СТАЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ КАК МНОГОАГЕНТНАЯ СИСТЕМА

Абросимов В.К.

Главный научно-исследовательский испытательный межвидовой центр перспективного вооружения, Москва, Россия

avk787@yandex.ru

Аннотация. Дано определение стаи беспилотных летательных аппаратов. Предложено рассматривать беспилотный летательный аппарат как интеллектуального агента, а стаю как многогентную систему. Такое представление позволяет моделировать виртуальные переговоры беспилотников-агентов по эффективному решению традиционных задач группового управления – накоплению ситуационной осведомленности, целераспределению, выбора Лидера, реконфигурации группы и др.

Ключевые слова: агент, многоагентная система, групповое управление, беспилотный летательный аппарат, искусственный интеллект, свойства.

Введение

Буквально за несколько лет беспилотная авиация приобрела определяющее значение в боевых действиях в современных войнах. Опыт специальной военной операции также высветил перспективность боевого применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в составе групп. Групповое управление подразумевает решение ряда обязательных задач: агрегация группы, целераспределение, формирование ресурса общей ситуационной осведомленности, выработка и реализация коллективной стратегии управления, обеспечение адаптивности группы к противодействующей среде, реконфигурация структуры и состава группы при необходимости и др.

В настоящее время многозначность перевода английского термина «swarm» привела в существенной путанице понятий. Многие компании стали декларировать о разработке методов так называемого «роевого» управления, подразумевая при этом способы управления группой в составе нескольких объектов управления. Между тем, количество элементов группы имеет существенное значение как для реализации собственно управления группой, так и для эффективности решения коллективных задач. Так, методы обеспечения ситуационной осведомленности, взаимодействия по информации и управлению для группы в составе десяти, тридцати или ста и более беспилотников могут быть принципиально различны.

1. Стая беспилотных летательных аппаратов. Определение и назначение

Наименее изученной представляется формат группы как стаи. При определении стаи как сущности и стайного управления как научного метода группового управления целесообразно исходить из природных аналогов. Группы, стаи и рои живых существ в природе отличаются количеством элементов (ср. львиный прайд и пчелиный рой) размерами элементов (ср. стая лебедей и муравьиная цепочка), пространством, в котором группа движется и решает задачи (ср. стая волков и группа обезьян), стратегиями управления (ср. вожаки в стаях и вороны в группе). С точки зрения решения групповых задач в условиях противодействия при выработке стратегий поведения определяющим является количество объектов в группе, расстояние между объектами (связь, обеспечение безопасности движения с точки зрения несоударения, обеспечение непоражения многих элементов одним боеприпасом и др.), а также стратегия управления (централизованная, децентрализованная, с Лидером и др.). Исходя из изложенного, будем рассматривать стаю как группу общим количеством в двадцать пять–сорок больших или средних по типу и однотипных или разнотипных по функционалу БЛА, с Лидером, ресурсом ситуационной осведомленности, с возможностью разделения на кластеры для выполнения отдельных, как правило, взаимосвязанных задач, возможностью делегирования полномочий и при взаимозаменяемости объектов, с между объектами много большими (на порядок и

более),чем размеры объектов при ограниченном или сведенным к минимуму уровнем взаимодействия с Оператором.

Существующий тренд на повышения автономности группового управления [1] заставляет считать реальным в боевой обстановке практическое отсутствие связи с Оператором. В этих условиях особое значение приобретает возможность общения БЛА друг с другом для совместного решения возникающих задач.

2. Обученный беспилотный летательный аппарат как интеллектуальный агент

Понятие «агента» достаточно широко применяется в различных задачах. Теоретически оно подробного развито в работах группы В.И. Городецкого [2], а практически – в прикладных проектах группы самарских ученых под руководством П.О.Скобелева [3]. Сформулированное на Токийской встрече в октябре 1996 года международной организацией Federation of Intelligent Physical Agents понятие агента как «…сущности, которая находится в некоторой среде, получает от неё данные, отражающие происходящие в среде события, интерпретирует их и воздействует на среду» как нельзя адекватно соответствует такому объекту управления как БЛА. Действительно, БЛА выполняет задачу в воздушной среде, получает от нее данные с использованием установленной бортовой аппаратуры системы технического зрения, анализирует их с помощью Оператора или уже в краткосрочной перспективе автономно с использованием бортового вычислителя и может при необходимости воздействовать на среду.

