

**Алексей Смирнов**, первый зам. нач. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»; **Сергей Турсенев**, нач. кафедры университета; **Владислав Занин**, советник ген. директора АО «НПП ПТ «Океанос»; **Андрей Маевский**, науч. сотр. АО, рук. отдела морской робототехники СПбГМТУ; **Артем Горелый**, инженер-программист, аспирант ЮУрГУ

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ МЧС РОССИИ

Одним из перспективных направлений исследований Санкт-Петербургских ученых является развитие технологий применения групп морских робототехнических комплексов в области мониторинга и патрулирования подводных потенциально опасных объектов. Развитие данного направления может оказаться полезным для выполнения задач по патрулированию и анализу состояния таких объектов, а также по идентификации, классификации и составлению прогностических моделей распространения имеющихся в акватории загрязнений.

Системы искусственного интеллекта (ИИ) в последнее время находят все большее применение в различных отраслях промышленности в деле обработки и анализа данных, в организации работы робототехнических комплексов. Ввиду постоянно возрастающей сложности задач перед морскими робототехническими системами все более очевидной становится необходимость использования технологий ИИ. Они обеспечивают управление морскими робототехническими комплексами (МРТК), их навигацию в морском пространстве, формирование логики поведения этих комплексов и их групп в неизвестных средах, а также планирование их движения и оптимизацию обработки полученных данных.

Все это сферы деятельности в области разработки МРТК, которые на данный момент не имеют единого решения. Развитие технологий ИИ и машинного обучения может существенно расширить функциональные и оперативные возможности применения МРТК и их групп для решения задач МЧС России.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИИ ПРИ ПОИСКЕ И ПАТРУЛИРОВАНИИ СЛУЖБ СПАСЕНИЯ

Сейчас за рубежом происходит интенсивное внедрение систем морской робототехники в экстренные службы спасения. Пример тому – проект ICARUS, направленный на интеграцию робототехнических комплексов различного типа в единую систему. В том числе в этом проекте ведутся разработки в области

применения групповых робототехнических систем для решения задач мониторинга и патрулирования мест возникновения чрезвычайных ситуаций.

Для решения задач, связанных с обнаружением и спасением пострадавших в случае возникновения ЧС, разработчики рассматривают использование связки традиционных надводных РТК. Подобные стратегии были ранее проработаны и подробно описаны в научных работах, где рассматриваются технологии создания и управления МРТК, способные идентифицировать пострадавших и обеспечить доставку к ним спасательного плавсредства.

Разработанная система автоматического управления позволяет комплексу самостоятельно осуществить развертывание капсулы с борта автономного аппарата с последующим сбросом спасательного средства и его доставкой к месту ЧС.

Подобные системы практически автономны, т. е. способны самостоятельно предпринимать определенную последовательность действий в зависимости от ЧС и состояния окружающей среды. Но, к сожалению, разработчики не всегда могут учесть в полном объеме непредвиденные воздействия со стороны окружающей среды. Дополнительные ограничения



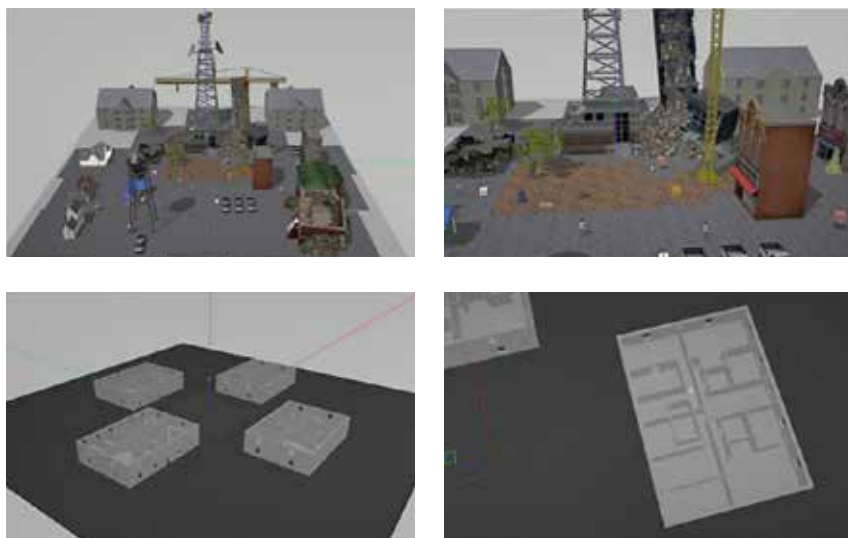
а – надводный автономный аппарат ROAZ;



