацией. Приведена общая концепция построения гибридной «Swarm-bot»-системы. Разработан алгоритм мультиагентного управления группой мобильных «s-bot».

Ключевые слова: интеллектуальные мобильные объекты, «swarm-bot», «s-bot», lan-«s-bot», гибридная система, «стоимость», «аукцион», «продажа», «доходы», «покупки».

Введение

В настоящее время интеллектуальные мобильные объекты (ИМО) находят широкое применение в областях, связанных с риском для человека, например, в химической и атомной промышленности при техногенных и природных катастрофах и др. ИМО могут использоваться при решении таких задач как инспекция и исследование труднодоступных помещений, наблюдение за различными объектами, построение карты загрязнения рабочего пространства, охранных систем и т.п. [1–10].

Отдельный ИМО обладает ограниченными возможностями. У него малый радиус действия и небольшое число выполняемых функций. Поэтому, при решении сложных задач, целесообразным является одновременное применение группы ИМО. Преимущества использования группы ИМО очевидны: больший радиус действия; расширенный набор выполняемых функций (многофункциональность); более высокая вероятность выполнения поставленных задач, достигаемая за счет возможности перераспределения целей между ИМО группы в случае выхода из строя некоторых из них.

© В. Н. Ткачев, В. В. Токарев, Г. И. Чурюмов

При выполнении поисково-спасательных и ликвидационных операций требуется использовать множество ИМО различной «специализации». При этом должна быть организована их согласованная работа.

Проблемы группового управления и коммуникации, связанные с организацией «коллективного» поведения ИМО, в настоящее время решаются с помощью мультиагентного управления [1–10].

Мультиагентные системы — это системы, состоящие из множества взаимодействующих агентов ИМО, коллективно решающих общую задачу. Понятие «агент» включает любые физические или виртуальные единицы, обладающие следующими свойствами:

- 1) коммуникабельность — способность обмениваться информацией с другими агентами;
- 2) целенаправленность — направленность на достижение какой-либо цели;
- 3) наличие ряда выполняемых функций;
- 4) автономность, предполагающая наличие собственных ресурсов (энергетических, вычислительных, информационно-измерительных и т.п.);
- 5) реактивность — способность к восприятию окружающей среды и способность строить частичные представления об этой среде на основе воспринимаемой информации;
- 6) способность к самоорганизации.

Принцип действия мультиагентных систем основывается на декомпозиции общей задачи на ряд более простых задач, возлагаемых на отдельный ИМО, распределении этих задач между системами управления (СУ) ИМО, планировании коллективного поведения ИМО, координации взаимодействия ИМО на основе: кооперации, реконфигурации, коммуникации и разрешения конфликтных ситуаций [11, 12].

Таким образом, задача мультиагентного управления группой ИМО, автономно функционирующих в условиях химического заражения, является актуальной, т.к. ликвидация последствий техногенных аварий и катастроф, где присутствует деструктивное внешнее воздействие (ДВВ), т.к. ДВВ является одним из основных условий применения технической системы в виде ИМО в окружающей среде опасной для человека. Решение данной задачи направлено на практическую реализацию применения мультиагентного управления группой ИМО, что позволит в значительной степени снизить степень опасности при работе в неблагоприятных или опасных условиях.

Целью данной работы является разработка алгоритмов мультиагентного управления группой ИМО, которые, предназначены для работы на химически опасных объектах.

Обзор предметной области

В настоящее время во многих странах ведутся активные разработки алгоритмов мультиагентного управления группой ИМО. Как правило, это группы интеллектуальных мини- или микрообъектов, которые могут быть использованы для сбора различной информации, наблюдения за территорией, опасной для жизни и здоровья человека, а также в труднодоступных местах. Одним из примеров группы ИМО является совместный проект бельгийских, итальянских и

швейцарских ученых «Swarm-bot», состоящий из некоторого количества простых «s-bot», построенных из относительно дешевых компонентов и способных к самоорганизации и самостоятельному монтажу, а также адаптации к окружающей среде (что очень важно, при деструктивном внешнем воздействии) [13, 14].

Предполагается, что «Swarm-bot», собирая себя из «s-bot» в различные конфигурации, сможет выполнять различные задачи, которые не под силу каждому отдельному «s-bot». Например, для того, чтобы преодолеть препятствие типа «канавы», «s-bot» соединяются в прямую линию-«поезд» [13, 14].