Рассмотрим основные свойства агентов и спроецируем их на боевые свойства и характеристики БЛА (табл. 1).

Таблица 1. Взаимные соответствия «БЛА как интеллектуальный агент»

Интеллектуальный агент	**Типовой БЛА**	**Пример: разведывательно-ударные действия**
Возможности, как совокупность полезных действий	Возможности определяются функционалом БЛА	Возможность обнаруживать объекты противника разведывательными БЛА, поражать ударными БЛА
Потребности, как условия существования	Определяются конструкцией БЛА	Для БЛА самолетного типа –запас топлива
Свойства агента, как характеристики, определяющие поведение	Боевые свойства БЛА по онтологии предметной области «боевые свойства ВВСТ»	Свойство автономности БЛА. Свойство адаптивности БЛА
Автономность как способность функционировать без влияния человека	Различные виды автономности как независимость от оператора	Автономность низкого уровня- БЛА делегирована функция обнаружения и распознавания объектов интереса непосредственно на борту БЛА
Реактивность как способность воспринимать состояние среды и реагировать на действия среды	Использование систем ситуационной осведомленности для построения алгоритмов реагирования на угрозы среды	Фиксация фактов и событий внешней среды с использованием системы технического зрения и обработка данных посредством бортового вычислителя
Коммуникативность как способность общения с другими агентами и людьми	Возможность и реализуемость связи БЛА с другими объектами группы по информации и управлению, а также при необходимости с Оператором	Организация обмена информацией о состоянии БЛА и окружающей среды между БЛА с использованием, например, ультра -широкополосной связи UWB
Гибкость как возможность выбора из нескольких вариантов	Возможность смены роли для многофункционального БЛА	БЛА, являющийся элементом группы, может также выступать как Лидер группы при наделении соответствующими полномочиями и наличии связей
Индивидуальность как совокупность присущих именно данному агенту характеристик и правил поведения	Специализация БЛА под выполнение задач определенного класса	В военно-технической области: БЛА разведки, БЛА-транспорт, БЛА ударного типа, БЛА-ретранслятор и др.

Интеллектуальный агент	Типовой БЛА	Пример: разведывательно-ударные действия
Мобильность как способность перемещения в среде	БЛА по определению являются динамическими и мобильными объектам	Перемещение БЛА за счет винтовых двигателей либо иных принципов
Рациональность как способность действовать оптимальным для данной ситуации образом	Реализация БЛА полученной в результате обучения собственной стратегии действий	БЛА, обученный в парадигме «эгоиста», отказывается от выполнения новой задачи, если она связана с опасностью
Адаптируемость как способность сохранять работоспособность при воздействии среды	Использование систем ситуационной осведомленности для построения алгоритмов реагирования на угрозы среды	Распознавание и оценка угрозы со стороны противника, принятие решения на воздействие, продолжение выполнения задачи
Способность к целенаправленному поведению	Способность выполнения задач по предназначению	Целенаправленное выполнение задачи по мониторингу заданного пространства поверхности с поиском объектов интереса
Способность к общественному поведению	Наличие свойства «жертвенности» [4], приобретаемого в процессе машинного обучения	Придание БЛА статуса «альтруиста» в процессе обучения [4]
Наличие убеждений как оценки собственного состояния и состояния внешней среды	Способность БЛА получать информацию из внешней среды и с использованием бортового вычислителя обрабатывать ее	БЛА-разведчик в процессе видеомониторинга обнаруживает, распознает, идентифицирует и составляет паспорта целей
Наличие намерений как целей и планов их выполнения	Целераспределение в группе по алгоритмам, например, древоподобного типа	Назначения и доведение до БЛА FPV-типа целеуказания
Наблюдаемость как свойство быть обнаруженным в среде	БЛА является уязвимым объектом в силу шумности, видимости и др.	Установка на БЛА средств обнаружения электронного подавления

Как следует из изложенного, БЛА по своим свойствам и характеристикам адекватно описывается агентными свойствами. Следовательно, БЛА может рассматриваться как интеллектуальный агент. Особый практический интерес это представляет при моделировании БЛА как элементов стаи, так как включение БЛА в состав гомогенной, а особенно гетерогенной стаи и особенности стайного управления предполагают наличие у БЛА большинства перечисленных выше агентских свойств.

