

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Худайназаров Ю.К.¹, Соколов А.П.², Ермолаев В.Е.³

DOI:10.21681/3034-4050-2025-3-42-58

Ключевые слова: робототехнические средства, комплексы, групповое применение, управление, методы и способы управления, роевой интеллект, информатизация управления.

Аннотация

Цель работы: состоит в исследовании технологий группового управления робототехническими комплексами (РТК), проблем и путей решения задач управления РТК военного назначения (РТК ВН) в составе робототехнической системы.

Метод исследования: системный подход, исторический подход, метод анализа.

Результаты исследования: приведены результаты анализа основных тенденций развития технологий интеллектуального управления РТК ВН и необходимые условия поиска соответствующих нормативно-правовых и технологических решений для обеспечения доверия к системам с искусственным интеллектом, а также обеспечения безопасности информационного обмена в системах группового управления РТК ВН.

Представлены особенности применения РТК ВН по результатам анализа современных военных конфликтов и недостатки в теории и практике управления РТК ВН, обуславливающие симптомы проблемы. Известные в настоящее время теоретические модели и сценарии применения и группового управления РТК ВН недостаточно адекватны новым формам и способам применения войск. Методом анализа определены основные тенденции развития технологий группового управления РТК ВН. Определены основные недостатки в практике применения РТК ВН и факторы, определяющие актуальность поиска новых методов и способов информационного обеспечения и защиты информационных ресурсов систем группового управления РТК ВН.

Научная новизна: заключается в обобщении известных подходов к решению задач группового управления РТК ВН. Определены необходимые и достаточные условия информатизации управления РТК в составе системы. Сформированы актуальные научные задачи разработки соответствующих нормативно-правовых и организационно-технических предложений по обеспечению защиты информационных ресурсов с учетом условий и специфики задач, решаемых с помощью РТК ВН.

Введение

В странах НАТО направлением развития вооружения, обеспечивающим сдерживание Китая и России считается массовое применение робототехнических средств (РТС) и комплексов (РТК) боевого и обеспечивающего назначения. Предполагается создание и развитие систем с групповым управлением на основе роевого интеллекта. Повышение интеллектуальности системы управления большими группами РТС общего назначения наблюдается в демонстрируемых разработках Китая и США. РТК военного назначения (РТК ВН) дополнительно оснащаются аппаратурой разведки и передачи данных. Размещение средств вооружения на роботизированных платформах существенно изменяет стратегию и полностью

изменяет тактику боевых действий. Объединение роботизированных средств разведки и средств поражения в единый комплекс, распределенный в пространстве, позволяет получить разведывательно-ударный комплекс нового типа, который является роботизированной разведывательно-поражающей системой, в которой синергетический эффект от объединения разнотипных распределенных в пространстве средств разведки, поражения и обеспечения многократно выше по сравнению с традиционными разведывательно-ударными комплексами. В то же время возрастает значимость применяемых в системах управления такими разведывательно-ударными комплексами методов и технологий информационного обеспечения и защиты информационных ресурсов.

¹Худайназаров Юрий Кахрамонович, кандидат технических наук, докторант кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: yu-78@ya.ru

²Соколов Андрей Петрович, соискатель Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: andi.10@bk.ru

³Ермолаев Владимир Евгеньевич, адъюнкт кафедры Безопасности инфокоммуникационных систем специального назначения Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: VErmol@ya.ru

Групповое применение и управление РТК, основные задачи исследований

Известные в настоящее время исследования форм, методов и способов применения робототехнических комплексов (РТК) для решения боевых и обеспечивающих задач в основном предполагают индивидуальное управление по принципу один РТК – один орган управления. Известные открытые работы в области группового применения и группового управления РТК имеют концептуальный характер и не раскрывают технологические особенности. Вместе с тем, отмечается, что в основе разработки новых форм, методов и способов вооруженной борьбы с применением традиционных сил и средств совместно с РТК лежит практический опыт боевых действий и моделирование.

На систематизацию опыта использования групп РТК, выработку единых подходов к формированию сценариев боевого применения групп РТК нацелены работы Пшихопова В.Х. В статье [1] даны новые термины и определения, используемые для разработки сценариев применения групп РТК на поле боя, обобщенная структура сценария на примере модели применения РТК. В частности, определены термины «групповое управление» и «групповое применение». Групповое управление, направленное на реализацию отдельных действий РТК ВН и их групп: перемещение, взаимодействие, целераспределение и т. д. Групповое применение реализует функции более высокого уровня, связанные с боевым применением РТК ВН: планирование выполнения боевых и обеспечивающих задач, контроль выполнения задач и др. В связи с этим, к области исследований военных наук отнесены следующие научные задачи:

- обоснование перечня типовых боевых задач, для решения которых могут применяться РТК и их группы;
- определение этапов применения комплексов с учетом возможностей и действий традиционных сил и средств, а также возможного изменения обстановки;
- разработка форм и способов боевого применения РТК ВН и их групп.

С учетом особенностей группового применения вырабатываются требования к управлению РТК ВН и к системе группового управления.

Жизненный цикл сценария боевого применения РТК ВН включает: разработку сценария; формализацию сценария; моделирование действий группы РТК с помощью имитационной модели; полевую апробацию сценария; отработку сценариев при решении группами РТК ВН боевых и обеспечивающих задач. Автором [2] определены

актуальные научные задачи в области технических наук:

- совершенствование существующих инструментально-моделирующих комплексов в части учета особенностей планирования и реализации действий групп РТК ВН, внедрение моделей системы группового управления ими;
- разработка унифицированного инструментально-моделирующего комплекса группового применения РТК ВН совместно с традиционными силами и средствами.

Развитие технологий группового управления РТК ВН

Одним из направлений исследований в области обеспечения управления РТК при их массовом применении является имитация «роевого интеллекта». Изначально замысел использования аналогии из живой природы был определен Херардо Бени и Ван Цзином в 1989 году. Роевой интеллект (англ. Swarm intelligence) является способностью (свойством) самоорганизующейся системы, состоящей из множества подобных друг другу в достаточной мере подсистем (агентов), способных обмениваться информацией об окружающей среде и синхронизироваться при выполнении задач в интересах общей (коллективной) задачи. Технология роевого управления РТС имитирует процессы информационного обмена в группе насекомых, стае птиц или рыб которые могут периодически или по определенному событию формировать подгруппы с локальными лидерами в каждой из них.

Управление «роем роботов» возможно с различной степенью автономности: непосредственное управление одним человеком-оператором или множеством (коллективом) операторов, если «рой» разделен на подгруппы, а также опосредованное управление через лидера в группе. Построение боевого порядка, маневры внутри роя могут выполняться автоматически с помощью искусственного (роевого) интеллекта [3].

Появление на поле боя множества малогабаритных и недорогих РТК полностью меняет стратегию и тактику противовоздушной обороны, противотанковой и контрбатареиной борьбы. Кроме того, способность обмениваться информацией о расположении и действиях ПВО, осуществлять противозенитное маневрирование, ставить помехи радиолокационным системам, наносить удары по средствам ПВО и прикрываемым ими объектам делает существующие системы ПВО неэффективными [4]. В то же время, для роя роботов задачи не ограничиваются борьбой с системой ПВО: поиск и блокирование пусковых установок баллистических ракет, засадные действия

в районах передвижения техники и войск, а также поражение критически важных объектов инфраструктуры, точечные удары во время погрузки или разгрузки транспортных и боевых кораблей могут быть наиболее эффективными при обеспечении возможности быстрого сосредоточения и рассредоточения малогабаритных ударных РТС.

Расширению возможностей применения «роёв» РТС по нанесению ударов до глобальных масштабов способствует размещению малогабаритных РТС на авианосцах, стратегических самолетах и беспилотных летательных аппаратах. Этому направлению уделяется большое внимание в разработках США. Так, совершенствуется палубный БПЛА X-47B Pegasus (рис. 1). Известны также разработки по проекту Gremlins (рис. 2) агентства перспективных оборонных исследований минобороны США (DARPA) [3]. Идея проекта заключается в размещении на борту самолета системы управления малогабаритными БПЛА, которые могут массово взлетать и садиться на него. При этом габариты таких РТС авиационного базирования со временем будут уменьшаться до микро и нано-размеров. Учеными Гарварда создан прототип летающего микро-робота (рис. 3) с названием «Робомуха» (robo-fly), который стал первым летающим микророботом в мире [4].