Другой пример — это проект ученых из Университета Карнеги-Меллон в Питсбурге (США), в рамках которого разработана группа миниатюрных «s-bot», способных соединяться друг с другом и за счет этого принимать произвольную форму. Суть проекта заключается в использовании электромагнитных или электрических сил для объединения миниатюрных «s-bot» в группы. Соединение «s-bot» друг с другом осуществляется при помощи сил статического электричества [13, 14].

Задачи группового управления ИМО также решаются одним из подразделений Министерства Обороны США. Проект представляет собой радиосеть, выстраивающуюся с помощью множества миниатюрных мобильных радиостанций LAN-«s-bot», которые могут покрывать определенную площадь рабочей зоны, при этом производится расчет оптимальных вариантов их расположения [13, 14].

Если одна станция выходит из строя, то все остальные передислоцируются таким образом, чтобы восполнить потерю. LAN-«s-bot» способны обмениваться информацией друг с другом и координировать свои действия. Проведенный анализ показал, что все существующие в настоящее время «Swarm-bot»-системы являются узкоспециализированными и решают ограниченный круг задач [13, 14].

Постановка задачи исследования

В настоящее время выделяют четыре основных проблемы, возникающие при управлении группой ИМО-«Swarm-bot»: выбор стратегии группового управления; глобальное планирование; локальное планирование; обработка информации, получаемой агентом «s-bot» в процессе их функционирования.

В процессе выполнения задач «s-bot» получают информацию, которую необходимо обработать. На основании полученных данных может быть сформирована новая задача для группы «s-bot».

При построении «Swarm-bot»-системы наиболее важной и сложной задачей является разработка системы управления, способной решать задачи глобального и локального планирования в соответствии с выбранной стратегией группового управления и получаемой «s-bot» информацией. В зависимости от используемой стратегии группового управления выделяют три типа «Swarm-bot»: централизованные, децентрализованные, гибридные.

В результате проведенного анализа стратегий группового управления установлено, что целесообразно строить «Swarm-bot» как гибридную систему, в состав которой входит множество мобильных «s-bot», имеющих различную «специализацию» («s-bot»-разведчики, «s-bot»-ликвидаторы и др.). Гибридные «Swarm-bot»-системы обладают достоинствами как централизованных, так и децентрализованных систем и лишены большинства их недостатков. Системы, по-

строенные по гибриднему принципу, имеют высокие надежность и быстродействие, обладают способностью к самоорганизации.

Такая гибридная «Swarm-bot»-система способна решать следующие задачи, направленные на выявление и ликвидацию последствий аварий на химически опасных объектах, в условиях радиационного или биологического заражения (при использовании специального оборудования), а также при ликвидации последствий различных природных катастроф, землетрясений, наводнений и т.п.:

- слежение за состоянием окружающей среды в опасной зоне;
- выявление превышения предельно допустимой концентрации химически опасных веществ в рабочей зоне;
- обследование рабочей зоны с целью поиска и определения параметров очагов химического и другого заражения (разведка среды);
- маркировка безопасных маршрутов эвакуации людей из зоны заражения;
- нейтрализация очагов заражения.

Данная статья посвящена разработке мультиагентным алгоритмам управления группой мобильных «s-bot». В этом случае «s-bot» в процессе переговоров самостоятельно распределяют задачи между собой, руководствуясь заданным критерием оптимальности. Недостатками данного метода являются его вычислительная сложность и большое количество сообщений, которые должен отправить и принять каждый «s-bot», что приводит к быстрому расходу энергоресурсов группы «s-bot». В рамках статьи разработан мультиагентный алгоритм, позволяющий существенно сократить вычислительную сложность распределения задач среди мобильных «s-bot».

Разработка алгоритмического обеспечения

Группа мобильных «s-bot» состоит из n «s-bot» (рис. 1). Каждый «s-bot» может выполнять одну или несколько задач из заданного списка типов задач (прокладка эвакуационного маршрута, разведка территории, рекогносцировка на местности, ликвидация последствий техногенных аварий и катастроф, картографирование). Глобальная задача разделена на m более простых задач. Для решения каждой j -й задачи требуется n_j «s-bot», где $j = 1, \dots, m$. C_{ij} — «стоимость» выполнения i -м «s-bot» j -й задачи, где $i = 1, \dots, n$. В качестве «стоимости» может рассматриваться, например, время, затраченное «s-bot» на выполнение данной задачи.

