

Раздел II. Морская робототехника

УДК 629.58

А.И. Машошин, П.О. Скобелев

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОЙ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Рассматриваются принципы построения распределенной мультиагентной системы для управления группировкой («роем») автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) для распределенного решения задачи патрулирования заданной территории. Предлагается новая методическая основа для разработки распределенных интеллектуальных систем коллективного управления подвижными робототехническими объектами нового поколения, которая позволит решать важные задачи согласованной деятельности коллектива (роя) роботов и обеспечит такие важные преимущества, как гибкость и эффективность, производительность и масштабируемость, надежность и живучесть системы. Автономность АНПА обеспечивается наличием индивидуальной интеллектуальной системы управления (ИСУ) каждым аппаратом, способной реагировать на события, планировать свою работу по достижению цели и коммуницировать с другими аппаратами. В этих целях в качестве основы построения ИСУ выбрана мультиагентная технология, позволяющая создавать открытые к изменениям планы, оперативно, гибко и эффективно перестраивать их по событиям и добиваться исполнения заданной миссии несмотря на любые возмущающие события. Программные агенты миссии, задач, маршрутов, квадратов наблюдения, аппаратов и других ресурсов разрабатываемой системы призваны решать свои локальные задачи: обеспечение наблюдения за определенным квадратом акватории, выбор безопасного маршрута (без столкновений), поддержание необходимого запаса заряда батарей, обеспечение сеансов связи с базой, идентификация определенных целей (задач для каждого АНПА). Согласование своих действий каждый агент АНПА производит в согласованных запланированных временных окнах, которые подвижны и могут перераспределяться между ресурсами и сдвигаться по времени в зависимости от ситуации для решения конфликтов. При невозможности выполнения, задачи передаются другим агентам, с возможной потерей качества или эффективности выполнения заданий. Предлагаемый метод адаптивного планирования базируется на введении функций удовлетворенности каждого агента системы, которые описывают отклонения атрибутов параметров от желаемых идеальных значений. Каждый агент получает описание предметной области из локальной онтологии, являющейся частью онтологии региона. Текущее состояние сцены формируется путем коррекции онтологических сцен отдельных агентов, при этом на инструментальном уровне поддерживается непротиворечивость данного состояния системы агентов. Общая направленность поведения агентов задается в онтологии, поведение агентов направлено на получение локально оптимальных параметров. В текущей сцене возможны временные ухудшения состояний отдельных агентов, однако динамическая эволюция всей системы связана с автоматической адаптацией в требуемом направлении. Потеря одного или нескольких аппаратов не приводит к срыву задания, а только увеличивает время его выполнения, возможно, с худшим качеством и меньшей вероятностью. Общий принцип построения распределенной системы управления группировкой АНПА требует применения сетевидного подхода в создании мультиагентной «системы систем», согласованно взаимодействующих на базе p2p принципов между собой через общую шину. При этом является возможной создать систему как самоорганизующуюся, в которой директивный командный центр по принятию решений, сохраняя при этом все возможности для постановки задач, координации и оценки результатов, не командует процессами, а исполь-

зует, катализируя, прямое взаимодействие систем между собой для согласования решений, что и позволяет моделировать появление феномена нового типа «командного интеллекта» у группировки («интеллект роя»). Главный принцип такого рода сетецентрических систем может быть сформулирован следующим образом: задача должна решаться так локально, как это только возможно, но при этом и так глобально, как это требует развитие ситуации. Предлагается распределенная архитектура сетецентрической системы управления группировкой АНПА, рассматриваются основные модули архитектуры и их взаимодействие. Дается анализ преимуществ создаваемой системы, намечаются пути ее реализации и применения.

Автономный необитаемый подводный аппарат; мультиагентные технологии; планирование в реальном времени; сетецентрические системы.

A.I. Mashoshin, P.O. Skobelev

APPLICATION OF MULTI-AGENT TECHNOLOGY FOR MANAGING A GROUP OF UNMANNED UNDERWATER VEHICLES

The paper considers the principles of developing a distributed multi-agent system for managing a group ("swarm") of unmanned underwater vehicles (UUV) for distributed solution of the task of patrolling a given area. The paper proposes a new methodological framework for development of distributed smart systems for collective management of the new generation mobile robotic objects. This framework provides the ability to solve important tasks of coordinated actions within a group (swarm) of robots and ensures such important benefits as flexibility and efficiency, productivity and scalability, reliability and viability of the system. Self-sufficiency of UUVs is ensured by an individual intelligent control system (ICS) for each vehicle. This system is capable of reacting to events, planning its performance in order to achieve the objectives and communicating with other devices. For this purpose, multi-agent technology acts as the basis for the ICS, providing the possibility to create plans which are open to change, as well as rebuild them quickly, flexibly and efficiently according to the events and to enforce a given mission in spite of any disturbing events. Software agents of the mission, tasks, routes, surveillance squares, vehicles and other resources within the developed system are designed to solve their local problems: surveillance of a certain square of the waters, choosing a safe route (without collisions), maintaining an adequate supply of battery power, maintenance of communication sessions with the database and identifying specific goals (tasks for each UUV). Each UUV agent performs coordination of its actions during flexibly scheduled time slots, which are mobile and can be reallocated among the resources and shifted, depending on the situation, in order to resolve conflicts. If it is impossible to perform the task, it is transferred to other agents, with possible loss of quality or efficiency. The proposed method of adaptive planning is based on introduction of satisfaction functions for each agent in the system. Such functions describe deviations of parameter attributes from the desired ideal values. Each agent receives a description of the domain from the local ontology, which is part of the region ontology. The current state of the scene is formed by correcting ontological scenes of individual agents. At the same time, consistency of the given state of agent system is supported on the instrumental level. The general trend of agent behavior is defined in the ontology and is directed at achieving locally optimal parameters. Temporary deterioration of the states of individual agents is possible in the current scene, however, dynamic evolution of the whole system aims to automatically adapt to the desired direction. The loss of one or more vehicles does not lead to disruption of the mission, and only increases the running time, possibly with lower quality and a smaller probability. The general principle of constructing the distributed control system for UUV groups requires a network-centric approach to building a multi-agent "system of systems". These subsystems interact with each other on the basis of p2p principles via a common bus. In this case, it is possible to create a self-organizing system, in which the directorial command decision-making center does not give orders to the processes but uses direct interaction among the systems, at the same time catalyzing it. Meanwhile, the command center maintains all the capabilities for task assignment, coordination and evaluation of results. Such an approach gives the possibility to simulate the appearance of a new type of phenomenon – "command (team) intelligence" in groups ("swarm intelligence"). The main principle of this kind of network-centric systems can be formulated as follows: the task must be solved as locally as possible, but at the same time as globally, as

is required in the given situation. The paper proposes distributed architecture of network-centric systems for management of a UUV swarm and considers the basic architecture modules and their interaction. The main benefits generated by the system are analyzed and the ways of their implementation and application are outlined.