Robo-Fly изготовленный из углеродного волокна весом 0,1 грамм. В качестве привода



Рис.1. Многоцелевой боевой палубный беспилотник X-47B Pegasus (Northrop Grumman, США)

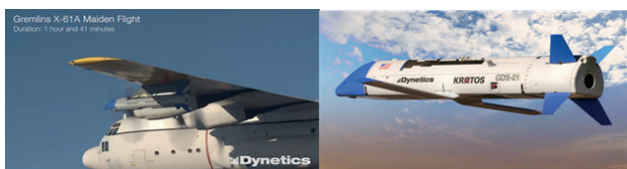


Рис.2. Комплекс Gremlins проект БПЛА X-61A, сброс БПЛА с самолёта-носителя C-130A (разработка компании Dynetics из состава Leidos Company)

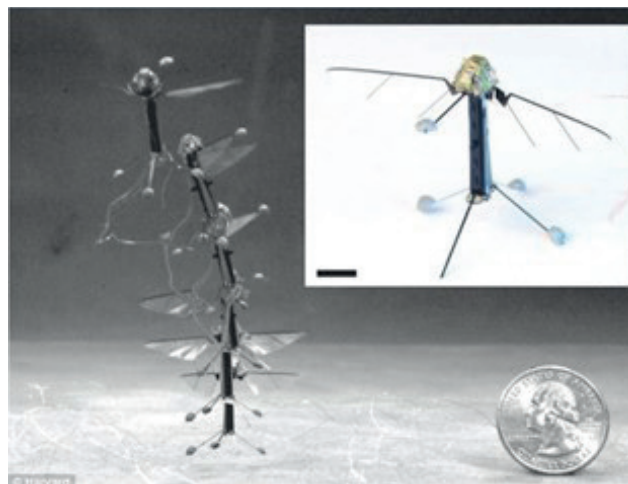


Рис.3. Самый маленький летающий робот в мире «Робомуха» (robo-fly)

крыльев используются пьезоэлементы с частотой генерируемых колебаний 120 Гц. Предполагаемой областью применения этой разработки являются разведывательные действия.

Разработка под названием BionicOpter германской компании Festo представляет собой робострекозу (рис. 4) размером 48 см, с размахом крыльев 70 см и весом 175 г. РТС имеет высокую маневренность: может висеть в воздухе и двигаться боком. В настоящее время разработана система управления роем таких РТС. Предшествующей разработкой компании является роботница SmartBird [5]. Известно, что управление обеспечивается с помощью технологии ZigBee⁴.

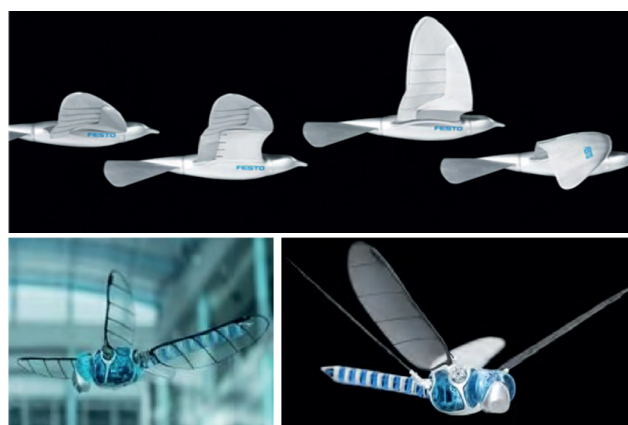


Рис. 4. Роботница (махолёт) или SmartBird и Робострекоза или BionicOpter, разработанные немецкой компанией Festo

⁴<https://www.engadget.com/2011-03-25-festos-smartbird-robot-takes-off-with-elegance-doesnt-fight-s.html> (дата обращения 10.03.2025 г.)

Учёными из Гарвардского и Северовосточного университетов США разработан прото-

тип робопчелы RoboBee (рис. 5), которые могут управляться роевым интеллектом⁵.

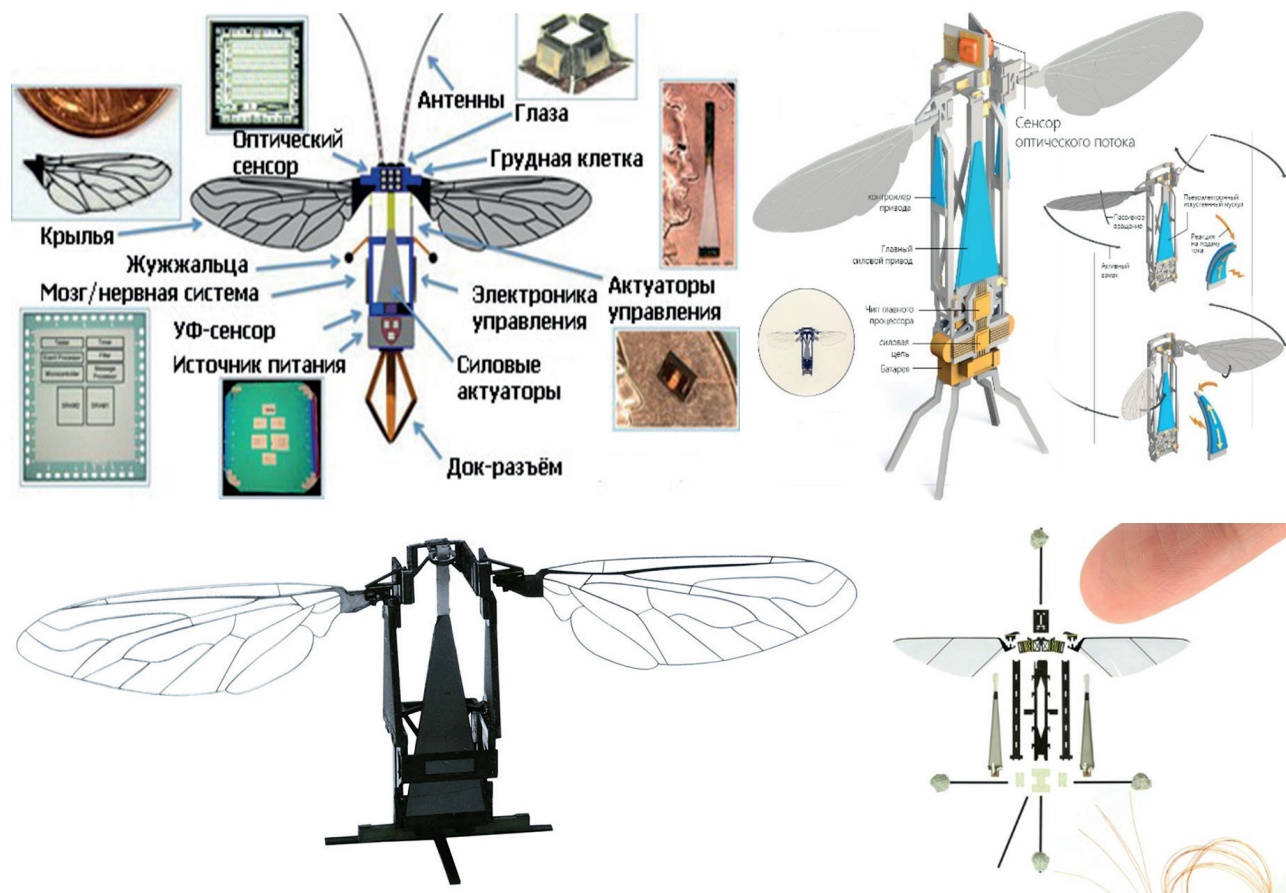


Рис. 5. Робопчела или RoboBee (Гарвардский университета, США)

Для обеспечения управления множеством РТС на основе «роевого интеллекта» необходимо создание специальной системы обмена информацией. В 2012 году в лаборатории прикладной физики Университета Джонса Хопкинса была разработана мобильная одноранговая сеть для обеспечения информационного обмена между РТС в движении. Компания «Боинг» впервые продемонстрировала работу системы расширенного управления беспилотными летательными аппаратами, выполненную по технологии swarm, при этом двумя БПЛА Scan Eagle компании Boeing и БПЛА компании Procerus Unicorn был выполнен совместный полёт и обмен данными, необходимыми для выполнения общей задачи. Управление БПЛА осуществлялось одним оператором путем передачи команд без применения штатных наземных станций управления этими БПЛА.