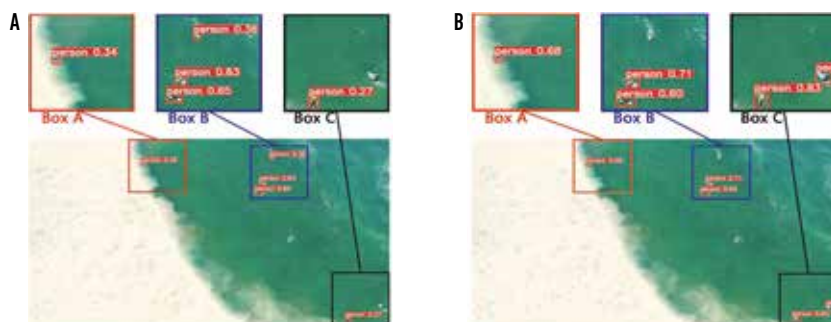
б – автономная капсула, буксирующая спасательное средство к месту обнаружения пострадавших



Схема работы гетерогенной группы РТК, занятой мониторингом и патрулированием



Разработка сцены моделирования возникновения ЧС и взаимодействия группы РТК в программном комплексе ROS/Gazebo



Использование методов машинного обучения для определения и кластеризации пострадавших в случае ЧС на акватории

на автономность накладывает сложность организации внутригруппового взаимодействия между аппаратами. Так что формирование реально автономного или интеллектуального взаимодействия группы МРТК для решения задач мониторинга и патрулирования подводных потенциально опасных объектов (ППОО) более трудоемкая и сложная задача. Она требует многопрофильной проработки комплекса алгоритмов и принципов управления и планирования МРТК.

Имеющиеся в настоящее время разработки по применению гетерогенных групп РТК в целях обеспечения ликвидации последствий ЧС основаны на использовании различных типов РТК.

Авторами этого материала были проведены предварительные исследования работы алгоритмов взаимодействия и протоколов обмена информацией между устройствами. В результате предлагается применять системы ИИ для сбора и анализа сведений с места возникновения ЧС, а также для формирования общей карты области ЧС на основе данных, полученных с различных сенсорных систем группы роботов.

Интеллектуальные технологии распознавания и классификации позволяют расширить спектр применения РТК и в целях поисково-спасательных работ, задач по обнаружению ППОО и обеспечению РТК необходимой информацией для мониторинга и патрулирования таких объектов. На сегодня имеется множество работ, описывающих применение систем распознавания людей в морской среде в процессе выполнения поисково-спасательных задач для ликвидации последствий ЧС.

К примеру, в качестве технических средств, применяемых в автоматической системе поиска и информирования о пострадавших в случае возникновения ЧС, используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), выполняющие патрулирование заданного сектора, в котором ИИ определяет и классифицирует объекты, находящиеся в зоне видимости сенсорной системы БПЛА. Однако выполнять комплексные работы, связанные