Unmanned underwater vehicle; multi-agent technology; real-time planning; network-centric system.

Введение. Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) являются перспективным средством исследования морских глубин [1–6].

Для решения большинства задач используются одиночные АНПА. К этим задачам, в первую очередь, относятся:

- ◆ прокладка подводных кабелей;
- ◆ обследование подводных трубопроводов;
- ◆ проведение подводных научных исследований в различных областях и др.

Вместе с тем имеются актуальные задачи, которые эффективно могут быть решены только при использовании группы АНПА, действующих по единому замыслу во взаимодействии друг с другом.

Таковыми задачами являются [7–9]:

- ◆ обеспечение поиска подводных месторождений углеводородов методом донного зондирования;
- ◆ поиск донных объектов (например, мин, затонувших кораблей и самолетов) в назначенном районе относительно большой площади;
- ◆ нейтрализация подводного нарушителя, вошедшего в охраняемый район и т.д.

При использовании группы АНПА наиболее сложной задачей является управление этой группой, получившее название кооперативного управления.

Разработка методов и алгоритмов кооперативного управления группой автономных технических средств (в том числе роботов) посвящено значительное число работ как у нас в стране, так и за рубежом. Однако большинство из этих работ ориентировано на решение задачи кооперативного управления группой БПЛА либо наземных роботов [10–17]. По управлению группой АНПА работ значительно меньше [18–21]. Обусловлено это тем, что при кооперативном управлении группой АНПА к проблемам, которые нужно решить при управлении любой группой автономных технических средств, добавляется ряд специфических проблем, которые значительно усложняют задачу.

Этими специфическими проблемами, в первую очередь, являются:

- ◆ ограниченные возможности оперативного обмена данными и командами управления между командным пунктом и каждым АНПА группы, а также АНПА между собой, как по дальности (единицы – первые десятки километров), так и по скорости передачи данных (до 1 кб/с);
- ◆ ограниченными возможностями АНПА по точности автономной подводной навигации;
- ◆ трудностью разработки эффективного алгоритма кооперативного управления группой АНПА, как ввиду названных ограничений, так и с учётом трудно предсказуемых изменений обстановки (в частности, противодействия со стороны подводных нарушителей) и непредсказуемых различных нештатных ситуаций (например, возникновения неисправностей материальной части отдельных АНПА);
- ◆ главным недостатком АНПА является отсутствие интеллекта. Система управления АНПА в состоянии реализовывать только заложенные в неё алгоритмы, реализующие достаточно ограниченные по своей сложности модели поведения АНПА. В непредвиденных (нештатных) ситуациях эти

алгоритмы могут вызывать неадекватное поведение АНПА. При этом следует особо отметить, что в систему управления (СУ) АНПА нельзя закладывать самообучающиеся алгоритмы, поскольку их функционирование при критическом изменении входных данных является непредсказуемым.

Целью предлагаемой работы является обоснование архитектуры системы кооперативного управления группой АНПА.

1. Постановка задачи, выбор подхода к решению и архитектуры системы кооперативного управления группой АНПА. Рассмотрим практически важную задачу поиска обломков самолета, потерпевшего крушения над морем, в условиях, когда место падения известно с большой ошибкой.

Данная задача, в принципе, может решаться с использованием судов, оснащенных гидроакустическими средствами обследования дна (многолучевыми эхолотами, гидролокаторами бокового обзора, профилографами, в том числе и буксируемыми). Однако применение АНПА в этом случае предпочтительнее, особенно в морях с большими глубинами, поскольку АНПА может маневрировать вблизи дна и, применяя высокочастотные гидроакустические средства с более высокой разрешающей способностью, обеспечивают большую достоверность обнаружения и классификации предметов, лежащих на дне.

Но одним АНПА для решения рассматриваемой задачи не обойтись, поскольку, учитывая малую скорость АНПА (единицы узлов), решение этой задачи при помощи одного АНПА займет весьма продолжительное время (до месяца и более), а, принимая во внимание, что использование АНПА в открытом море нуждается в специальном корабельном обеспечении, потребует больших человеческих и материальных ресурсов. Принципиально должна использоваться группа АНПА, включающая достаточно большое (10–20) количество легких АНПА, предназначенных для поиска донных объектов (будем называть их поисковыми АНПА), и небольшое (2–5) количество тяжелых АНПА (АНПА-лифтеров), способных поднимать обнаруженные обломки на поверхность.

Группе ставится задача обследовать заданный район и поднять на поверхность все обнаруженные обломки самолета, возможная форма которых описывается в формализованном задании.

Из постановки задачи можно сделать следующие выводы:

- ◆ учитывая весьма ограниченную дальность гидроакустической связи, обмен информацией между судном обеспечения и каждым АНПА, когда он находится в подводном положении, будет практически исключен. Т.е. группа АНПА при выполнении миссии должна действовать по большей части автономно;
- ◆ по той же причине каждый АНПА в группе сможет обмениваться информацией, в лучшем случае, только с ближайшими (соседними) АНПА. Из этого следует, что каждый АНПА в группе должен действовать автономно, однако при наличии возможности согласовывая свои действия с ближайшими АНПА.

Из сделанных выводов вытекает, что для системы кооперативного управления группой АНПА одним из перспективных подходов является развиваемая в последнее десятилетие мультиагентная архитектура [22–26] (рис. 1), отличающаяся наличием интеллектуальных агентов, которые способны действовать самостоятельно, но при этом согласуя свои действия с другими агентами, а также с пунктом управления (если он имеется).