Мультиагентное распределение задач наилучшим образом обеспечивает модель переговоров «Аукцион», основанная на обмене информацией между отдельными «s-bot». На аукционе некоторые ресурсы, необходимые для достижения цели несколькими «s-bot», выставляются на «продажу». Эти ресурсы ограничены, поэтому «s-bot» соперничают между собой в процессе «торгов». В случае распределения задач в группе «s-bot» в качестве ресурсов следует использовать сами задачи. Возможности «покупки» ресурсов «s-bot» также ограничены, а целесообразность покупки оценивается функцией полезности ресурса (критерием оптимальности), которая, как правило, вычисляется в виде разности между «доходом» от использования ресурса и затратами на его покупку. На аукционе один из «s-bot» играет особую роль лидера (аукционера).

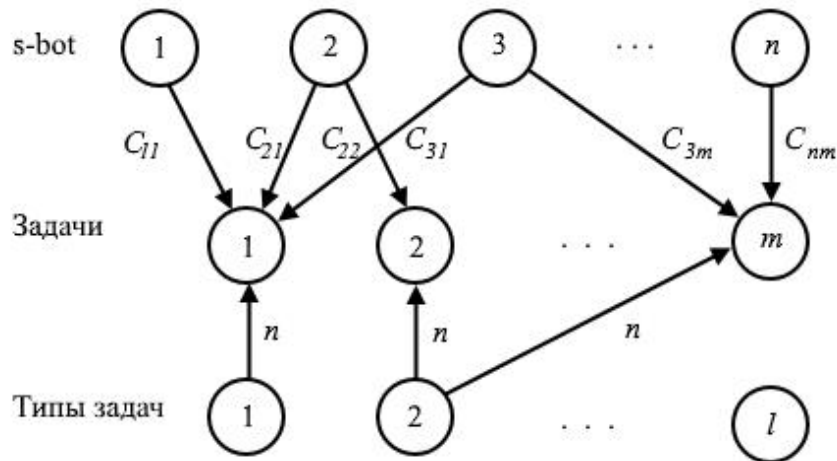


Рис. 1. Постановка задачи распределения

Алгоритм, реализующий модель «Аукцион», является итерационным и включает последовательность следующих шагов.

Шаг № 1. Управляющий центр сообщает всем «s-bot» количество и тип задач, а также число «s-bot», необходимое для решения каждой задачи.

Шаг № 2. Каждый «s-bot» формирует ценовой массив, в который записывает «стоимость» выполнения отдельных задач. Таким образом, формируется табл. 1, характеризующая возможности группы «s-bot» (табл. 1 соответствует рис. 1).

Таблица 1. Возможности группы «s-bot»

«s-bot»	Задача			
	1	2	...	m
1	C_{11}	–	...	–
2	C_{21}	C_{22}	...	–
3	C_{31}	–	...	C_{3m}
...
n	–	–	...	C_{nm}

Шаг № 3. Каждый «s-bot» сортирует ценовой массив в порядке возрастания.

Шаг № 4. Выбор аукционера. Лидером становится незанятый «s-bot», имеющий наименьший порядковый номер.

Шаг № 5. Лидер выбирает лучшую (наименее затратную) из своих задач (например, задачу № k) и отправляет запрос остальным «s-bot»: «У кого k -я задача также является лучшей?».

Шаг № 6. Аукционер формирует структуру данных, содержащую номера ответивших «s-bot» и их соответствующие «цены». Также лидер вносит в структуру собственные данные.

Шаг № 7. В зависимости от числа элементов массива, сформированного на предыдущем шаге, возможны три ситуации, описанные в табл. 2 (n_k — число «s-bot», необходимое для решения k -й задачи).

Шаг № 8. Переход к шагу 4. Алгоритм выполняется до тех пор, пока ценовые массивы «s-bot» содержат хотя бы один элемент.