Технология управления роем морских роботов разработана в интересах ВМС США. В 2014 году была испытана система роевого

управления CARACaS, которую разработали в НАСА. Для обеспечения управления «роем катеров» используется оптико-электронная и радиолокационная системы разведки, система опознавания государственной принадлежности, система идентификации судна, система распознавания противника и анализа ситуации (Contact Detection and Analysis System или сокращенно CDAS), а также система управления движением катеров. Система управления может быть установлена на практически любое надводное судно. Оснащение таких катеров современным оружием позволяет применять их для выполнения сложных задач: блокирование проливов, постановка минных заграждений, борьба на морских и океанских коммуникациях. Аналогичные технологии разработаны для необитаемых подводных аппаратов (НПА), что создает большую угрозу для морской составляющей сил стратегического сдерживания [6].

⁵<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1231806> (дата обращения 10.03.2025 г.).

Повышение эффективности управления роем РТС осуществляется за счёт интеллектуализации самих РТС, а также наращивания их коллективного интеллекта, к тому же еще добавляется возможность подключения к информационным каналам роя любых потребителей, находящихся на поле боя.

Управление военно-морских исследований минобороны США ведет проект Low Cost UAV Swarm Technology (LOCUST) по созданию РТС наземного, воздушного и морского базирования, которые хранятся и запускаются из контейнера в виде гранатомёта. После запуска БПЛА объединяются в «рой», управляемый одним оператором. Задачами комплекса являются обнаружение воздушных, низколетящих и малозаметных целей в широком диапазоне высот и дальностей с высокой точностью определения скорости их полёта⁶.

Перечисленные выше разработки технологий группового управления рассматриваются в качестве перспективных для космоса. Для решения задач дистанционного зондирования Земли эффективным является создание группировок малоразмерных космических аппаратов (МКА), оснащенных аппаратурой различных диапазонов чувствительности: видимого, инфракрасного, радиационного спектра электромагнитных излучений. НАСА совершенствует технологию коллективного управления МКА, в которой каждый участник может посылать сигналы тревоги и оповещать другие спутники о создании новой группы. Работа такого рода новых систем, где сложный объект состоит из коллектива автономно функционирующих, но постоянно взаимодействующих частей, требует принципиально новых подходов, методов и средств построения систем управления.

Американская компания StratoEnergetics представляет концепцию массового мини-оружия⁷. Оружием является автономный мини-дрон с широкоугольными камерами, тактическими датчиками, распознаванием лиц, процессорами, которые могут реагировать в 100 раз быстрее человека, а его стохастическое движение – это функция против снайперов (рис. 6).

Таким образом, основными современными тенденциями развития групповой робототехники являются миниатюризация РТК, объединение их в роботизированные системы и интеллектуализация управления.



Рис. 6. Прототип мини дрона Stringer и его применение (StratoEnergetics, США)

Правовые аспекты военного применения технологий искусственного интеллекта

В современных условиях развития технологий искусственного интеллекта (ИИ) особую актуальность приобретает вопрос правового регулирования данной сферы. Национальная стратегия развития ИИ в Российской Федерации до 2030 года определяет ключевые направления формирования правовой базы, включая обеспечение благоприятных условий для доступа к данным, создание особых режимов для научных исследований, упрощенное тестирование технологических решений и устранение административных барьеров при экспорте продукции. Важным аспектом является разработка этических правил взаимодействия человека с ИИ. В рамках экспериментальных правовых режимов особое внимание уделяется финансовому стимулированию разработок ИИ, включая предоставление субсидий из федерального бюджета на поддержку пилотных проектов в приоритетных отраслях. При этом, как отмечают эксперты [7], безопасность, надежность и устойчивость применения современных технологий, особенно ИИ, ставится во главу угла регулирования данной сферы, в том числе в аспектах сбора и обработки информации.

Также отечественными экспертами обращается особое внимание на существующие правовые и организационные барьеры, а также проблемы внедрения технологий ИИ в различных сферах, включая такие ключевые элементы как большие генеративные модели, фундаментальные модели и перспективные методы ИИ [8].

Актуальной задачей является систематизация современных правовых проблем регулирования ИИ и разработка предложений и рекомендаций по совершенствованию правовой базы. При этом важно учитывать международные аспекты регулирования ИИ и проведение сравнительного анализа с подходами других стран.

⁶<https://modirumgespi.com/locust-swarm> (дата обращения 10.03.2025 г.).

⁷Официальный сайт компании StratoEnergetics <https://stratoenergetics.com> (дата обращения 12.02.2025 г.).

В докладе Международного комитета Красного Креста (МККК)⁸ под автономными системами понимаются системы, которые самостоятельно выбирают цели и применяют силу без участия человека, причем, оператор такой системы не выбирает конкретную цель и не знает точного времени и места применения силы. Основные проблемы и риски применения автономных систем обусловлены утратой человеческого контроля над применением силы; сложностью в прогнозировании и ограничении последствий; повышенными рисками причинения ущерба как комбатантам, так и гражданским лицам; трудностями в соблюдении международного гуманитарного права; этическими вопросами, связанными с передачей решений о жизни и смерти машинам.

Основные рекомендации МККК государствам следующие:

- установить согласованные на международном уровне ограничения;
- запретить непредсказуемые автономные системы вооружений из-за их неизбирательного действия;
- запретить использование автономных систем для нанесения ударов по людям;
- регулировать конструктивные особенности и порядок применения не запрещенных систем;

При этом необходимыми ограничениями военного применения технологий ИИ являются:

- ограничения по видам целей (только военные объекты);
- ограничения по продолжительности, географическому охвату и масштабам применения;
- ограничения по ситуациям применения (отсутствие гражданских лиц);
- требования взаимодействия между человеком и машиной для обеспечения контроля.

МККК рассматривает искусственный интеллект как компьютерные системы, способные решать задачи, требующие когнитивных функций, планирования и логического мышления, при этом машинное обучение определяется как его подвид, основанный на обработке данных. Особое внимание уделяется применению ИИ в военных технологиях и гуманитарной деятельности, где выделяются ключевые риски. Развитие военных технологий ИИ вызывает серьезную обеспокоенность, а последствия их применения для жертв конфликтов остаются недостаточно изученными.

МККК подчеркивает необходимость сохранения человеческого контроля над критическими решениями и тщательного изучения гуманитарных последствий использования ИИ. Приоритетными направлениями становятся исследование влияния ИИ на ведение военных действий, оценка рисков для гражданского населения и разработка рекомендаций по соблюдению международного гуманитарного права при использовании технологий ИИ. Этический аспект проблемы затрагивает вопросы ответственности за действия автономных систем и недопустимость передачи алгоритмам решений о жизни и смерти. В качестве практических выводов МККК указывает на необходимость международного диалога по регулированию ИИ в военных целях и учета гуманитарных аспектов при разработке и применении данных технологий⁹.

В условиях стремительного развития военных технологий и внедрения искусственного интеллекта в системы вооружения, международное сообщество пытается сохранять фундаментальный принцип: человек несет полную ответственность за применение любого оружия, независимо от его технического оснащения.

Анализ показывает, что основными тенденциями развития правового регулирования военного применения систем с ИИ являются:

- усиление требований к человеческому контролю над системами с ИИ;
- расширение круга ответственных лиц (от разработчиков до операторов систем с ИИ);
- ужесточение требований к оценке последствий применения технологий ИИ;
- развитие механизмов контроля и надзора за безопасностью технологий ИИ.

Таким образом, несмотря на автоматизацию военных систем, человек остается ключевым звеном в цепочке ответственности.

Обращает на себя внимание последовательное развитие нормативно-технической базы Российской Федерации в области систем с ИИ. Ряд государственных стандартов целенаправленно определяет вектор развития технологий с ИИ. В частности, определены понятия «доверие к системе искусственного интеллекта», «доверенная система искусственного интеллекта», «предсказуемость системы искусственного интеллекта»¹⁰. Важным свойством для систем с ИИ в аспекте

⁸Доклад Международного комитета Красного Креста «Ответственность за действия автономных систем». М., 2020. 98 с.

⁹Доклад Международного комитета Красного Креста «Искусственный интеллект и международное гуманитарное право». М., 2021. 123 с.

¹⁰ГОСТ Р 59276-2020 «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения».

безопасности становится доверие к функциям идентификации и аутентификации. В связи с этим, в отечественной нормативно-технической базе определены термины «уровень доверия» и требования к реализации функций идентификации и аутентификации для установления однозначного соответствия между вычислительным процессом, физическим лицом и ресурсом в автоматизированной (информационной) системе¹¹.

Интеллектуализация управления при групповом применении РТС

Организация и обеспечение группового взаимодействия является очень важной задачей в современной робототехнике. В настоящее время практически нет общего подхода к проблеме группового управления РТС. Множество исследовательских групп создают свои решения задачи управления группой в своей области, которые, зачастую, не применимы для решения других задач подобного типа.