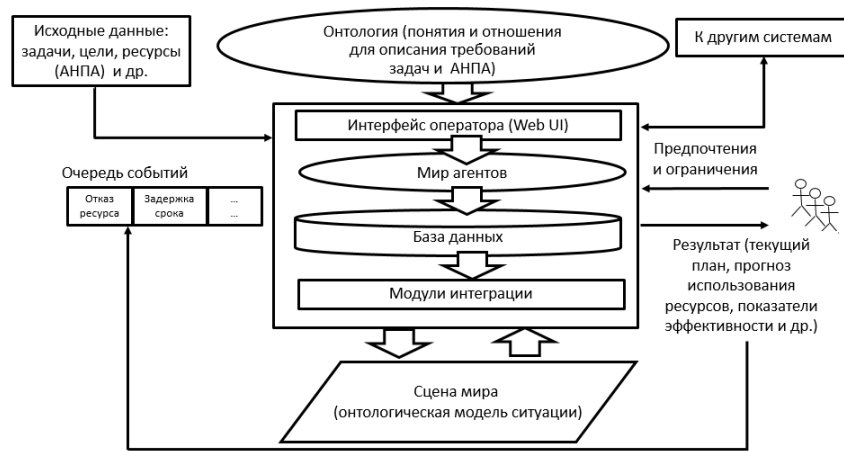


Рис. 1. Логическая архитектура мультиагентной системы управления роем АНПА

Логическая структура состоит из следующих основных блоков:

- ◆ Онтология элементов предметной области, с отношениями “часть-целое, состоит из-, имеет атрибуты, связана с”, и др.
- ◆ Система ввода исходных данных, допускающая ввод задач на исполнение с необходимыми атрибутами и характеристик АНПА.
- ◆ Система генерации и ввода событий в очередь на обслуживание.
- ◆ Мультиагентная система планирования, состоящая из динамического мира агентов, взаимодействующих между собой, допускающая визуализацию процессов через интерфейс пользователя. Агенты обращаются как в базу знаний, представленной онтологией, так и в базы данных, содержащих необходимую детальную техническую информацию об интересующих их компонентах. Модули интеграции предназначены для взаимодействия с подсистемами сторонних разработчиков, например, с системами навигации.
- ◆ Сцена мира представляет собой динамический временной слепок текущей ситуации, реализующей конкретную модель, построенную агентами системы на основе онтологии и поступающих внешних событиях.

В рассматриваемой задаче агентами являются специальные программы, загружаемые в процессоры каждого АНПА и осуществляющие управление ими. Управление группой АНПА реализуется путем взаимодействия этих агентов.

Агенты должны функционировать с учетом:

- ◆ поставленной задачи;
- ◆ размеров и глубины района;
- ◆ гидрометеорологических условий в районе;
- ◆ дальности гидроакустической связи АНПА между собой в текущих гидроакустических условиях;
- ◆ скорости передачи информации по гидроакустическому каналу;
- ◆ точности автономной навигации АНПА;
- ◆ текущего энергетического ресурса АНПА;
- ◆ технического состояния (исправности) своего и, взаимодействующих АНПА.

Построение планов в бортовых интеллектуальных системах и их координация в группировке позволит строить сетевые системы, в которых инициатива по выработке и принятию согласованных решений может быть предпринята с любой стороны.

Сетевый подход с настраиваемой онтологией даст возможность представлять знания и разворачиваемые сценарии выполнения задач, необходимые для реализации миссий, а также изменять и поддерживать любые распределенные топологии сетей вычислений и передач данных, построенные на базе mash-принципов, когда любой аппарат одновременно сможет и обработать, и передать сигналы соседям, а от них – на базу и в центр.

Каждый АНПА в системе выступает программным агентом, который, получив задание на выполнение миссии, реализует её в тесном взаимодействии с другими АНПА и лишь в предписанных случаях обменивается информацией с командным пунктом.

2. Динамическое планирование задач на ресурсах в мультиагентном подходе. Реализация мультиагентного подхода к динамическому планированию задач на ресурсах основана на использовании концепции сетей потребностей и возможностей (ПВ-сетей) и метода сопряженных взаимодействий для управления ресурсами в реальном времени на виртуальном рынке [24, 25].

Согласно данной концепции, каждой миссии, задаче, входящим в нее подзадачам, ресурсам, а также их потребностям и возможностям присваиваются программные агенты, которые договариваются с другими агентами и планируют выполнение задач “точно-в-срок” (JIT) или “как можно раньше” (ASAP), что позволяет обеспечить поддержку коллективного согласования и принятия решений в реальном времени на различных этапах планирования и исполнения текущего плана в группировке АНПА, работающих совместно над решением общих задач.

Задача агентов потребностей – найти возможности (ресурсы) для удовлетворения потребностей, а задача агентов возможностей состоит в том, чтобы найти потребности для использования своих возможностей. В случае успешного поиска агенты могут заключать или пересматривать «контракты» на требуемые услуги на виртуальном рынке системы с выплатой бонусов в случае успешного их выполнения или штрафов в случае разрыва связей, а также компенсаций за ухудшение позиций при уступках в ходе переговоров.

Программные агенты ПВ-сети в среде исполнения имеют характеристики (атрибуты), связанные с настройкой сети на данную предметную область, например, поиска или патрулирования в заданном географическом квадрате с запретом вхождения в некоторые области. Кроме того, в выбранной предметной области у агентов заданы целевые критерии (срок, затраты энергии, количество сеансов связи, риск и др.) и функции удовлетворенности со значением от 0 до 1, описывающие их состояния по текущим значениям критериев. С каждым агентом связан счет в виртуальной валюте, с помощью которого в процессе переговоров они могут улучшать свои показатели. Отклонения показателей агентов от предполагаемых идеальных оцениваются при помощи штраф/бонусных функций, выраженных в виртуальных денежных единицах (рис. 2). Для критериев и ограничений функции удовлетворенности и бонус/штрафы агентов задаются в кусочно-линейном виде.

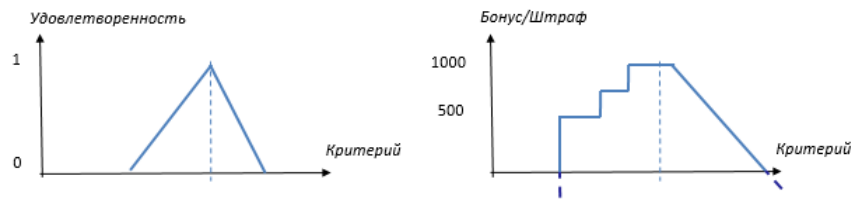


Рис. 2. Функция удовлетворенности и бонус/штраф функции агентов

Виртуальные денежные средства агентов предназначены для оценки разнородных критериев в виде единой меры, позволяющей выяснить качество существующего плана, и, с другой стороны, с их помощью удастся ввести естественный механизм оптимизации.

Поиск консенсусного решения представлен как согласование требований на виртуальном рынке. Итерационный процесс поиска решения останавливается при достижении консенсуса между агентами или при превышении количества итераций. Таким образом может быть найдено решение при групповом выполнении потока задач в реальном времени. Данный подход был применен в разрабатываемых системах управления БПЛА, роем спутников, РЖД и др. [29–32].