Таблица 2. Ситуации, возникающие в ходе проведения аукциона

Условие			Действия			
			Выбор всех «s-bot» массива	Выбор «s-bot», предложивших наименьшую цену	Оповещение «s-bot» о выполнении задачи k	Исключение задачи k из ценовых массивов «s-bot»
Количество элементов массива	=	n_k	+	–	+	+
	<		+	–	+	–
	>		–	+	+	+

Постановка эксперимента и анализ результатов

Эксперимент № 1. Группа состоит из пяти «s-bot» ($n = 5$). Каждый «s-bot» должен переместиться в одну из трех заданных целевых точек ($m = 3$). Известно требуемое количество «s-bot» для каждой целевой точки: $n_1 = 2, n_2 = 1, n_3 = 2$. Необходимо распределить целевые точки таким образом, чтобы каждый «s-bot» при перемещении в выбранную точку стремился пройти как можно меньшее расстояние, учитывая интересы других «s-bot». Расстояния между «s-bot» и целевыми точками известны.

В данном случае «стоимость» C_{ij} — это расстояние между i -м «s-bot» и j -й целевой точкой (ЦТ), где $i = 1 \dots 5, j = 1 \dots 3$. Ценовые массивы «s-bot» приведены в табл. 3.

Таблица 3. Ценовые массивы «s-bot»

«s-bot» № 1		«s-bot» № 2		«s-bot» № 3		«s-bot» № 4		«s-bot» № 5	
ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»
1	4	1	2	1	3	1	4	1	6
2	1	2	5	2	4	2	2	2	4
3	6	3	3	3	5	3	3	3	2

В соответствии с шагом № 3 алгоритма, каждый «s-bot» сортирует свой ценовой массив в порядке возрастания. Результаты сортировки приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты сортировки ценовых массивов

«s-bot» № 1		«s-bot» № 2		«s-bot» № 3		«s-bot» № 4		«s-bot» № 5	
ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»
2	1	1	2	1	3	2	2	3	2
1	4	3	3	2	4	3	3	2	4
3	6	2	5	3	5	1	4	1	6

1-й круг аукциона. Лидер — «s-bot» № 1. Его лучшая целевая точка $k = 2$. «s-bot» № 1 ответил «s-bot» № 4, т.е. всего 2-«s-bot». Поскольку $n_2 = 1$, а «s-bot» № 1 (номер каждого «s-bot» в алгоритме зависит от MAC-адреса, прошитого в специальной области памяти. На основании MAC-адреса формируется ID-номер

для каждого «s-bot») предлагает меньшую «цену», то «s-bot» № 1 отправляется к целевой точке № 2, которая исключается из ценовых массивов «s-bot». Результаты 1-го круга аукциона приведены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты 1-го круга аукциона

«s-bot» № 2		«s-bot» № 3		«s-bot» № 4		«s-bot» № 5	
ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»
1	2	1	3	3	3	3	2
3	3	3	5	1	4	1	6

2-й круг аукциона. «s-bot» № 2 — лидер. Его лучшая целевая точка $k = 1$. Лидеру ответил «s-bot» № 3, т.е. всего 2-«s-bot». Так как $n_1 = 2$, оба «s-bot» отправляются к целевой точке 1, которая исключается из ценовых массивов «s-bot». Результаты, полученные во 2-м круге аукциона, показаны в табл. 6.

Таблица 6. Результаты 2-го круга аукциона

«s-bot» № 4		«s-bot» № 5	
ЦТ	«цена»	ЦТ	«цена»
3	3	3	2

3-й круг аукциона. «s-bot» № 4 — аукционер. Здесь все аналогично 2-му кругу аукциона. «s-bot» № 4 и «s-bot» № 5 отправляются к целевой точке 3. Результат работы алгоритма показан на рис. 2. Над стрелками цифрами указаны расстояния между соответствующими «s-bot» и целевыми точками. Как видно, большинство «s-bot» отправилось к ближайшим целевым точкам, что подтверждает эффективность разработанного алгоритма.