3. Группа интеллектуальных беспилотных летательных аппаратов как многоагентная система

Понятие многоагентной системы, как технологии построения систем группового управления, состоящих из большого числа автономных подсистем (агентов), организованных в сеть, и их практические, прежде всего индустриальные, приложения было описано в ряде работ [2]. Также, как и в случае с агентами, важнейшие особенности многоагентных систем, в том числе требования хотя бы частичной автономности и независимости составляющих систему агентов, преимущественная децентрализация, ограниченности знания отдельных агентов о целеполагании и состоянии всей системы, возможности обмена знаниями по установленным протоколам, вполне адекватны постановкам задач группового управления БЛА в условиях противодействующей среды, в том числе их аспектам, связанным с потерей связи с Оператором средствами радиоэлектронного подавления, возможной потери Лидера и нарушения работоспособности отдельных БЛА и, как следствие, необходимости реконфигурации структуры и состава группы, смешанности ее состава с различными типами, обученностью и оборудованием БЛА, необходимостью обмена информацией и командами при решении коллективных задач и др.

Поэтому рассмотрим основные свойства задачи группы и агентов и спроецируем их на методы, используемые для их решения в многоагентных системах БЛА (табл. 2).

Таблица 2. Взаимные соответствия «Группа БЛА как многоагентная система»

Основные задачи формирования и функционирования группы БЛА	**Методы, используемые в многоагентных системах**	**Потенциальные решения для выполнения коллективных разведывательно-ударных задач**
Агрегация состава группы	Формирование многоагентной системы в зависимости от класса решаемых задач с учетом возможностей и потребностей агентов	Агрегация группы под задачу и наличие средств для агрегации в конкретном подразделении с учетом возможностей и потребностей БЛА
Целеполагание	В группе проводятся переговоры по целераспределению, исходя из возможностей агентов по решению задач, их квалификации и приоритетов	Использование алгоритма целераспределения в группе в зависимости от состава группы и коллективной задачи при рассмотрении БЛА как интеллектуальных агентов
Образование требуемых пространственно-временных формаций	Для динамических агентов в процессе переговоров может быть выстроена требуемая пространственно-временная структура с занятием соответствующих позиций в пространстве	Заблаговременное планирование формаций заданного типа для группы в формате стай и роев
Связь	В прямой постановке не используется. Формирование виртуальной площадки (доски объявлений) с алгоритмом проведения переговоров по соответствующим критериям и правилам «поощрений и наказаний»	Организация mesh-связи в сети БЛА с размещением БЛА как интеллектуальных агентов в узлах сети
Взаимодействие с Оператором	Исключение на виртуальных переговорах центрального агента, принимающего решение	Снижение роли Оператора в управлении группой до функций контроля с делегированием полномочий БЛА, обученным стратегиям поведения и приему решений
Управление группой	Выделение агента, распределяющего информацию и организующего управление (см. способы хореографии и оркестровки при управлении в сервис-ориентированных архитектурах [5])	Лидер, столкнувшись с проблемой, использует библиотеку прецедентов для поиска подобной ситуации и адаптации
Взаимодействие в группе	Выделение агента-Лидера с максимальной степенью опыта и высокими показателями работы в аналогичных проектах	Наличие Лидера в группе/Лидеров в стаях/ Центра принятия решений в роях
Делегирование полномочий	Придание дополнительных возможностей выбранным агентам при необходимости	Реализация режима делегирования полномочий от БЛА со статусом Лидера к БЛА со статусом интеллектуальных агентов
Реконфигурация	Проведение переговоров агентов по перераспределению задач в группе при появлении новых условий	Реализация режима реконфигурации структуры группы и ролей в группе
Наличие знаний	Возможности агентов определяются совокупностью знаний, которые в них закладываются при обучении [6] и приобретаются в результате опыта решения задач определенного класса	Наличие в группе а) единого ресурса ситуационной осведомленности б) библиотеки прецедентов групповых ситуаций