3. Функционирование системы управления при решении целевой задачи поиска и обнаружения объекта. Работу группы АНПА при решении рассматриваемой задачи целесообразно организовать следующим образом.

Каждому АНПА, осуществляющему осмотр дна, выделяется отдельный квадрат, но так, чтобы АНПА, работающие в соседних районах, могли связываться друг с другом по гидроакустическому каналу. Каждый из этих АНПА сам выбирает маршрут обследования своего района. Поскольку с течением времени автономного плавания ошибки определения собственных координат АНПА монотонно возрастают, периодически необходимо выполнять обсервацию координат АНПА с целью устранения невязки. Если район работы маяками-ответчиками не оборудован (а для рассматриваемой задачи это именно так), то самым точным методом обсервации является определение места по спутниковой навигационной системе (СНС) GPS/GLONASS. Для этого АНПА должен всплыть на поверхность и поднять антенну для приема сигналов СНС. Однако всплытие и последующее погружение связано с расходом значительного запаса электроэнергии аккумуляторной батареи (АБ), а также с потерей времени решения поставленной задачи. Если каждый АНПА будет самостоятельно осуществлять обсервацию, интервал времени между перезарядками АБ существенно сократится и длительность всей операции возрастет. Ввиду этого, а также учитывая, что АНПА работают в группе, целесообразно, чтобы обсервацию одномоментно осуществлял только один АНПА, а остальные уточняли свои координаты относительно него. Для этого АНПА, выполнивший обсервацию по СНС, после погружения передает по гидроакустическому каналу свои координаты, а те АНПА, которые принимают данное сообщение путем, так называемого, модемного обмена измеряют расстояние до источника сообщения и пеленг на него, и с использованием этих данных уточняют собственные координаты. АНПА, уточнившие таким образом свои координаты, сами выступают источником передачи обсервованных координат тем АНПА, которые не смогли принять сигнал от всплывавшего АНПА и т.д. В результате все АНПА группы уточнят свои координаты. Когда ошибка в координатах снова накопится, всплывать на обсервацию будет уже другой АНПА по заранее установленному расписанию. Таким образом, экономичная обсервация является одним из достоинств группового применения АНПА.

Двигаясь параллельными галсами либо по раскручивающейся спирали внутри своего квадрата каждый поисковый АНПА обследует дно. При обнаружении предмета на дне он оценивает его размеры и если они лежат в заданных пределах начинает классификационный маневр, двигаясь по окружности вокруг обнаруженного предмета. Проанализировав изображение предмета со всех сторон АНПА, принимает решение о его классе и размерах. Если принято решение, что обнаружен посторонний предмет, поиск продолжается. В противном случае АНПА ставит вблизи обнаруженного предмета гидроакустический маячок, всплывает на поверхность и по радиоканалу передает сообщение об обнаружении обломка самолета, его координатах и размере. После чего погружается и продолжает обследовать свой квадрат. Если размеры обломка позволяют поднять его на поверхность силами АНПА-лифтера, то все АНПА-лифтеры, находящиеся на поверхности и не занятые в данный момент подъемом других обломков, реагируют на данное сообщение, передавая в ответ свое расстояние от места нахождения обнаруженного обломка. АНПА-лифтер, оказавшийся ближе всех к месту обломка, посылает сообщение о приеме заказа на подъем обломка и приступает к его исполнению. Остальные АНПА-лифтеры, получив это сообщение, продолжают находиться в ожидании. Если в момент передачи сообщения об обнаружении обломка самолета все АНПА-лифтеры заняты подъемом других обломков, сообщение принимает обеспечивающее судно и начинает периодически его повторять до тех пор, пока заказ не примет один из свободных АНПА-лифтеров.

АНПА-лифтер, принявший заказ, погружается и начинает движение в сторону точки с указанными в сообщении координатами и продолжает движение до тех пор, пока не начнет принимать сигналы установленного у обломка маячка. Далее он наводится на маячок. Обнаружив предмет, помеченный маячком, АНПА-лифтер делает контрольный классификационный маневр, и если ранее вынесенное решение о классе подтверждается, цепляет предмет манипулятором и вместе с ним всплывает. После всплытия по радиоканалу сообщает на пункт управления свои координаты, по которым от судна обеспечения посылается специальный быстроходный грузовой катер.

Если размеры обнаруженного предмета выходят за допустимые пределы, что означает, что АНПА-лифтер справиться с ним не может, судно обеспечения посылает по указанным координатам специальный подъемный кран, позволяющий поднимать на поверхность тяжелые предметы.

В процессе выполнения работ агент каждого АНПА следит за уровнем заряда АБ и за исправностью материальной части. Если заряд АБ упал ниже минимально допустимого значения либо появилась неисправность материальной части, препятствующая проведению дальнейших работ, АНПА всплывает на поверхность и сообщает о своей проблеме и своих координатах на судно обеспечения, одновременно включает радиомаяк. Получив это сообщение, судно обеспечения посылает по указанным координатам специальный быстроходный катер обслуживания АНПА, который по прибытии в точку решает проблему.

Поскольку обломки самолета распределены по району поиска, скорее всего, не равномерно, поисковые АНПА, в чьих квадратах обломков не оказалось, закончат работу раньше остальных. Поэтому должен быть предусмотрен механизм взаимопомощи. Он реализуется следующим образом. Завершив обследование своего квадрата, поисковый АНПА сообщает об этом по гидроакустическому каналу с указанием своих координат. Те поисковые АНПА, которые приняли данное сообщение и у которых осталась необследованной значительная часть квадрата, приглашают освободившийся АНПА на помощь с указанием координат той части своего квадрата, которая выделяется для обследования в порядке помощи. Если при-

глашений поступило несколько, то освободившийся поисковый АНПА выбирает приглашение, поступившее из наиболее близкого квадрата. Если не поступило ни одной просьбы о помощи, поисковый АНПА всплывает на поверхность и по радиоканалу сообщает о завершении работы и своих координатах. Получив это сообщение, судно обеспечения посылает по указанным координатам специальный быстроходный катер обслуживания АНПА, который поднимает АНПА на борт.

Поисковая операция завершается, когда все поисковые АНПА всплыли и доложили о завершении работы. Если по истечении максимально возможного времени функционирования АНПА, отдельные поисковые АНПА не всплыли, в их квадраты посылаются другие поисковые АНПА, которые обследуют его на предмет обнаружения работы аварийных гидроакустических маяков, которые автоматически включаются в случае аварии АНПА. При обнаружении работы аварийных маяков на них наводятся АНПА-лифтеры, которые поднимают аварийные поисковые АНПА на поверхность.