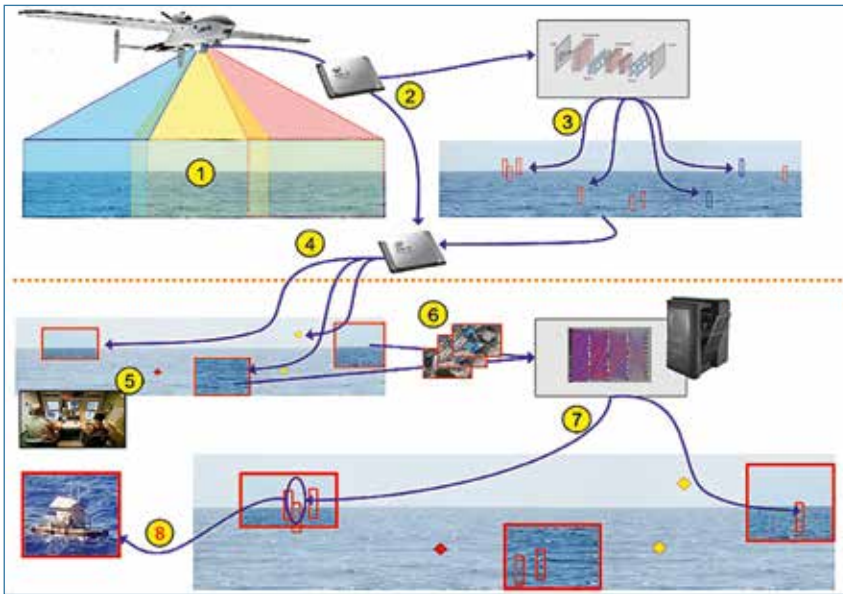


Схема алгоритма патрулирования, поиска и спасения пострадавших в случае возникновения ЧС на море

с обнаружением ППОО и их патрулированием, а также поиском и спасением пострадавших при возникновении ЧС на море, довольно сложно.

Такая система объединяет в себе многоуровневую алгоритмическую архитектуру и множество алгоритмов, обеспечивающих перемещение БПЛА в 3D-пространстве, связь летательного аппарата с береговым пунктом управления, связь модулей ИИ, определяющих и классифицирующих объекты в зоне видимости системы технического зрения, и многие другие подсистемы.

### РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУППЫ МРТК

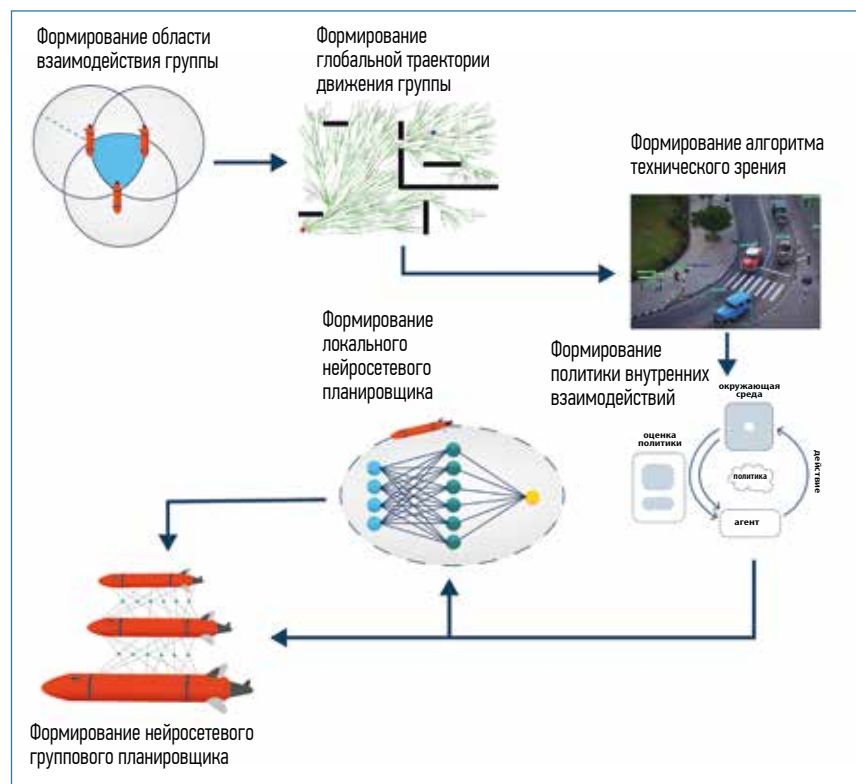
Применение МРТК в современных условиях, как правило, подразумевает выполнение задач без предварительного детального картографирования в больших открытых акваториях, с различной глубиной, рельефом дна и постоянно меняющимися воздействиями на периодических и аperiodических основах. Помимо этого, подводная среда накладывает существенные ограничения на возможность применения сенсорных систем роботов, систем связи и навигации, выставляет дополнительные требования по учету энергетической, конструкционной специфики управляемого объекта и условий района планируемых работ.