Как следует из изложенного, группа БЛА по своим свойствам и характеристикам адекватно описывается как совокупность агентов. Следовательно, группа БЛА может рассматриваться как многоагентная система. Особый практический интерес это представляет при моделировании группы БЛА как стаи, так как особенности формирования стаи и решение ею коллективных задач предполагает активное взаимодействие БЛА как агентов в интересах выработки коллективных

решений, что, по сути, означает постоянные переговоры с обменом информацией и командами управления.

4. Заключение

Заблаговременное обучение групп БЛА стратегиям действий является неотъемлемой частью успешного применения беспилотных летательных аппаратов в различных сферах. Оно не только повышает эффективность операций и улучшает взаимодействие между аппаратами, но и значительно снижает риски, связанные с выполнением сложных задач. В условиях быстро меняющегося мира, где технологии развиваются с невероятной скоростью, подготовка и обучение становятся ключевыми факторами, определяющими успех групповых миссий.

В настоящее время в рамках стайного управления выделяется несколько классов типовых задач. В числе основных задачи мониторинга значительных площадей местности и особо протяженных объектов, комплексной одновременной но разнообразной логистики, охраны и обороны важных объектов от роевых атак и др. Основной особенностью стаи является возможность решения не одной, а нескольких различных и последовательных по времени задач, но с общим целеполаганием и целесообразным разделением стай на подгруппы. Стратегии такого стайного управления могут вырабатываться различными методами- имитационным моделированием, машинным обучением и др. При построении таких моделей целесообразно рассматривать БЛА как интеллектуального агента, обладающего агентскими свойствами: базой знаний и функционалом (возможностями), энергетикой (потребностями) стремлением снижения зависимости от Оператора (автономностью), ситуационной осведомленностью или локальной информацией (реактивностью), обменом информаций и командами (коммуникативностью), сменой роли (гибкостью), стратегиями поведения (намерениями) и др.

Стая БЛА может рассматриваться как многоагентная система, представляющая собой совокупность агентов, каждый из которых выполняет свою задачу, взаимодействуя с другими агентами и окружающей средой. БЛА-агенты могут обмениваться информацией и координировать свои действия для достижения общей цели, разделяться на подгруппы и др. В процессе агрегирования стаи, выработки и обучениям стратегиям управления, в том числе с учетом прецедентов группового управления, взаимодействию, обмена данными по информации и управлению, реконфигурации, делегирования полномочий и др. действий, необходимых для выполнения коллективной стайной задачи, целесообразно использовать методы решения задач в многоагентных системах, в частности организацию площадок виртуальных переговоров агентов.

В следующих статьях этого цикла будут рассмотрены конкретные примеры решения стайных задач с использованием методологии многоагентных систем.

Литература

1. *Абросимов В.К.* Функциональная автономность интеллектуальной системы управления беспилотного летательного аппарата // Авиакосмическое приборостроение. – 2025. – № 4.– С. 41–49.
2. *Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В.* Прикладные многоагентные системы группового управления // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 2. – С. 3–24.
3. *Городецкий В.И., Бухвалов О.Л., Скобелев П.О., Майоров И. В.* Современное состояние и перспективы индустриальных применений многоагентных систем // Управление большими системами. – 2017. – № 66. – С. 94–157.
4. *Абросимов В.К.* Коллективы интеллектуальных летательных аппаратов. – М.: Издательский дом «Наука», 2017. – 350 с.
5. *Marks Eric A., Bell Michael.* Service Oriented Architecture (SOA). A Planning and Implementation. Guide for Business and Technology. New York. John Wiley & Sons Limited, 2018. – 236 p.
6. *Абросимов В.К., Долгов Г.А. Михайлова Е.С.* Нейронная модель формирования стратегий действий роя беспилотных летательных аппаратов в опасной зоне // Труды Семнадцатой международной конференции Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD’2024):, 24–26 сентября 2024 г., Москва / под общ. ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна; Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова Рос. акад. наук. – С. 805–811.