4. Распределенное решение задачи патрулирования. Рассмотрим пример распределенного решения задачи патрулирования в группе «умных» АНПА, каждый из которых способен адаптивно строить свои собственные планы и координировать работу с себе подобными.

Предположим, что датчики поверхностного умного буя обнаружили не идентифицированный как «свой» подводный объект, движущийся со скоростью 5 узлов в направлении квадрата А, который может пересечь границу запретной зоны через 30 мин.

Агент буя связывается с агентом АНПА 1, находящемся в данном квадрате и сообщает ему информацию о нарушителе и возможные координаты цели.

Агент АНПА 1 воспринимает данную задачу как наиболее приоритетную и изменяет свой план патрулирования, для чего меняет курс в прогнозируемую точку встречи с подтверждением подхвата задачи. Одновременно агент АНПА 1 связан с агентом АНПА 2 с квадрата В, с которым у буя связи нет, и просит взять его зону патрулирования под контроль, если у того нет более важных задач в текущий момент – в результате АНПА 2 идет на подстраховку (выручку) АНПА 1, позволяя ему отклониться от своего плана для решения важной задачи – налицо первый акт кооперации двух агентов (рис. 3).

Однако, предположим, что через 10 мин неидентифицируемый объект увеличил скорость и изменил курс.

Агент АНПА 1 прогнозирует, что в связи с подводным течением, и недостатком заряда батарей, он через 10 минут потеряет объект из зоны видимости своих датчиков. Поэтому он направляет сообщения агенту более мощного АНПА 2 с возможными новыми координатами подводного объекта с описанием приоритетности задачи и координатами ближайшего буя для связи с центром и передачи информации о развитии ситуации.

Агент АНПА 2, анализируя курсы цели и подводную обстановку, оценивает, что задача слежения за обнаруженным объектом имеет большой приоритет и нет других исполнителей в районе, которые могли бы лучше решить задачу - и принимает задачу на себя. Получив подтверждение, агент АНПА 1 снимает данную задачу, о чем сообщает агенту буя, и возвращается к задачам патрулирования в свой квадрат.

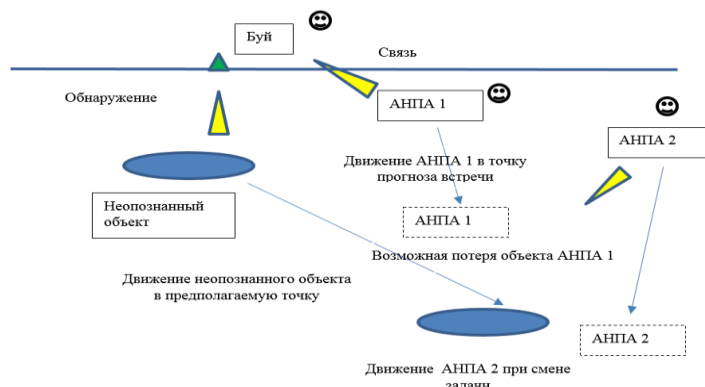


Рис. 3. Осуществление согласованного коллективного слежения агентов АНПА за неопознанным объектом. Неопознанный объект обнаружен, АНПА 1 движется в точку предполагаемой встречи и связывается с АНПА 2

Для подстраховки АНПА 2 также движется в заданный квадрат.

Агент АНПА 2 перемещается в точку встречи с объектом, и с помощью своих более чувствительных датчиков идентификации обнаруживает, что этот объект – скорее всего стая глубоководных рыб и прекращает преследование, о чем сообщает ближайшему бую и тот – передает эту информацию центру. Центр при необходимости мог бы выдать задачу продолжить слежение за выявленным объектом, пока и другие агенты не подтвердят вывод данного АНПА, что показывает необходимость балансировки в работе роя по критериям оперативности, надежности и достоверности обнаружения и идентификации объектов, возможной длительности наблюдений (заряд батарей), экономической целесообразности и т.д. (рис. 4)

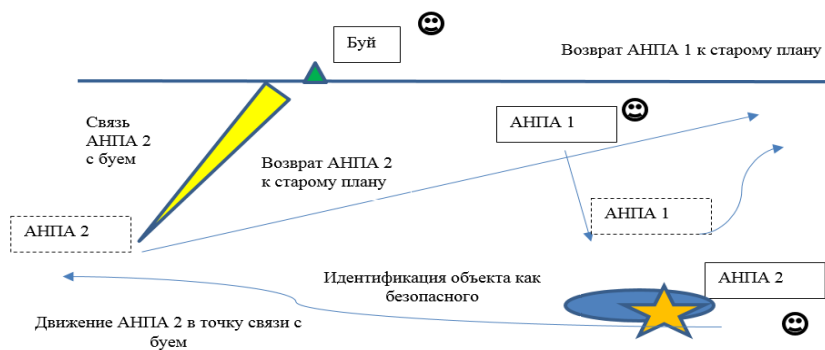


Рис. 4. Идентификация подводного объекта, перемещения АНПА 2 для связи с буюм и возврат АНПА 1 и 2 в точки выполнения текущих задач

Агент АНПА 2 меняет курс на ближайшую возможную точку связи с буюм, через полчаса сообщает агенту бую о выполненной задаче и об отсутствии опасности, затем возвращается в свой квадрат для выполнения своих плановых задач.

С развитием АИС на борту буюв, АНПА, кораблей и наземных станций могут размещаться и работать дополнительные агенты задач, регионов, аппаратуры, прогнозов, прокладки курсов, течений и др. Это означает, что развитие сетевых «систем систем», в которые интегрированы множества агентов (или стоящие за ними мультиагентные системы следующего уровня), обладающих автономным поведе-

нием для достижения своих локальных целей, но в то же время, являющихся элементами более сложной и динамичной системы, которая, в свою очередь, оперирует с целями, не выполнимыми отдельными агентами.

Такие распределенные системы призваны решать более широкий класс задач, не доступный отдельным системам.

Заключение. Новизна мультиагентного подхода состоит в том, что обеспечивается создание индивидуально планирующих свое поведение интеллектуальных планировщиков реального времени, способных работать как в группе, так и автономно, и поддерживается согласованность коллективного построения индивидуальных планов за счет своевременного выявления конфликтов между «эгоистичными» интересами отдельных подвижных объектов и «коллективными» интересами групп таких объектов.