Чтобы учесть все эти особенности, мы решили проработать вопрос создания такой системы планирования и перемещения группы МРТК, в составе которой можно было бы использовать технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. Это позволило бы повысить автономность и расширить функциональность применения МРТК, в том числе в разнородной их группе,

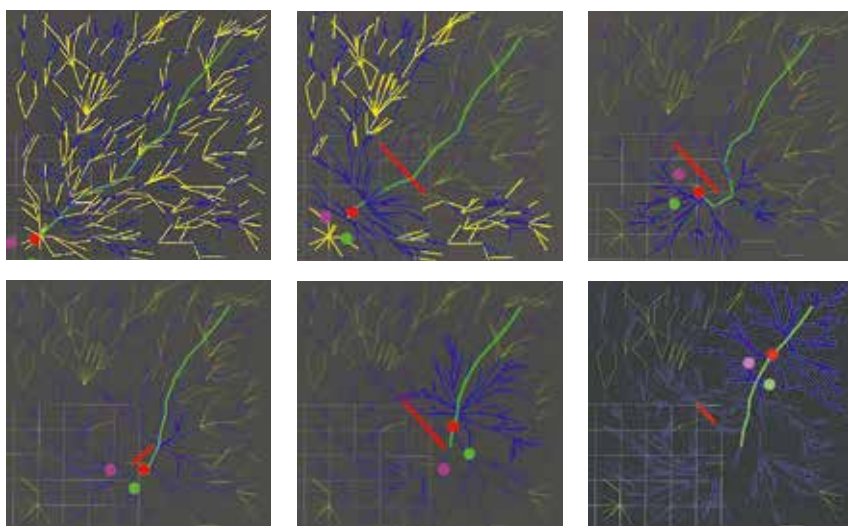
состоящей из подводных и волновых глайдеров, для решения задач МЧС России. Использование такой системы сейчас тщательно прорабатывается рядом научных коллективов.

Разрабатываемая система включает в себя следующие элементы:

- модуль глобального планирования, позволяющий обеспечить перемещение объекта в среде без наличия предварительного картографирования, на основе метода RRT (авторами была проведена адаптация алгоритма для его использования в условиях морской среды);
- модуль логики взаимодействия между агентами группы, формирующий адаптивную область взаимодействия группы, а также модуль системы единого поля видимости группы (совокупность этих двух модулей позволяет обеспечить интеллектуальную систему планирования, принятия наилучших решений в процессе работы группы МРТК);
- модули нейросетевого планирования одиночного агента группы и группы МРТК в целом, обеспечивающей формирование управляющих сигналов на исполнительные механизмы каждого



Архитектура разрабатываемой интеллектуальной системы планирования перемещения группы МРТК для решения задач обнаружения, патрулирования и мониторинга ППОО



Формирование глобальной траектории перемещения группы МРТК при имитационном моделировании

агента группы и организацию внутри-групповых алгоритмов взаимодействия агентов друг с другом.

Модуль интеллектуальной системы планирования реализован на основе полносвязной нейросети. В качестве основного метода обучения агента использовался метод DQN.

В основе обучения лежит закон и комплекс моделирования, в центре которого лежит фреймворк ROS и входящие в его состав программные компоненты Gazebo и Rviz. В качестве 2D-модели для первоначальной отработки использовалась модель turtlebot3.

Следует отметить, что алгоритм RRT, формирующий глобальную траекторию (зеленая), был улучшен таким образом, что при движении точки группы происходит смена «корня» дерева (центр группы). Это позволяет более эффективно находить новый путь за счет перестроения структуры дерева (синие ветви) в режиме реального времени (затемненные ветви не принимают участие в дальнейшем формировании траекто-

рии). Также данная доработка позволяет существенно сократить используемые вычислительные мощности на борту аппарата.

### Выводы

Технологии ИИ способны во многом облегчить и расширить функциональные возможности применения групп МРТК. Системы интеллектуальной идентификации и кластеризации способны предоставлять необходимую информацию о месторасположении точек возникновения ЧС или ППОО, характере ЧС, наличии пострадавших и многое другое. Такое количество параметров, характеризующих область функционирования группы МРТК, позволяет реализовать интеллектуальные технологии планирования действий как однородной, так и разнородной группы роботов.

Представленная нами система демонстрирует возможность применения нейросетевых подходов и методов машинного обучения агентов, что позволяет сформировать логику внутригруп-

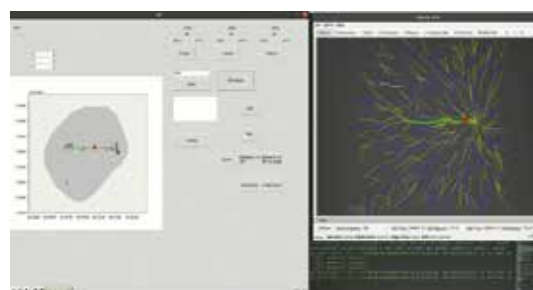
пового взаимодействия между агентами группы МРТК.