В настоящее время требуются исследования и разработка методов и алгоритмов автономного управления РТС при их групповом применении в условиях динамической обстановки. Новые методы управления позволяют расширить область применения РТС в составе группы численностью в тысячи и десятки тысяч единиц, однако это требует повышения степени автономности отдельных РТС и интеллектуализации группового управления.

Группой РТС в детерминированных условиях среды может выполняться задача путем задания индивидуальных сценариев (планирования) и контроля выполнения их без применения систем ИИ. При недетерминированных условиях среды сценарий должен корректироваться или формироваться системой управления группой РТС в процессе достижения цели, т. е. требуется оперативное управление (саморегулирование). При этом действия РТС в группе необходимо координировать и синхронизировать в режиме реального времени, что возможно только при достаточной автономности РТС и достаточной самоорганизации системы группового управления. В связи с этим, возникает задача повышения степени интеллектуальности управления группой РТС. Эта задача заключается в формировании системой группового управления оптимальной последовательности действий (сценария) для

всех РТС группы и обеспечении необходимыми информационными ресурсами для достижения поставленной групповой цели. Организация и обеспечение группового управления РТС с учетом возможной кластеризации совокупности РТС и распределения целей для каждого кластера являются приоритетными задачами в исследованиях как зарубежных, так и отечественных ученых. Интерес к решению данной задачи обусловлен перспективностью применения больших групп РТС в различных областях и одновременно сложностью решаемых задач:

1. Распределение целей и заданий между РТС, с учётом характера целей, функциональных возможностей каждого РТС и среды их функционирования;
2. Организация взаимодействия РТС на коммуникационном уровне и координация действий при достижении групповых целей;
3. Реализация децентрализованного управления на основе распределенной системы сбора и обработки данных с искусственным интеллектом.

Основными методами решения задач группового управления являются централизованное групповое управление РТС и децентрализованное групповое управление.

Централизованное управление группой РТС может реализовываться двумя способами: единоначальное, исходящее от лица единого РТС-командира (ведущего всей группы), управляемого оператором группы РТС через мобильный терминал и иерархическое.

Единоначальное управление характеризуется наличием в группе РТС-командира или центрального устройства управления РТС, на которые возлагаются задачи планирования и оперативного управления всей группой. Преимуществом единоначального управления является простота её организации и алгоритмизации. К недостаткам следует отнести длительное время принятия решения из-за выполнения задачи оптимизации всех членов группы РТС для достижения групповой цели, а также низкую живучесть системы управления [9].

Иерархическое управление предполагает наличие центрального пункта управления и РТС-лидеров, которые управляют небольшим количеством РТС в группе (кластером). При этом по сравнению с единоначальным управлением сложность задачи существенно ниже, чем решаемой отдельным РТС-лидером или центральным пунктом управления, в то же время, усложнение

¹¹ГОСТ Р 70262.1-2022 «Защита информации. Идентификация и аутентификация. Уровни доверия идентификации»

структуры управления обуславливает необходимость согласования иерархических решений.

Децентрализованное управление РТС также может осуществляться двумя способами: коллективное или стайное (роевое).

Коллективное управление предполагает равнозначность агентов группы, каждый агент вырабатывает свое решение по своему поведению, которое обеспечивает наибольший возможный вклад в решение групповой задачи. При этом агенты обмениваются информацией о своих решениях и действиях друг с другом. Так как каждый агент решает оптимизационную задачу только для себя, задача существенно упрощается и может осуществляться практически в режиме реального времени. Вместе с тем, требуется достаточно высокая степень интеллектуализации агентов, чтобы вырабатывать решение, согласованное с групповой задачей и выбирать оптимальные действия в составе группы РТС. Повышение интеллектуальности требует дополнительных вычислительных и энергетических ресурсов для агентов.

Стайное управление отличается от коллективного тем, что обмен информации между агентами отсутствует и каждый объект свои действия выполняет на основании своей сенсорной информации.

При роевом управлении агенты роя самостоятельно вырабатывают решение о своем поведении на основе сенсорных данных об окружающей среде и данных, полученных от соседних РТС, которые оформляются в виде локальных правил (local rules). Информационный обмен между агентами может осуществляться периодически для дополнения общей карты окружающей среды. Особенности роевой технологии управления являются:

- высокая степень автономности агентов (РТС);
- масштабируемость системы управления;
- преимущественно однородный состав групп агентов (РТС).
- Возможны два варианта реализации технологии роевого управления:
- самоорганизация;
- мультиагентное управление (может быть дистанционным внешним, внутрироевым с назначенным лидером и внутрироевым на основе выбора лидера).

Также возможен комбинированный вариант (смешанная технология управления).

Критерии эффективности группового управления РТК ВН и методы их оценки

Оценка эффективности управления группой РТК ВН включает в себя две составляющие:

- оценка качества планирования группового применения РТК ВН;
- оценка качества оперативного управления группой РТК ВН.

При разработке оптимального метода группового управления РТК применяют два вида критерия эффективности:

Критерий эффективности первого рода — степень достижения цели системы;

Критерий эффективности второго рода — оценка эффективности некоторого заданного пути (варианта) достижения цели [10].

Выбор критерия определяет построение логики работы группы (роя) РТК.

Для оценки качества оперативного управления необходимо классифицировать состояние системы в соответствии со степенью достижения поставленных целей и степенью выполнения принятых решений, например, «норма» и «конфликт». При этом контроль решений может осуществляться по одному или нескольким параметрам состояния. Для больших иерархических систем применяется метод согласования иерархических решений.

Известны три основных метода многопараметрического контроля качества оперативного управления:

1. При однородном множестве параметров $\{K_n\}$ используется скаляр K :

$$K = \sum_{n=1}^N \alpha_n K_n,$$

где α_n — коэффициент важности параметра состояния. В этом случае контроль будет осуществляться по обобщенному параметру K .

2. В отличие от задачи скаляризации $\{K_n\}$ формируется скалярный показатель качества управления по компонентам, являющимся производными от величин $\{K_n\}$ и неоднозначно связанными с ними. Для каждого из параметров состояния определяется функция качества оперативного управления и далее скаляризуется вектор:

$$\{L_n\} = \sum_{n=1}^N \beta_n \cdot L_n,$$

где β_n — коэффициент важности параметра состояния.

3. По каждому из параметров состояния определяются значения сигналов $\{S_n\}$. Допускается,

что состояние опасности наступает, если хотя бы по одному из контролируемых параметров фиксируется «конфликт». Метод сводится к последовательному решению однопараметрических задач контроля.

При высокой степени автоматизации оценок частных показателей появляется возможность при возникновении сигнала «конфликт» автоматически определять те из параметров, по которым не достигаются поставленные цели. Тогда возможно за минимальное время установление причин отклонения управляемого процесса от плана, определение путей ухода от конфликта или корректировки принятого решения и плана использования ресурсов системы.

Проблемы группового управления РТС СН и подходы к их решению

В работе [11] рассматриваются системы управления (СУ) РТК на примере БПЛА двух вариантов: для больших БПЛА, принципы построения которых соответствуют пилотируемым и малые БПЛА, имеющие иерархическую трехуровневую компоновку: уровень отдельных устройств (нижний); уровень управления полетом с помощью бортовых контроллеров, модулей ввода-вывода сигналов и коммутационного оборудования (средний); уровень диспетчеризации и администрирования БПЛА, обеспечивающий взаимодействие оператора через программный интерфейс с контроллерами среднего уровня (верхний).

Особенности группового управления РТК связаны с взаимодействием РТК между собой, а также обеспечением доступа РТК к групповым информационным ресурсам.

В работе [12] рассматривается программно-коммуникационная инфраструктура взаимодействия мобильных роботов, определены требования для реализации концепции облачной робототехники, ограничивающие применение существующих технологий межмашинного обмена. Авторами разработаны концепция и вариант архитектуры программно-коммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей парные взаимодействия роботов и доступ к облачным сервисам и ресурсам. Теоретической базой исследования является теория многоагентных систем, теория коллективного поведения агентов, теория взаимодействия распределенных сущностей в беспроводных сетях с динамической топологией.

Зарубежные исследования методов и способов управления группами РТК ведутся более

десяти лет и нацелены на разработку программной инфраструктуры для управления быстрым развертыванием беспроводной коммуникационной среды, предназначенной для обеспечения связи наземных сенсоров и беспилотных летательных аппаратов в районах, где разрушена или отсутствует коммуникационная среда.