В ходе выявления и разрешения конфликтов каждое событие может потребовать непредвиденных подвижек других задач или переброски задач с одного ресурса на другой, а в итоге, целой цепной волны изменений в согласованных расписаниях. Такой процесс может осуществляться путем автоматически проводимых переговоров, которые позволят компенсировать взаимные уступки в коллективе рассматриваемых объектов или лиц, принимающих решения, и гармонизировать противоречивые по определению интересы всех участников во имя достижения общей цели или решения общей задачи.

Рассмотренный подход может применяться для согласованного динамического планирования коллективного решения и любых других сложных задач. При этом решение рассматриваемой проблемы связывается с заменой одного центрального планирующего командного центра, единолично принимающего все решения и выдающего «оптимальные» инструкции всем участникам-подвижным объектам и работающего в «оффлайне», на распределенное сообщество (коллектив) более простых, но более интеллектуально действующих «малых» интеллектуальных планировщиков, способных не только создавать и корректировать планы в реальном времени, но и согласовывать эти планы путем непосредственного прямого взаимодействия в режиме реального времени, а также поддерживать двустороннее взаимодействие с пользователями для приёма новых задач, обработки важных событий и учёта изменяющихся предпочтений и ограничений.

При этом в основе метода лежит принцип совместной заинтересованности всех участников в решениях, выгодных как для каждого из них, так и для системы в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Агеев, М.Д. и др.* Автономные подводные роботы. Системы и технологии. – М.: Наука, 2005. – 400 с.
2. *Инзарцев А.В. и др.* Применение автономного необитаемого подводного аппарата для научных исследований в Арктике // Подводные исследования и робототехника. – 2007. – № 2 (4). – С. 5-14.
3. *Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А.* Мобильные подводные роботы в современной океанографии и гидрофизике // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2010. – Т. 3, No. 1. – С. 4-13.
4. *Боженков Ю.А.* Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 4-68.
5. *Millar G., Mackay L.* Maneuvering under the ice // Sea technology. – 2015. – Vol. 56, No. 4. – P. 35-38.
6. *Илларионов Г.Ю., Сиденко К.С., Бочаров Л.Ю.* Угроза из глубины: XXI век. – Хабаровск: КГУП "Хабаровская краевая типография", 2011. – 304 с.

7. *Ghabcheloo R., Pascoal A., Silvestre C., Kaminer I.* Nonlinear Coordinated Path Following Control of Multiple Wheeled Robots with Bidirectional Communication Constraints // International Journal of adaptive control and signal processing. – 2007. – No. 20. – P. 133-157.
8. *Вельтищев В.В., Егоров С.А., Кропотов А.Н., Кулешов В.И., Гурьев А.В.* Особенности разработки навигационного обеспечения группировки АНПА // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2014. – Т. 7, № 2. – С. 41-45.
9. *Сахаров В.В., Чертков А.А., Тормашев Д.С.* Алгоритм оптимального планирования группового взаимодействия роботов // Морской вестник. – 2014. – № 4 (52). – С. 119-122.
10. *Ducatelle F., Di Caro C. P., Gambardella L. M.* Self-organized cooperation between robotic swarms // Swarm Intelligence. – 2011. – Vol. 5, No. 2. – P. 73-96.
11. *Khaldi B., Cherif F.* An Overview of Swarm Robotics: Swarm Intelligence Applied to Multi-robotics // International Journal of Computer Applications (0975-8887). – 2015. – Vol. 126, No. 2. – P. 31-37.
12. *Trianni V. and Nolfi S.* Engineering the evolution of self-organizing behaviors in swarm robotics: A case study // Artificial Life. – 2011. – Vol. 17, No. 3. – P. 183-202.
13. *Khamis A., Ahmed Hussein and Ahmed Elmogy.* Multi-robot Task Allocation: A Review of the State-of-the-Art // In: Cooperative Robots and Sensor Networks 2015, Studies in Computational Intelligence. A. Koubâa and J.R. Martínez-de Dios (eds.). Springer, Switzerland. – 2015. – P. 31-51.
14. *Kamrani F.* Using On-line Simulation in UAV Path Planning // DS-RT '07 Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications. – IEEE Computer Society 2007. – P. 167-174.
15. *Ergezer H., Leblebicioğlu K.* 3D path planning for multiple UAVs for maximum information collection // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2014. – Vol. 73, No. 1-4. – P. 737-762.
16. *Austin R.* Unmanned aircraft systems UAVs design, development and deployment. – 1st ed. Wiley Aerospace Series, United Kingdom. – 2010. – P. 221-226.
17. *Kuremoto T., Obayashi M., Kobayashi K.* Neuro-Fuzzy Systems for Autonomous Mobile Robots // Horizons in Computer Science Research (ed. T. S. Clary). 2013. N.Y., USA. – Vol. 8. – P. 67-90.
18. *Soares J.M., Aguiar A. P., Pascoal A.M., Martinoli A.* Joint ASV/AUV Range-Based Formation Control: Theory and Experimental Results. Proc. of ICRA 2013 - IEEE International Conference on Robotics and Automation, Karlsruhe, Germany. – P. 5579-5585.
19. *Antonelli G., Arrichiello F., Chiaverini S.* Experiments of Formation Control with Collisions Avoidance using the Null-Space-Based Behavioral Control. Intelligent Service Robotics. – 2008. – Vol. 1, No 1. – P. 27-39.
20. *Børhaug E., Pavlov A., Ghabcheloo R., Pettersen K.Y., Pascoal A., Silvestre C.* Formation Control of Underactuated Marine Vehicles with Communication Constraints. Proceedings 7th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft. Lisbon. Portugal. 2006.
21. *Marino A., Antonelli G., Aguiar A. Pedro., Pascoal A., Chiaverini S.* A decentralized strategy for multi-robot sampling/patrolling: theory and experiments. IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2015. – Vol. 23, No. 1. – P. 313-322.
22. *Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В.* Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 2. – С. 64-116.
23. *Skobelev P.* Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management // Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry. Paulo Leitão, Stamatios Karnouskos (Ed.). Elsevier. – 2015. – P. 207-230.
24. *Скобелев П.О.* Мультиагентные технологии в промышленных применениях: к 20-летию основания Самарской научной школы мультиагентных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 12. – С. 33-46.
25. *Скобелев П.О.* Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». – 2013. – № 1. – С. 1-32.
26. *Ржевский Г.А., Скобелев П.О.* Как управлять сложными системами? Мультиагентные технологии для создания интеллектуальных систем управления предприятиями. – Самара: Офорт, 2015. – 290 с.