Дальнейшая разработка отдельных модулей глубокого обучения агентов в группе на основе данных систем технического зрения, модулей полезной нагрузки и модулей навигации МРТК позволит реализовать масштабируемую, децентрализованную систему группового управления МРТК.

Программно-имитационный комплекс на основе систем ROS, Rviz, Gazebo и библиотек машинного обучения позволяет моделировать сценарии применения МРТК в решении задач обнаружения, патрулирования и мониторинга ППОО, с учетом возможности программно-аппаратной отработки и верификации на имеющихся образцах мини-катеров, автономных необитаемых подводных аппаратах и других типах РТК.

Моделирование проводилось нами с использованием 2D-технологии, однако имеющаяся архитектура и модульный принцип построения системы планирования позволяет реализовать систему в условиях применения в 3D-средах. И это – дальнейшее направление работы авторов.

Экспериментальный образец морского робототехнического комплекса мониторинга ППОО в составе подводного и волнового глайдера, а также имеющиеся наработки планируется апробировать в ходе межведомственного опытно-исследовательского учения сил и средств РСЧС в Арктической зоне Российской Федерации («Безопасная Арктика – 2023»). Предусматривается решение опытно-исследовательской задачи по мониторингу радиационной обстановки в зоне условной аварии на атомном ледоколе в Мурманске.



Проведение натурального эксперимента на макетах мини-катеров с учетом формирования адаптивной области взаимодействия группы МРТК

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ И МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

2023

№ 4 (572)

Г Р А Ж Д А Н С К А Я

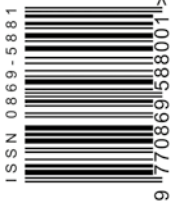
**Защита**



ЦЕНТРАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ МЧС РОССИИ



**ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО  
НА СТРАЖЕ БЕЗОПАСНОСТИ  
ПОДГОТОВКА К СЕЗОННЫМ РИСКАМ  
КАК ВЕСТИ СЕБЯ ВО ВРЕМЯ ЧС**



# ЧИТАЙТЕ В НОМЕРЕ

## 4 РАЗВИТИЕ

**Роль технологий в оценке рисков.**  
Такова была тема Всемирного дня гражданской обороны.

## 6 НОВАЦИИ

**Цифровая трансформация.**  
Это важнейшая сфера деятельности чрезвычайного ведомства.

## 9 НАШИ ИНТЕРВЬЮ

**Чрезвычайные разработки.**  
Как искусственный интеллект помогает в системе МЧС России.

## 12 РЕГИОНЫ

**Уникальный спеццентр.**  
Это – химико-радиометрический центр ГКЧС Республики Башкортостан.

## 15

### ТЕХНОЛОГИИ

**Интеллектуальные системы подводной робототехники МЧС России.**  
**Развитие технологий применения групп РТК для мониторинга подводных ПОО.**

## 19 БЕЗОПАСНОСТЬ

**Инженерия завтрашнего дня.**  
О прогнозировании и профилактике возможных ЧС при запуске ракет-носителей.



## 22 АКТУАЛЬНО

**Цифровизация в надзорной деятельности.**  
Перевод всех процессов надзорной деятельности в дистанционный формат.

## 24 НАУЧНАЯ КАФЕДРА

**Выработка общих подходов.**  
Международные научно-практические конференции в АГЗ и АГПС МЧС России.

## 26 ДОКУМЕНТЫ

**Новые правила.**  
О проведении эвакуационных мероприятий при возникновении ЧС.

## 28 ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧС

**Подготовка к сезонным рискам.**  
Для отработки возможных угроз были организованы учения с органами управления и силами РСЧС.



## 31 ПРИЗНАНИЕ

**Герой шахтерского братства.**  
«Шахтер – это очень уважаемая профессия, но мне хотелось большего».

## 34 ЛИКВИДАЦИЯ ЧС

**В небе Турции.**  
Работа летчиков МЧС России по тушению пожаров в соседней стране после землетрясения.