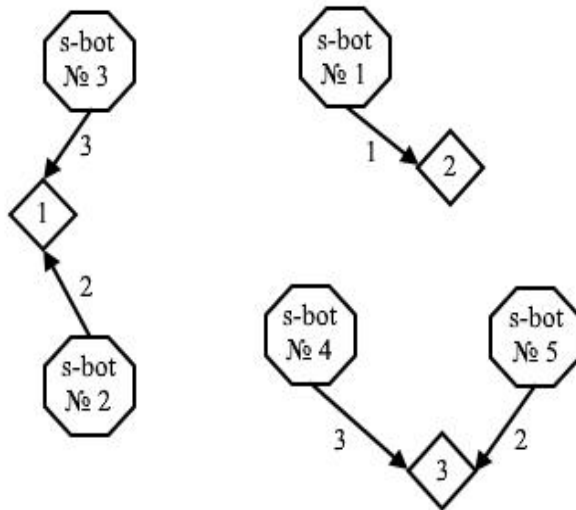


Рис. 2. Распределение целевых точек с помощью модели «Аукцион»

В разработанном алгоритме все задачи имеют одинаковые приоритеты и независимы. При этом на практике часто возникают ситуации, когда приоритеты задач не равны. В этом случае также можно использовать модель переговоров «Аукцион». Постановка задачи представлена на рис. 3.

Здесь W_j , где $j = 1, \dots, m$ — это приоритет выполнения j -й задачи. Отличие такого алгоритма от рассмотренного ранее заключается в следующем. В таблицу, характеризующую возможности группы «s-bot», добавляется строка, содержащая приоритеты задач (табл. 7).

Аукционер в каждом круге аукциона выставляет на торги задачу с наивысшим приоритетом. «s-bot» не выполняют сортировку своих «ценовых» массивов и положительно отвечают на

запрос аукционера, если могут выполнить данную задачу. Аукционер выбирает из всех ответивших те «s-bot», которые предлагают наименьшую цену.

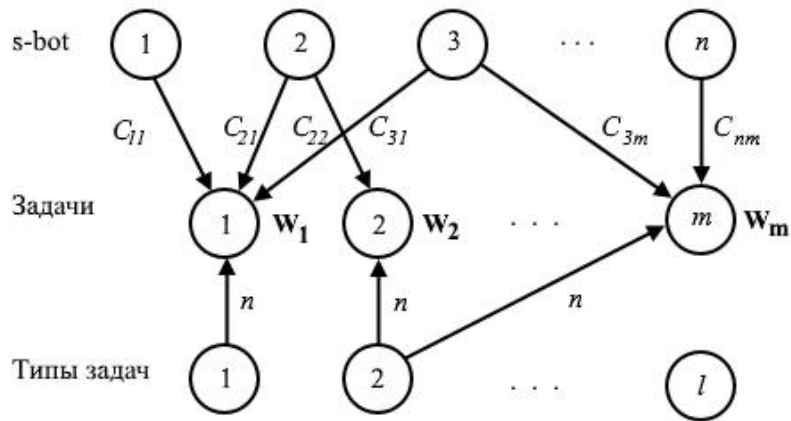


Рис. 3. Распределение задач с приоритетом

Таблица 7. Характеристика возможности группы «s-bot» с учетом приоритетов задач

«s-bot»	Задача			
	W_1	W_2	...	W_m
	Приоритет 1	Приоритет 2	...	Приоритет m
1	C_{11}	—	...	—
2	C_{21}	C_{22}	...	—
3	C_{31}	—	...	C_{3m}
...
n	—	—	...	C_{nm}

Эксперимент № 2. Группа состоит из девяти «s-bot» ($n = 9$), каждый из которых должен переместиться в одну из трех заданных целевых точек ($m = 3$). Известно требуемое количество «s-bot» для каждой целевой точки: $n_1 = 2$, $n_2 = 4$, $n_3 = 3$. Также заданы приоритеты целевых точек: $W_1 = 2$, $W_2 = 1$, $W_3 = 3$. Табл. 8 характеризует возможности группы «s-bot».

Таблица 8. Характеристика возможности группы «s-bot» с учетом приоритетов целевых точек

«s-bot»	Задача(целевая точка)		
	1	2	3
	Приоритет 2	Приоритет 1	Приоритет 3
1	9	6	...
2	10	8	4
3	6	...	5
4	...	4	...
5	...	4	7
6	5	3	6
7	9	...	4
8	...	6	5
9	7	6	3

Необходимо распределить целевые точки таким образом, чтобы каждый «s-bot» при перемещении в выбранную точку стремился пройти как можно меньшее расстояние, учитывая интересы других «s-bot». Расстояния между «s-bot» и целевыми точками известны.