27. *Vuttykh V.A., Skobelev P.O.* Метод сопряженных взаимодействий для управления распределением ресурсов в реальном масштабе времени // *Автоматика*. – 2009. – № 2. – С. 78-87.
28. *Vuttykh V.A., Skobelev P.O.* Мультиагентные модели взаимодействия для построения сетей потребностей и возможностей в открытых системах // *Автоматика и телемеханика*, – 2003. – № 1. – С. 177-185.
29. *Будаев Д.С., Воцук Г.Ю., Гусев Н.А., Майоров И.В., Мочалкин А.Н.* Разработка системы согласованного управления группой беспилотных аппаратов с применением мультиагентных технологий // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2015. – № 10 (171). – С. 18-28.
30. *Belousov A.A., Skobelev P.O., Stepanov M.E.* Network-centric approach to adaptive real-time train scheduling in large-scale railway systems / Y. Tan et al. (Eds.) // *Proceedings of the Sixth International Conference on Swarm Intelligence (ICSI 2015)*, 26-29 June, 2015, Beijing, China. Part II. – LNCS 9141. – Springer, 2015. – P. 290-299.
31. *P. Skobelev, E. Simonova & A. Zhilyaev.* Using multi-agent technology for distributed management of cluster of remote sensing satellites // *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*. – WIT Press, vol. 11(2016), is. 2. – P. 127-134.
32. *Skobelev P., Simonova E., Zhilyaev A.* Application of Ontology in Smart System for Distributed Management of Small Satellites Groups // *Proceedings of the PAAMS 2016 International Workshops*, 1-3 June, 2016, Sevilla, Spain. 2016. – *Communications in Computer and Information Science series*, vol. 0430. –Springer, Switzerland. – P. 1-12.

REFERENCES

1. *Ageev M.D.* Avtonomnye podvodnye roboty. Sistemy i tehnologii. [Autonomous underwater robots. Systems and technology]. Moscow: Nauka, 2005, 400 p.
2. *Inzartsev A.V.* Primenenie avtonomnogo neobitaemogo podvodnogo apparata dlya nauchnykh issledovaniy v Arktike [Use of autonomous underwater vehicle for research in the Arctic], *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika* [Underwater research and robotics], 2007, No. 2 (4), pp. 5-14.
3. *Gizitdinova M.R., Kuz'mitsky M.A.* Mobilnye podvodnye roboty v sovremennoy okeanografii i gidrofizike [Mobile underwater robots in modern oceanography and hydrophysics], *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* [Fundamental and applied hydrophysics], 2010, Vol. 3, No. 1, pp. 4-13.
4. *Bozhenov Ju.A.* Ispol'zovanie avtonomnykh neobitaemykh podvodnykh apparatov dlya issledovaniya Arktiki i Antarktiki. [Use of autonomous underwater vehicles for research in the Arctic and Antarctica], *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* [Fundamental and applied hydrophysics], 2011, Vol. 4, No. 1, pp.4-68.
5. *Millar G., Mackay L.* Maneuvering under the ice, *Sea technology*, 2015, Vol. 56, No. 4, pp. 35-38.
6. *Illarionov G.Ju., Sidenko K.S., Bocharov L.Ju.* Ugroza iz glubiny: XXI vek [Danger from the deep: XXI century], *Khabarovskaya kraevaya tipografiya* [Khabarovsk regional printing office], 2011, 304 p.
7. *Ghabeloo R., Pascoal A., Silvestre C., Kaminer I.* Nonlinear Coordinated Path Following Control of Multiple Wheeled Robots with Bidirectional Communication Constraints, *International Journal of adaptive control and signal processing*, 2007. No. 20. P.133– 157.
8. *Vel'tishhev V.V., Egorov S.A., Kropotov A.N., Kuleshov V.I., Gur'ev A.V.* Osobennosti razrabotki navigatsionnogo obespecheniya gruppirovki ANPA [Peculiarities of navigational support development of AUV group], *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* [Fundamental and applied hydrophysics], 2014, Vol. 7, No. 2, pp. 41-45.
9. *Saharov V.V., Chertkov A.A., Tormashev D.S.* Algoritm optimal'nogo planirovaniya gruppovogo vzaimodeystviya robotov [Algorithm of optimal planning of group interaction of robots], *Morskoy vestnik* [Morskoy Vestnik], 2014, No. 4 (52), pp. 119-122.
10. *Ducatelle F., Di Caro C.P., Gambardella L.M.* Self-organized cooperation between robotic swarms, *Swarm Intelligence*, 2011, Vol. 5, No. 2, pp. 73-96.
11. *Khalidi B., Cherif F.* An Overview of Swarm Robotics: Swarm Intelligence Applied to Multi-robotics, *International Journal of Computer Applications (0975–8887)*, 2015, Vol. 126, No. 2, pp. 31-37.