В этой связи развивается научное направление облачной робототехники, основное достоинство которой заключается в предоставлении роботам доступа к облачным сервисам и ресурсам, что позволяет получить следующие преимущества:

1. Перенос трудоемких вычислений на виртуальные машины, упрощение программного обеспечения и энергопотребления робота;
2. Доступ к большому объему данных;
3. Доступ к широкому перечню процедур, расширяющих способности робота и варианты его поведения;
4. Коллективное обучение роботов;
5. Дистанционное обновление процедурных знаний робота.

Предложенная концептуальная структура системы группового управления роботами включает в себя пять уровней:

1. Уровень поддержки командной работы;
2. Уровень сервисной инфраструктуры;
3. Уровень транспортной инфраструктуры;
4. Уровень исполнения внутренних агентов;
5. Уровень физического управления роботом.

В качестве перспективной технологии для решения задач облачной робототехники рассматриваются протоколы *Akka Cluster*, *Akka Distributed Data*.

Ограничения области применения рассмотренной концепции заключаются в необходимости дополнительного учета информационной неопределенности информационного, телекоммуникационного и физического окружения РТК ВН, а конфликтность среды функционирования, требует учета целенаправленных внешних деструктивных воздействий, в том числе через роботов диверсантов, саботирующих выполнение задач в ходе выполнения коллективной задачи.

Особенности РТК ВН при их групповом применении учитываются в подходах и моделях, разрабатываемых в исследованиях В. И. Городецкого, О. Л. Бухвалова, Н. А. Рудианова, А. А. Тачкова, А. А. Максимова, И. Б. Шеремета. Так в работе [13] представлена модель иерархической системы управления группой наземных робототехнических средств с комбинированной

структурой системы управления. В модели учитываются ограничения по быстродействию, количеству управляемых объектов и функциональной гибкости, а также территориальная распределенность РТК. Задачи для отдельных РТК автоматически синтезируются с помощью специального транслятора, преобразующего решение оператора в сеть Петри.

Разработке моделей системы управления РТК в условиях неопределенности посвящены работы Зайцева А. В., Канушкина С. В., Емельянова С. В. Так в работе [14] под неопределенностью понимается ситуация полного или частичного отсутствия информации о вероятности будущих событий. Автором определены следующие виды неопределенности при управлении мобильными РТК: *параметрическая, функциональная, структурная, сигнальная*. Основными факторами, влияющими на появление разброса параметров в системе (параметрической неопределенности), являются неточность проектирования, технологические, эксплуатационные. Функциональная неопределенность математической модели объекта характеризует неизвестные функциональные зависимости координат состояния, регулируемых переменных или сигналов управления.

Применение РТК ВН в составе разнородной группы является приоритетным направлением развития практики и теории управления, а специфика данного направления требует учета неопределенностей, обусловленных не только динамичностью, но и конфликтностью условий функционирования. В связи с этим, актуальной задачей является управление движением в разнородной группе мобильных РТК с обеспечением скрытого и имитозащищенного взаимодействия между ними, а также с оператором. В данном направлении известны научные работы Будко П. А., Жукова Г. А., Диане С. А. К., Исакова А. Ю., Исаковой А. О. Так в работе [15] представлена модель защищенного межмашинного обмена при их коммуникации вне зоны контролируемой территории. В качестве целевой функции защищенности задается минимизация количества ретрансляций радиосигналов между роботами. Разработанные авторами программные средства для планирования траектории движения разнородной группы РТК позволяют получать оптимальные решения для обеспечения скрытности взаимодействия РТК в группе.

Предложенная в работе [16] модель системы управления мобильными РТК различного

назначения отражает структуру типовой СУ РТК, а также зависимость показателей эффективности ее функционирования от параметров, характеризующих облик системы.

Одной из актуальных задач исследования СУ РТК является разработка алгоритмов координации их взаимодействия в группе для достижения максимального значения целевого показателя. Указанная задача исследуется в работе [17]. Авторами предложена методика обоснования структуры распределенной системы управления группой ударных БПЛА и алгоритма координации их взаимодействия при работе в автономном режиме. Для действий группы РТК за пределами контролируемой зоны каналы управления и передачи данных могут быть легко обнаружены, подавлены и перехвачены средствами радиотехнической разведки и радиоэлектронной борьбы. Применение децентрализованной структуры СУ РТК позволяет обеспечить скрытность и устойчивость управления группой РТК. В работе рассматривается сценарий преодоления группой РТК зоны препятствий и ее самоорганизация для выполнения групповой задачи за пределами контролируемой зоны.

В статье [18] предложена методика оценки качества группового взаимодействия РТК в условиях изменяющейся обстановки на основе вероятностно-временных характеристик. Оптимальность управления группами РТК для противодействия противнику определяется степенью обоснованности принимаемых решений на их боевое применение.

В работе [19] представлена обобщенная модель роя РТК как системы искусственного интеллекта. Модель отражает основные характеристики группового движения и информационного взаимодействия РТК в группе, которые определяют необходимые условия формирования управления группой РТК при их роевом применении. В качестве основы для реализации роевой структуры РТК рассматривается технология мультиагентных систем. Характерной особенностью мультиагентных систем является их способность к коллективному поведению с целью решения общей задачи.

Проблеме организации, поддержки топологии и связности в роях БПЛА при отсутствии сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS) и внешней инфраструктуры посвящены работы А. А. Гайдамака и К. Е. Самуйлова. В работе [20] предложен

алгоритм самоорганизации роя БПЛА с использованием виртуальных координат для замены географических координат при отсутствии внешнего позиционирования, а также для обеспечения следующих возможностей: связь «каждый с каждым»; выбор кратчайшего пути в логической сети, близкого к физической топологии; поддержка выхода/присоединения узлов сети и их мобильности. Авторы решают оптимизационную задачу по минимизации накладных расходов на распространение информации по всей сети при определении своих виртуальных координат в составе группы БПЛА.

Для обеспечения управления плотными роями БПЛА может потребоваться использование более качественных устройств технологий беспроводной связи ближнего радиуса действия (адаптеры *Bluetooth*, *ZigBee*, *NFC*, *Z-Wave* и др.). Так, автор статьи [21] по результатам исследований бытовых *Bluetooth*-адаптеров определили, что большинство из них не позволяют корректно получать данные об уровне сигнала от другого устройства, поэтому для этой цели, в особенности для динамических групп БПЛА, необходимы специализированные радиомодули.

Обмен данными в СУ РТК может включать как передачу единичных команд и результатов их выполнения, так и серийную передачу команд. Серийная передача команд позволяет повысить скорость выполнения операций и возможности РТК. Области применения современных РТК расширяются, многие из них требуют «услуги телеприсутствия», т. е. режим управления «от первого лица» (*First Person View (FPV)*). При этом использование серийной передачи команд становится проблематичным, так как снижается эффективность использования сетевых ресурсов из-за ненулевой вероятности ошибки при выполнении серий команд и необходимости их повторения. В работе [22] решается задача оптимизации количества команд в серии, при котором эффективность использования сетевых ресурсов максимальна. Получаемый выигрыш по эффективности равноценен выигрышу по времени доставки команд. Уменьшение времени доставки данных происходит за счет уменьшения доли непроизводительной нагрузки на сеть связи.