На рис. 4 приведены результаты работы алгоритма распределения задач (целевая точка) без заданных приоритетов, а на рис. 5 приведены результаты работы алгоритма распределения задач (целевая точка) с заданными приоритетами.

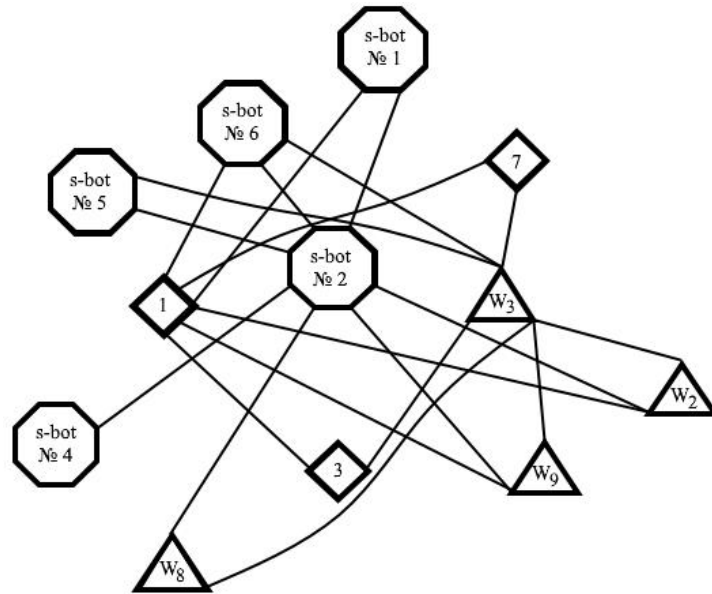


Рис. 4. Мультиагентное распределение задач (целевая точка) в группе «s-bot» без заданных приоритетов

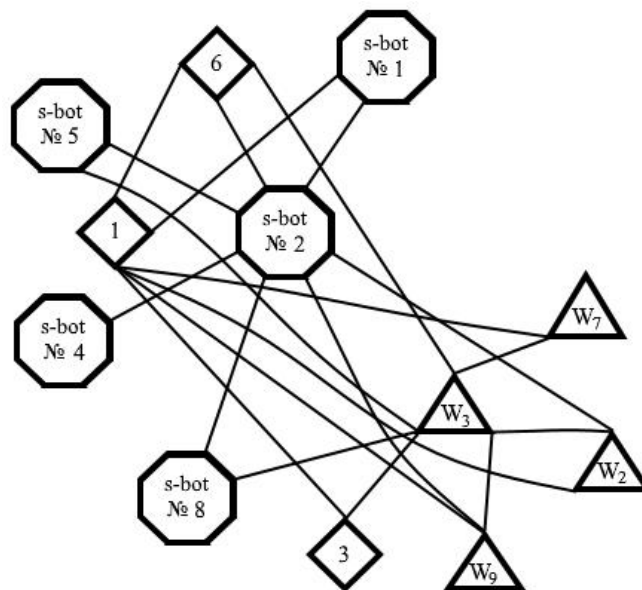


Рис. 5. Мультиагентное распределение задач (целевая точка) в группе «s-bot» с заданными приоритетами

Выводы

Рассмотрены общие принципы построения мультиагентных систем, а также основные проблемы и задачи, возникающие при их проектировании. Проведен сравнительный анализ существующих стратегий группового управления, методов централизованного и децентрализованного глобального планирования. Рассмотрены общие подходы к проблеме локального планирования. Введены понятия «Swarm-bot»-система и «s-bot». Сформирован состав гибридной «Swarm-bot»-системы, куда входят следующие элементы:

- управляющий центр;
- множество мобильных «s-bot», имеющих различную «специализацию» («s-bot»-разведчики, «s-bot»-ликвидаторы и др.);
- вспомогательное оборудование.

Рассмотрен подход к решению задач маркировки безопасных маршрутов эвакуации и нейтрализации очагов химического заражения: мультиагентное управление. Разработан алгоритм мультиагентного распределения задач в коллективе «s-bot». Показано, что централизованное управление следует применять в том случае, если количество «s-bot», входящих в состав коллектива, невелико и обстановка, в которой действуют «s-bot», изменяется медленно. В остальных случаях мультиагентное управление является предпочтительным.

Исследования проводились в рамках научной нагрузки лаборатории «Реконфигурируемых и мобильных систем» кафедры Электронных вычислительных машин Харьковского национального университета радиоэлектроники.