12. Trianni V. and Nolfi S. Engineering the evolution of self-organizing behaviors in swarm robotics: A case study, *Artificial Life*, 2011, Vol. 17, No. 3, pp. 183-202.
13. Khamis A., Ahmed Hussein and Ahmed Elmogy. Multi-robot Task Allocation: A Review of the State-of-the-Art, In: *Cooperative Robots and Sensor Networks 2015, Studies in Computational Intelligence*. A. Koubâa and J.R. Martínez-de Dios (eds.). Springer, Switzerland – 2015, pp. 31-51.
14. Kamrani F. Using On-line Simulation in UAV Path Planning, *DS-RT '07 Proceedings of the 11th IEEE International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications*. IEEE Computer Society 2007, pp. 167-174.
15. Ergezer H., Leblebicioğlu K. 3D path planning for multiple UAVs for maximum information collection, *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2014, Vol. 73, No. 1-4, pp. 737-762.
16. Austin R. Unmanned aircraft systems UAVs design, development and deployment. 1st ed. Wiley Aerospace Series, United Kingdom, 2010, pp. 221-226.
17. Kuremoto T., Obayashi M., Kobayashi K. Neuro-Fuzzy Systems for Autonomous Mobile Robots // *Horizons in Computer Science Research* (ed. T. S. Clary). 2013. N.Y., USA, Vol. 8, pp. 67-90.
18. Soares J.M., Aguiar A. P., Pascoal A.M., Martinoli A. Joint ASV/AUV Range-Based Formation Control: Theory and Experimental Results, *Proc. of ICRA 2013 - IEEE International Conference on Robotics and Automation, Karlsruhe, Germany*, pp. 5579-5585.
19. Antonelli G., Arrichiello F., Chiaverini S. Experiments of Formation Control with Collisions Avoidance using the Null-Space-Based Behavioral Control, *Intelligent Service Robotics*, 2008, Vol. 1, No. 1, pp. 27-39.
20. Børhaug E., Pavlov A., Ghabcheloo R., Pettersen K.Y., Pascoal A., Silvestre C. Formation Control of Underactuated Marine Vehicles with Communication Constraints, *Proceedings 7th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft. Lisbon. Portugal. 2006*.
21. Marino A., Antonelli G., Aguiar A. Pedro., Pascoal A., Chiaverini S. A decentralized strategy for multi-robot sampling/patrolling: theory and experiments, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2015, Vol. 23, No. 1, pp. 313-322.
22. Gorodeckij V.I., Grushinskij M.S., Habalov A.V. Mnogoagentnye sistemy (obzor) [Multi-agent systems (review)], *Novosti iskusstvennogo intellekta*, [News of artificial intelligence], 1998, No. 2, pp. 64-116.
23. Skobelev P. Multi-Agent Systems for Real Time Adaptive Resource Management, *Industrial Agents: Emerging Applications of Software Agents in Industry*. Paulo Leitão, Stamatis Karnouskos (Ed.). Elsevier, 2015, pp. 207-230.
24. Skobelev P.O. Mul'tiagentnye tehnologii v promyshlennykh primeneniya: k 20-letiyu osnovaniya Samarskoy nauchnoy shkoly mul'tiagentnykh sistem [Multi-agent technology in industrial application: dedicated to the 20th anniversary of Samara scientific school of multi-agent systems], *Mehatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control], 2010, No. 12, pp. 33-46.
25. Skobelev P.O. Intellektual'nye sistemy upravleniya resursami v real'nom vremeni: printsiy razrabotki, opyt promyshlennykh vnedreniy i perspektivy razvitiya [Smart systems for real-time resource management: development principles, industrial implementation and future development], *Prilozhenie k teoreticheskomu i prikladnomu nauchno-tehnicheskomu zhurnalu «Informatcionnye tehnologii»* [Appendix to theoretical and applied scientific-technical journal "Information technology"], No. 1, pp. 1-32.
26. Rzevski G.A., Skobelev P.O. Kak upravljat' slozhnymi sistemami? Mul'tiagentnye tehnologii dlya sozdaniya intellektual'nykh sistem upravleniya predpriyatiyami [How to manage complex systems? Multi-agent technology for developing smart enterprise control systems]. Samara: Ofort, 2015, 290 p.
27. Vittih V.A., Skobelev P.O. Metod sopryazhennykh vzaimodeystviy dlya upravleniya raspredeleniem resursov v real'nom masshtabe vremeni [Method of conjugated interactions for distributed real-time resource management], *Avtometriya* [Autometering], 2009, No. 2, pp. 78-87.
28. Vittih V.A., Skobelev P.O. Mul'tiagentnye modeli vzaimodeystviya dlya postroeniya setey potrebnostey i vozmozhnostey v otkrytykh sistemah [Multi-agent models of interaction for developing resource and demand networks in open systems], *Avtomatika i telemehanika* [Automatics and telemechanics], 2003, No. 1, pp. 177-185.

29. Budaev D.S., Voshhuk G.Ju., Gusev N.A., Majorov I.V., Mochalkin A.N. Razrabotka sistemy soglasovannogo upravleniya gruppyo bespilotnykh apparatov s primeneniem mul'tiagentnykh tehnologiy [Developing a system for coordinated management of a group of unmanned vehicles using multi-agent technology], *Izvestiya YuFU. Tehnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 10 (171), pp. 18-28.
30. Belousov A.A., Skobelev P.O., Stepanov M.E. Network-centric approach to adaptive real-time train scheduling in large-scale railway systems, Y. Tan et al. (Eds.), *Proceedings of the Sixth International Conference on Swarm Intelligence (ICSI 2015), 26-29 June, 2015, Beijing, China*. Part II. LNCS 9141. Springer, 2015, pp. 290-299.
31. Skobelev P., Simonova E. & Zhilyaev A. Using multi-agent technology for distributed management of cluster of remote sensing satellites, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 2016, Vol. 11, Issue 2, pp. 127-134.
32. Skobelev P., Simonova E., Zhilyaev A. Application of Ontology in Smart System for Distributed Management of Small Satellites Groups, *Proceedings of the PAAMS 2016 International Workshops, 1-3 June, 2016, Sevilla, Spain*. 2016. Communications in Computer and Information Science series, vol. 0430. Spinger, Switzerland, pp. 1-12.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.А. Витих.

Машошин Андрей Иванович – ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»; e-mail: aimashoshin@mail.ru; 197046, Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, 30; тел.: +79217632345; д.т.н.; профессор; начальник научно-исследовательского центра.

Скобелев Петр Олегович – Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королёва; e-mail: petr.skobelev@gmail.com; 443013, Самара, ТОЦ "Вертикаль", Московское шоссе, 17, офис 1201; тел.: 88462793779; д.т.н.; профессор; ведущий научный сотрудник Института проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН).

Mashoshin Andrey Ivanovich – JSC Concern Central Scientific and Research Institute «Elektropribor»; e-mail: aimashoshin@mail.ru; 30, Malaya Posadskaya street, Saint-Petersburg, 197046, Russia; phone: +79217632345; dr. of eng. sc.; professor; chief of the research department.

Skobelev Petr Olegovich – Samara State Aerospace University; e-mail: petr.skobelev@gmail.com; 17, Moskovskoe Shosse, office center "Vertikal", office 1201, 443013 Samara, Russia; phone: +78462793779; dr. of eng. sc.; professor; leading researcher of the Institute for Control of Complex Systems, Russian Academy of Sciences.

УДК 551.46.077:529.584

**И.В. Кожемякин, А.П. Блинков, К.В. Рождественский, В.А. Рыжов,
В.Д. Мелентьев, В.Ю. Занин**

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПЛАТФОРМЫ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Приведены результаты работ, выполненных Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом, в рамках тематики, связанной с комплексными исследованиями в обеспечение создания глобальной информационно-измерительной сети на основе морских роботизированных систем (МРС). К МРС в контексте работы отнесены следующие автономные необитаемые транспортные/измерительные/коммуникационные/обеспечивающие платформы: подводные глайдеры, буи и зонды переменной плавучести, поверхностные волновые буи, волновые глайдеры, донные и ледовые коммуникационные станции, узлы подводной стыковки-расстыковки мобильных автономных объектов, автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА). Перечисленные МРС в совокупности образуют комплекс технических средств – эффективных элементов морской глобальной информационно-