Особенности современного этапа развития систем управления РТК ВН

Исследованию современных проблем управления РТК в условиях информационно-технических воздействий противника посвящены много-

численные работы С. И. Макаренко. Он отмечает, что эффективные технологические решения для автоматизированных систем управления БПЛА, направленные на обход зон функционального поражения и радиоэлектронного подавления, в настоящее время отсутствуют, в то время как именно пространственная маневренность и скрытность БПЛА, должна быть положена в основу их гибкого боевого применения, а живучесть БПЛА должна достигаться в числе прочего и маршрутным маневром с целью обхода зон заведомого тактического преимущества противника. Разработана методика [23] повышения устойчивости управления БПЛА на основе выбора маршрута полета с учетом фактора потенциальной потери БПЛА при применении противником средств функционального поражения и радиоэлектронного подавления. Смещение акцентов в типе используемого оружия в ходе специальной военной операции на БПЛА требует соответствующей модификации организационно-штатных структур воинских формирований. Это подтверждается результатами анализа причин возникновения позиционного тупика при ведении современных боевых действий в специальной военной операции [24]. Для преодоления сложившейся ситуации, автором разработан способ, который основан на скрытом накоплении беспилотных летательных аппаратов, их массированном ударе при прорыве оборонительных рубежей с последующим вводом в прорыв штурмовых групп, состоящих из живой силы и бронетехники. Предложен авторский замысел по техническому облику системы автоматизированного управления и организации связи для управления большим числом беспилотных летательных аппаратов. Автором показаны следующие недостатки систем управления РТС:

- управление осуществляется по индивидуальному принципу ручным способом (т.е. дистанционное управление механизмом);
- возможности автономных действий БПЛА ограничены программируемым методом по заданному маршруту;
- возможности групповых действий ограничены взаимодействием между операторами отдельных БПЛА;
- возможности групповых действий БПЛА под управлением одного оператора ограничены эстафетным способом (поочередным переключением пульта оператора от одного БПЛА к другому);
- каналы управления и видеоканалы специализированных БПЛА не унифицированы;

- каналы управления и видеоканалы коммерческих БПЛА в основном стандартизованы в соответствии с технологиями беспроводной передачи данных и цифровой подвижной радиосвязи;

Для эффективного массового использования БПЛА в ходе СВО предложена автоматизированная система управления (АСУ) БПЛА. Предложенный состав программно-аппаратных комплексов (ПАК) предназначен для решения следующих задач:

- управления БПЛА;
- освещения обстановки;
- мониторинга радиоэлектронной обстановки и РЭБ;
- организации радиосвязи с БПЛА;
- средства информационной интеграции со средствами связи и управления других воинских формирований.

Для обеспечения защиты информационного обмена в системе управления БПЛА автором определены следующие принципы:

- унификация средств криптографической защиты каналов управления и видеоканалов, исключение избыточности требований к стойкости применяемых средств криптографической защиты информации;
- сеть радиосвязи системы управления БПЛА должна предусматривать встроенные средства идентификации БПЛА «свой – чужой» и обеспечение защиты от «чужих» БПЛА;

- обеспечение имитозащиты от несанкционированных команд управления [24].

Формирование единого защищенного информационного пространства для управления робототехническими системами

Проведенный анализ показал, что для эффективного массового применения РТК ВН, развития и унификации методов и способов управления распределенной в пространстве робототехнической системой в режиме реального времени необходима единая концепция управления робототехнической системой (рис. 7).

В настоящее время для управления распределенной робототехнической системой требуется интеграция информационно-управляющих систем РТК и информационно-телекоммуникационной системы военного назначения. Проблемная ситуация заключается в необходимости обеспечения информационно-управляющих систем РТК требуемыми информационными ресурсами для выполнения задач с одновременной защитой единого информационного пространства.

Необходимыми условиями информатизации управления РТК при этом являются:

- интероперабельность информационно-управляющих систем РТК и возможность масштабирования;
- реализация автоматической обратной связи для обеспечения регламента выполнения задач РТК;
- защищенность ИУС РТК от информационно-технических воздействий противника.

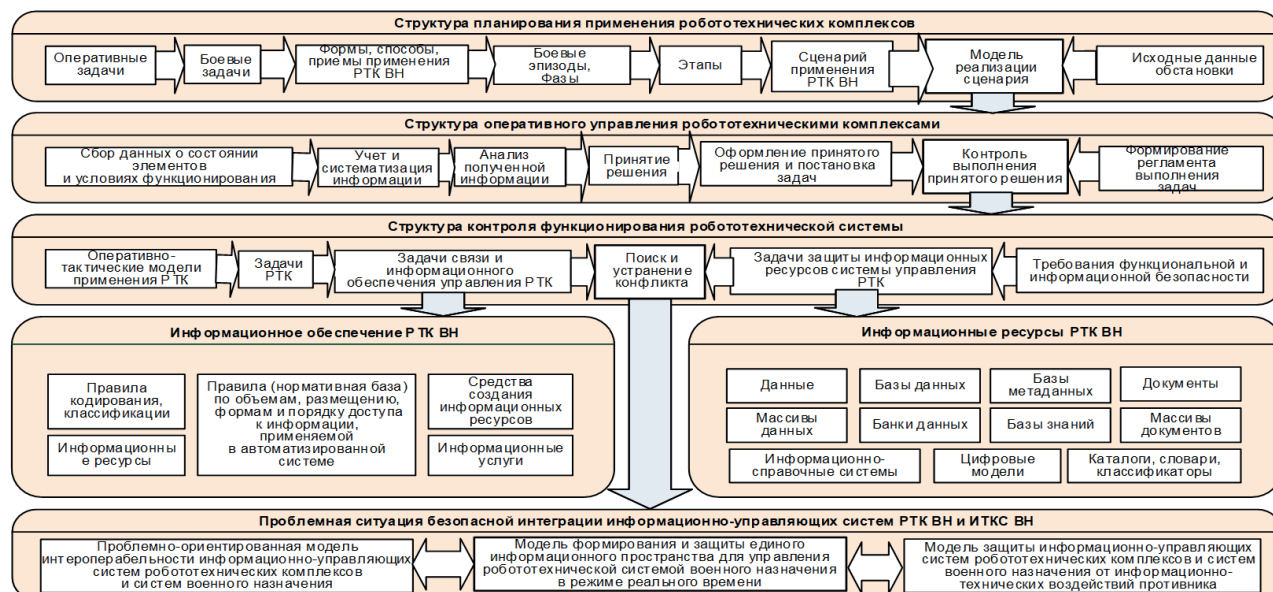


Рис. 7. Обобщенная структурная схема планирования и оперативного управления РТК в составе робототехнической системы

Известна разработка специального программного обеспечения для управления РТК в распределенной сетевой структуре [25]. Авторами предложено решение коммуникационной задачи с целью построения единого информационного пространства для управления распределенной роботизированной системой на основе использования модели асинхронной передачи сообщений между программными модулями через агенты и групповую коммуникацию. В разработанной модели используется метод информационного обмена программных модулей через информационные потоки. Для информационного потока задают следующие параметры: перечень и расположение в сети взаимодействующих программных модулей; ограничения на максимальный поток, размер сообщений и их количество; количество хранимых в памяти агента и продолжительность; приоритеты обработки и трансляции данных информационного потока. Модель реализована в специальном программном обеспечении для операционной системы реального времени. Однако, разработанное решение не может использоваться в системах группового управления РТК, так как предполагает статическую маршрутизацию информационных потоков.

Таким образом, достаточными условиями информатизации управления распределенной робототехнической системой являются: коммутация сообщений с фрагментацией, управление формированием информационных потоков, а также их динамическая маршрутизация.

В связи с этим, интерес представляют разработки графодинамических параллельных асинхронных моделей обработки информации, имеющих следующие особенности [26]:

- представление обрабатываемой информации в виде нелинейных конструкций и структурная перестраиваемость коммуникационной системы между элементами памяти в ходе переработки хранимых в этой памяти информации;
- использование ассоциативного метода доступа к фрагментам обрабатываемой информации;
- параллельная обработка данных;
- асинхронность.

Проблема прикладных разработок систем графодинамической асинхронной обработки информации заключается в отсутствии целостной теории графодинамики, позволяющей формализовать взаимосвязь свойств движущихся объектов в физическом и информационном пространствах.

Исследования в данной предметной области проведены А.А. Амбарцумяном с применением аппарата Сетей Петри [27]. В результате исследований сформирована теоретическая база проектирования супервизорного управления множеством автономных компонент дискретно-событийной системы. Теоретический базис используется для формирования алгоритмов управления материальными потоками в технологической структуре.

Применительно к проектированию систем управления группами РТК разработанный теоретический базис применен и усовершенствован А. В. Козовым [28]. Автором разработана модель мобильного робота, спецификация поведения, а также супервизор и вычислительный граф алгоритма работы системы группового управления. Важным результатом является формализация процедуры динамической реконфигурации системы управления при добавлении нового робота в группу. В дополнении к известному методу синтеза супервизора авторами предложено расширение, позволяющее формализовать управление независимыми действиями роботов при выполнении группового действия и, при этом, не увеличивать вычислительную сложность процедуры синтеза [29].

Вместе с тем, требуется разработка научно-методического обеспечения для выполнения необходимых условий коммуникабельности РТК и достаточных условий информатизации группового управления РТК ВН при выполнении боевых, специальных и обеспечивающих задач в условиях информационно-технических воздействий противника.

Заключение

Групповая робототехника является одной из ключевых областей развития робототехнических средств, комплексов и систем военного назначения. Это связано с тем, что для широкого перечня задач применение группы относительно простых роботов является гораздо более эффективно по сравнению с использованием одного крупного многоцелевого устройства. Современное развитие вычислительной техники и систем связи открывает широкие возможности для построения таких систем в микро и нано-размерном исполнении.