1. Токарев В.В., Ткачев В.М., Радченко В.О., Лебедев В.О. Проблема передачі даних типу Big Data у мобільній системі «мультикоптер-сенсорна мережа». *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. № 2(42). С. 154–157.

2. Радченко В.О., Руденко Д.А., Ткачев В.Н., Токарев В.В. Мобильная подсистема «Мультикоптер-сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. № 4(44). С. 102–105.

3. Спосіб передачі цифрових даних мультикоптерною системою між сегментами розподіленої сенсорної мережі та базовою станцією [Текст]: пат. 118921 Україна: МПК 2017.01, H04W 64/00, H04W 84/18 (2009.01), G06F 17/40 (2006.01) / Ткачев В.М., Токарев В.В., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. u201704085; заяв. 24.04.2017; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16. 2017. 5 с.

4. Рубан И.В., Чурюмов Г.И., Токарев В.В., Ткачев В.Н. Функциональная стойкость универсальной мобильной реконфигурируемой системы при воздействии электромагнитного излучения высокой мощности. «Информационные технологии и безопасность». Материалы докладов XVII Международной научно-практической конференции (30 нояб. 2017, г. Киев). Киев, 2017. С. 205–210.

5. Створення науково-методичних основ забезпечення живучості мережевих систем обміну інформацією в умовах зовнішнього впливу потужного НВЧ-випромінення [Текст]: вик. НДР: Харківський національний університет радіоелектроніки; керівн. Чурюмов Г.І., вик. Токарев В.В. [та ін.]. Харків, 2017. № держреєстрації 0117U003916.

6. Ruban I.V., Churyumov G.I., Tokarev V.V., Tkachov V.M. Provision of Survivability of Reconfigurable Mobile System on Exposure to High-Power Electromagnetic Radiation. Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security (ITS 2017). CEUR Workshop Processing. Kyiv, Ukraine, November 30, 2017. P. 105–111.

7. Токарев В.В., Білий В.В. Мультиагентна система як «програмний робот». Проблеми інформатизації. Тези доповідей VI наук.-техн. конф. (14–16 лист. 2018, м. Харків). Харків, 2018. С. 41.

8. Churyumov G., Tokarev V., Tkachov V., Partyka S. Scenario of Interaction of the Mobile Technical Objects in the Process of Transmission of Data Streams in Conditions of Impacting the Powerful Electromagnetic Field. 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). 21–25 Aug. 2018. P. 183–186.

9. Tkachov Vitalii, Tokariiev Volodymyr, Dukh Yana, Volotka Vadym. Method of Data Collection in Wireless Sensor Networks Using Flying Ad Hoc Network. 2018 5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (October 9-12, 2018 Kharkiv). Kharkiv, Ukraine, 2018. P. 197–201.

10. Genadiy Churyumov, Vitalii Tkachov, Volodymyr Tokariiev, Vladyslav Diachenko. Method for ensuring survivability of flying ad-hoc network based on structural and functional reconfiguration. «Информационные технологии и безопасность». Материалы докладов XVII Международной научно-практической конференции (27 нояб. 2018, г. Киев, Украина). Киев, 2018. С. 145–159.

11. Додонов О.Г., Горбачик О.С., Кузнецова М.Г. Організація управління групою мобільних технічних об'єктів. (Management Organization of Mobile Technical Objects Group) Selected Papers of the XVII International Scientific and Practical Conference on Information Technologies and Security (ITS 2017). Kyiv, Ukraine, November 30, 2017. CEUR Workshop Proceeding. 2018. Vol. 2067. P. 1–7. ISSN 1613-0073. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2067/paper1.pdf>

12. Додонов О.Г., Горбачик О.С., Кузнецова М.Г. Задачі управління і забезпечення живучості системи мобільних технічних об'єктів. Друга міжнародна науково-практична конференція «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології»: зб. наук. праць. Харків, ХНУРЕ, 2018. С. 57–59.

13. Swarm-bots: Swarms of self-assembling artifacts. URL: <http://www.swarm-bots.org> (дата звернення: 31.01.2019).

14. The centibots project. URL: <http://www.ai.sri.com/centibots> (дата звернення: 31.01.2019).

Поступила в редакцію 12.02.2019