В условиях стремительного развития военных технологий и внедрения искусственного интеллекта в системы вооружения актуальна проблема сохранения фундаментального принципа международного права: человек несет полную ответственность за применение любого оружия,

независимо от его технического оснащения. Решение этой проблемы тесно связано с задачей обеспечения доверия к системам с ИИ.

Для обеспечения информационного обмена в перспективной робототехнической системе с роевым интеллектом требуются специализированные протоколы обмена, позволяющие реализовывать различные сетевые топологии, в том числе ячеистую (mesh) и допускают динамическое изменение количества и состояния узлов, имеют низкое энергопотребление и специализированы для подобных задач в условиях информационно-технических воздействий.

В большинстве рассмотренных научных работ по проблематике управления группами РТК

исследуются задачи организации и планирования использования телекоммуникационных ресурсов, вычислительных ресурсов, информационных ресурсов системы связи и автоматизации управления, а задачи оперативного управления (регулирования в процессе выполнения плана) и защиты информационных ресурсов исследованы фрагментарно.

Представленные концепция управления и обобщенная схема оперативного управления может использоваться в качестве основы для формализации условий обеспеченности информационными и телекоммуникационными ресурсами для управляемости робототехнической системы в режиме реального времени.

Литература

1. Пшихопов В. Х., Гонтарь Д. Н., Мартыанов О. В. Концептуальные подходы к формированию сценариев боевого применения групп робототехнических комплексов // Системы управления, связи и безопасности. № 3. 2022. С. 138–182. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-3-138-182
2. Алгоритмы эволюционной оптимизации. Д. Саймон. ООО «Издательство ДМК Пресс» 2020 г. 940 с.
3. Леонков А. П. Дроны начинают и выигрывают // Арсенал отечества. №1. 2019. С.30–35.
4. Луазан А. Г. Перспективы развития мини-БЛА и способы борьбы с ними. Часть I // Воздушно-космическая сфера. №4.2020. С. 58–65.
5. Луазан А.Г. Перспективы развития мини-БЛА и способы борьбы с ними. Часть II // Воздушно-космическая сфера. № 1. 2021. С. 98–105.
6. Буренок В.М. Технология управления роем как одно из направлений развития вооружения // Вооружение и экономика. № 4(37). 2016 г. С. 7–11.
7. Карцхия А. А., Макаренко Г. И. Правовые горизонты технологий искусственного интеллекта: национальный и международный аспект // Вопросы кибербезопасности. 2024. № 1. С. 2—14. DOI: 10/21681/2311-3456-2024-1-2-14.
8. Карцхия А. А., Макаренко Г. И. Правовые проблемы применения искусственного интеллекта в России // Правовая информатика 2024. № 1. С. 4–19. DOI: 10.21681/1994-1404-2024-1-4-19.
9. Иванов М. С., Афонин И. Е., Макаренко С. И. Повышение устойчивости автоматизированной системы управления комплекса с беспилотными летательными аппаратами в условиях воздействия средств физического поражения и радиоэлектронного подавления // Системы управления, связи и безопасности. № 2. 2022. С.92-134.
10. Иванов Д. Я. Использование принципов роевого интеллекта для управления целенаправленным поведением массово применяемых микророботов в экстремальных условиях // Известия высших учебных заведений. № 9. 2011. С. 70–78.
11. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Монография. – СПб.: Научное издание, 2020. – 204 с.
12. Городецкий В. И., Бухвалов О. Л. Модель и архитектура инфраструктуры системы группового управления роботами // Робототехника и техническая кибернетика №1(14). 2017 г. С. 33–44.
13. Алексеев В. А., Яковлев Д. С., Тачков А. А. Моделирование иерархической системы управления группой наземных робототехнических средств // Инженерный журнал. № 4. 2018. DOI: 10.18698/2308-6033-2018-4-1754.
14. Канушкин С. В. Управление робототехническими комплексами охранного мониторинга в условиях неопределенности // Правовая информатика. № 2. 2019 г. С. 40–48.
15. Диане С. А. К., Исакова А. Ю., Исаковой А. О. Алгоритм сетецентрического управления движением группы мобильных роботов. Моделирование, оптимизация и информационные технологии. № 10(1). 2022. С.24–37.
16. Березкин А. А., Вивчарь Р. М., Киричек Р. В. Модель системы управления мобильными роботизированными комплексами различного назначения // Электросвязь № 08. 2023 г. С.12–18.
17. Халимов Н. Р., Мефедов А. В. Распределенная сетецентрическая система управления группой ударных беспилотных летательных аппаратов // Системы управления, связи и безопасности. № 3. 2019. С. 1–13.
18. Свиридов В. В. Методика оценки качества группового взаимодействия робототехнических комплексов в условиях изменяемой фоноцелевой обстановки / Труды МАИ. № 121. 2021. DOI: 10.34759/trd-2021-121-22.

19. Ступницкий М. М., Мырова Л. О., Королев П. С. Рой БПЛА — новая парадигма применения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Электросвязь № 04. 2023 г. С. 2–10.
20. Гайдомака А. А., Самуйлов К. Е. Организация топологии в роях БПЛА в условиях отсутствия сигнала GNSS // Электросвязь № 9. 2023. С. 17–22.
21. Новокрещенов Л. А. Разработка распределенной системы управления движением группы мобильных роботов: Выпускная квалификационная работа бакалавра. ФГАОУВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет». – Новосибирск. 2018. – 25 с.
22. Горбачева Л. С. Метод оптимального использования сетевых ресурсов для робота-манипулятора // Электросвязь № 05. 2023. С. 21–26.
23. Бирюков П. А., Тимохин А. А., Макаренко С. И. Бригады сухопутных войск, вооруженные беспилотными летательными аппаратами: обоснование создания, предложения по их структуре, способам боевого применения и техническому обеспечению с учетом опыта специальной военной операции на Украине // Системы управления, связи и безопасности. № 2. 2024. С. 43–70. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-043-070.
24. Макаренко С. И. Преодоление позиционного тупика в современных боевых действиях за счет массированного применения беспилотных летательных аппаратов // Воздушно-космические силы. Теория и практика. № 32. 2024. С. 25–42.
25. Петров В. Ф., Симонов С. Б., Терентьев А. И. и др. Сетевая структура обработки информации в распределенных системах управления наземными робототехническими комплексами // Известия вузов. Электроника. № 4(23). Т.13. 2018. С. 389–398.
26. Затуливетер Ю. С., Фищенко Е. А. Проблемы программируемости, безопасности и надежности распределенных вычислений и сетецентрического управления. Ч.1. Анализ проблематики. Пробл., управл., вып. 3. 2016 г. С. 49–57.
27. Амбарцумян А. А. Сетецентрическое управление на сетях Петри в структурированной дискретно-событийной системе // Управление большими системами. «Сетевые модели в управлении». Специальный выпуск 30.1. 2010. С. 506–535.
28. Козов А. В. Динамическая реконфигурация системы управления мобильными роботами при выполнении группового действия // Труды Международной научно-практической конференции «Экстремальная робототехника». г. Санкт-Петербург. 2020. С. 78–83.
29. Козов А. В., Мельникова М. В. Применение методов синтеза супервизора при проектировании дискретно-событийной системы группового управления мобильными роботами // Робототехника и техническая кибернетика. 11(2). 2023. С. 110–117.

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR GROUP CONTROL OF MILITARY ROBOTIC COMPLEXES

Khudainazarov Yu.K.¹, Sokolov A.P.², Ermolaev V.E.³

Keywords: robotic means, complexes, group application, control, methods and methods of control, swarm intelligence, informatization of control.

Abstract

The purpose of the work is to study the technologies of group control of robotic complexes (RC), problems and ways to solve the problems of controlling military robotic complexes (MRC) as part of a robotic system.

Research method: system approach, historical approach, analysis method to determine the trend in the development of MRC management technologies.

Results of the study: the results of the analysis of the main trends in the development of MRC management technologies and the need for a scientific search for appropriate technologies to ensure stable communication for MRC group management systems are presented.

The features of the use of the MRC based on the results of the analysis of modern military conflicts and the shortcomings in the theory and practice of MRC management, which cause the symptoms of the problem, are presented. The currently known theoretical models and scenarios for the use and group control of the MRC are not sufficiently adequate to the new forms and methods of using troops. By the method of analysis, the main trends in the development of group management technologies are determined. The main shortcomings in the practice of using the MRC

¹ Yuri K. Khudainazarov, Ph.D. of Technical Sciences, doctoral student of the Department of Security of Information and Communication Systems for Special Purposes of the Military Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: yu-78@ya.ru

² Andrey P. Sokolov, Associate of the Military Academy of Communications named after S. M. Budyonny. Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: solap@mail.ru

³ Vladimir E. Ermolaev, Associate of the Department of Security of special purpose info-communication systems of the Military Academy of Communications named after S. M. Budyonny. Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny, St. Petersburg, Russia. E-mail: VErmol@ya.ru

and the factors that determine the relevance of the search for new methods and ways of information support and protection of information resources of the MRC group management systems are identified. The necessary and sufficient conditions for the communication skills of the MRC and the informatization of the control of the robotic system have been formed.

Scientific novelty: consists in the generalization of the known approaches to solving the problems of group management of the MRC, the formation of scientific tasks for the study of appropriate communication and information security technologies, taking into account the conditions and specifics of the tasks solved with the help of the MRC, the formation of a general concept for providing information and telecommunication resources to the robotic system.

References

1. Pshihopov V.H., Gontar' D.N., Mart'janov O.V. Konceptual'nye podhody k formirovaniyu scenariy boevogo primeneniya grupp robototekhnicheskikh kompleksov // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. № 3. 2022. S. 138–182. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-3-138-182
2. Algoritmy jevoljucionnoj optimizacii. D. Sajmon. ООО «Izdatel'stvo DMK Press». 2020. 940 s.
3. Leonkov A.P. Drony nachinajut i vyigryvajut // Arsenal otechestva. №1. 2019. S.30-35.
4. Luazan A.G. Perspektivy razvitiya mini-BLA i sposoby bor'by s nimi. Chast' I // Vozdushno-kosmicheskaja sfera. №4.2020. S. 58–65.
5. Luazan A.G. Perspektivy razvitiya mini-BLA i sposoby bor'by s nimi. Chast' II // Vozdushno-kosmicheskaja sfera. №1.2021. S. 98–105.
6. Burenok V.M. Tehnologija upravleniya roem kak odno iz napravlenij razvitiya vooruzhenija // Vooruzhenie i jekonomika. №4(37). 2016 g. S. 7–11.
7. Karchija A.A., Makarenko G.I. Pravovye gorizonty tehnologij iskusstvennogo intellekta: nacional'nyj i mezhdunarodnyj aspekt // Voprosy kiberbezopasnosti. 2024. № 1. S. 2—14. DOI: 10/21681/2311-3456-2024-1-2-14.
8. Karchija A.A., Makarenko G.I. Pravovye problemy primeneniya iskusstvennogo intellekta v Rossii // Pravovaja informatika 2024. № 1. S. 4–19. DOI: 10.21681/1994-1404-2024-1-4-19.
9. Ivanov M.S., Afonin I.E., Makarenko S.I. Povyshenie ustojchivosti avtomatizirovannoj sistemy upravlenija kompleksa s bespilotnymi letatel'nymi apparatami v uslovijah vozdejstvija sredstv fizicheskogo porazhenija i radiojelektronnogo podavlenija // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. №2. 2022. S.92-134.
10. Ivanov D.Ja. Ispolzovanie principov roevogo intellekta dlja upravlenija celenapravlennym povedeniem massovo primenjaemykh mikrorobotov v jekstremal'nyh uslovijah // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. №9. 2011. S. 70–78.
11. Makarenko S.I. Protivodejstvie bespilotnym letatel'nyh apparatam. Monografija. – SPb.: Naukoemkie tehnologii, 2020. – 204 s.
12. Gorodeckij V.I., Buhvalov O.L. Model' i arhitektura infrastruktury sistemy gruppovogo upravlenija robotami // Robototekhnika i tehničeskaja kibernetika №1(14). 2017 g. S. 33–44.
13. Alekseev V.A., Jakovlev D.S., Tachkov A.A. Modelirovanie ierarhicheskoj sistemy upravlenija gruppoj nazemnyh robototekhnicheskikh sredstv // Inženernyj zhurnal. №4. 2018. DOI: 10.18698/2308-6033-2018-4-1754.
14. Kanushkin S.V. Upravlenie robototekhnicheskimi kompleksami ohrannogo monitoringa v uslovijah neopredelennosti // Pravovaja informatika. №2 2019 g. S. 40-48.
15. Diane S.A.K., Ishakova A.Ju., Ishakovo A.O. Algoritm setecentricheskogo upravlenija dvizheniem gruppy mobil'nyh robotov. Modelirovanie, optimizacija i informacionnye tehnologii. №10(1). 2022. S.24-37.
16. Berezkin A.A., Vivchar' R.M., Kirichek R.V. Model' sistemy upravlenija mobil'nymi robotizirovannymi kompleksami razlichnogo naznachenija // Jeletrosvjaz' №08. 2023 g. S.12-18.
17. Halimov N.R., Mefedov A.V. Raspredelennaja setecentricheskaja sistema upravlenija gruppoj udarnykh bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. №3. 2019. S. 1-13.
18. Sviridov V.V. Metodika ocenki kachestva gruppovogo vzaimodejstvija robototekhnicheskikh kompleksov v uslovijah izmenjaemoj fonocelovoj obstanovki / Trudy MAI. №121. 2021. DOI: 10.34759/trd-2021-121-22.
19. Stupnickij M.M., Myrova L.O., Korolev P.S. Roj BPLA — novaja paradigma primeneniya malorazmernykh bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Jeletrosvjaz' №04. 2023 g. S.2-10.
20. Gajdomaka A.A., Samujlov K.E. Organizacija topologii v rojah BPLA v uslovijah otsutstvija signala GNSS // Jeletrosvjaz' №9. 2023. S. 17–22.
21. Novokreshhenov L.A. Razrabotka raspredelennoj sistemy upravlenija dvizheniem gruppy mobil'nyh robotov: Vypusknaja kvalifikacionnaja rabota bakalavra. FGAOUVO «Novosibirskij nacional'nyj issledovatel'skij gosudarstvennyj universitet». – Novosibirsk. 2018. — 25 s.
22. Gorbacheva L.S. Metod optimal'nogo ispol'zovaniya setevykh resursov dlja robota-manipuljatora // Jeletrosvjaz' №05. 2023. S.21-26.
23. Birjukov P.A., Timohin A.A., Makarenko S.I. Brigady suhoputnyh vojsk, vooruzhennye bespilotnymi letatel'nymi apparatami: obosnovanie sozdanija, predlozhenija po ih strukture, sposobam boevogo primeneniya i tehničeskomu obespečeniju s uchetom opyta special'noj voennoj operacii na Ukraine // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. № 2. 2024. S. 43–70. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-2-043-070.

24. Makarenko S.I. Preodolenie pozicionnogo tupika v sovremennyh boevyh dejstvijah za schet massirovannogo primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov // *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teorija i praktika*. № 32. 2024. S. 25–42.
25. Petrov V.F., Simonov S.B., Terent'ev A.I. i dr. Setevaja struktura obrabotki informacii v raspredelennyh sistemah upravlenija nazemnymi robototekhnicheskimi kompleksami // *Izvestija vuzov. Jelektronika*. №4 (23). T.13. 2018. S. 389–398.
26. Zatuliveter Ju.S., Fishhenko E.A. Problemy programmiruemosti, bezopasnosti i nadezhnosti raspredelennyh vychislenij i setecentricheskogo upravlenija. Ch.1. Analiz problematiki. Probl., upravlj., vyp.3. 2016 g. S. 49–57.
27. Ambarcumjan A.A. Setecentricheskoe upravlenie na setjah Petri v strukturirovannoj diskretno-sobytijnoj sisteme // *Upravlenie bol'shimi sistemami. «Setevye modeli v upravlenii»*. Special'nyj vypusk 30.1. 2010. S. 506–535.
28. Kozov A.V. Dinamicheskaja rekonfiguracija sistemy upravlenija mobil'nymi robotami pri vypolnenii gruppovogo dejstvija // *Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Jekstremal'naja robototekhnika»*. g. Sankt-Peterburg. 2020. S. 78-83.
29. Kozov A.V., Mel'nikova M.V. Primenenie metodov sinteza supervizora pri proektirovanii diskretno-sobytijnoj sistemy gruppovogo upravlenija mobil'nymi robotami // *Robototekhnika i tehničeskaja kibernetika*. 11(2). 2023. S. 110-117.

