

УДК 681.3

# РАЗРАБОТКА КОЛЛЕКТИВНОГО ИНТЕЛЛЕКТА САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ ГРУППИРОВКИ БПЛА

**Д.М. Гаврилов**

*Самарский государственный технический университет*  
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: Dan.Gan.07@mail.ru

**К.О. Кузнецов**

*Самарский государственный технический университет*  
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: hdhdy573jfysushxusuej@gmail.com

**Н.Р. Беляков**

*Самарский государственный технический университет*  
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: belyakov.nickita444@yandex.ru

**В.Б. Ларюхин**

*Самарский государственный технический университет*  
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: V.Laruchkin@kg.ru

**Ключевые слова:** коллективный интеллект, самоорганизация, роевое управление, беспилотные аппараты (БПЛА), автономное управление, управление группой БПЛА, адаптивное планирование, мониторинг, интеллектуальные системы, реальное время.

**Аннотация:** В статье рассматривается задача создания системы коллективного интеллекта для управления самоорганизующейся группой («роем») автономных БПЛА, способных принимать решения и договариваться друг с другом. Для решения задачи разработан метод адаптивного распределения участков территорий и планирования маршрутов облета заданных целей, а также дальнейшего мониторинга и контроля результатов. Представлены результаты экспериментов и показаны направления дальнейшего развития и исследований для решения прикладных задач.

## 1. Введение

Быстрое развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и стремительное расширение сфер их возможного применения делают актуальной задачу управления группировками БПЛА для решения все более усложняющихся задач на более обширных, протяженных и распределенных территориях, например, по обследованию протяженных нефтегазовых магистралей, контролю за ходом строительства крупных объектов и т.д.

При этом важной и перспективной тенденцией современного развития БПЛА является их растущая автономность [1], связанная с появлением на борту электронных

карт или доступа к ГИС системам, средств технического зрения и распознавания образов в реальном времени, самодиагностики, коммуникации с участниками группировки и т.д.

Можно утверждать, что будущее – за так называемыми автономными БПЛА, обладающими интеллектом на борту, которые будут способны, получив задачу, самостоятельно декомпозировать ее на составные элементы, договориться с собратьями о том, кто и когда наиболее эффективно решит задачу, провести анализ ситуации для решения своей задачи, принять решения, согласовать эти решения с другими участниками группировки, спланировать свою работу и обеспечить решение задачи, получить результат и передать его заказчику (центру или другим роботам).

Развитие этой идеи ведет к созданию самоорганизующихся группировок БПЛА, в последнее время все чаще называемых «Рой БПЛА» (в отличии от группировок, централизованно управляемых оператором), которые без участия человека будут способны распределенным образом решать сложные задачи, которые по одиночке они не могут решить, договариваться между собой, кто им нужен для решения задач, кто и какую задачу будет решать, за какое время, в какой момент времени и т.д.

В настоящей работе делается первый шаг к созданию таких «роевых группировок» БПЛА, обладающих не только индивидуальным, но и коллективным интеллектом, состоящем в способности решать более сложные задачи, чем это может сделать один аппарат, конкурировать и кооперировать, перераспределять задачи между собой и т.д.

Предлагается первый прототип интеллектуальной системы управления БПЛА, который позволяет планировать и моделировать процессы самоорганизации роевой группировки БПЛА, которые в дальнейшем могут быть вынесены в отдельные БПЛА.

## 2. Постановка задачи

Задачей разработки на первом этапе являлось создание прототипа интеллектуальной системы для управления группировкой БПЛА с функцией построения адаптивного плана облета выбранной области с учетом ограничений по их ресурсам.

При этом важным требованием было разработать такие модели и методы принятия решений для БПЛА, чтобы они могли самостоятельно реагировать на события и взаимодействовать с другими БПЛА для принятия решений о распределении задач и адаптивного перестроения и оптимизации плана в режиме реального времени. Более того, возникновение таких критических событий, как выход из строя одного из БПЛА, не должен приводить к фатальному исходу, а именно за счет коллективного интеллекта требуется перераспределять задачи внутри группировки, сохраняя ее живучесть в целом и выполнения наиболее приоритетных задач.

Ключевые функции разрабатываемой системы должны включать:

1. Возможность многокритериального планирования маршрутов облета множества заданных целей для максимального покрытия выбранной области с учетом ограничений и требований к миссии.

2. Адаптивная корректировка планов для реагирования на непредвиденные события, например, появление новых заказов или выход из строя одного из БПЛА, связанная с переговорами между отдельными автономными БПЛА.

3. Удобство интерфейса для управления роем БПЛА и заданий маршрутов. Система должна предоставлять пользователям простые и гибкие средства для определения параметров миссии, и отправления команд в БПЛА.

4. Обеспечение возможности мониторинга выполнения миссии и текущего состояния БПЛА группировки в реальном времени. Система должна позволять операторам отслеживать процесс выполнения миссий и получать информацию о состоянии беспилотных аппаратов в режиме реального времени.

5. Анализ и визуализация данных, полученной в ходе миссий, таких как журналы переговоров агентов при построении маршрутов и данные с маршрутных датчиков.

### 3. Предполагаемая реализация

Для реализации идеи и проверки гипотез было предложено:

1. Создать прототип базовой системы в виде приложения для ноутбука, которое позволяет создать группировку БПЛА и выдать им задание на облет. Построение плана решения задачи базируется на переговорах программных агентов БПЛА для построения общего плана выполнения задания, который согласовывается с оператором для последующей выгрузки в БПЛА.

2. Создать версию системы на микроконтроллере БПЛА, которая будет принимать построенный выше план и начинать его выполнение. При этом если во время выполнения происходят события (появление нового задания, пропажа одного из БПЛА группировки, нехватка заряда, и т.д.), то данный БПЛА реагирует на это событие и посредством переговоров с другими БПЛА в режиме реального времени перераспределяет свои задачи на других участников группировки.

Указанный подход позволил создать первый прототип системы и провести апробацию разработанных мультиагентных методов распределенного планирования.

### 4. Алгоритм планирования

Рассмотрим разработанный метод планирования облета территории, основанный на мультиагентном подходе для виртуального рынка [2].

Предполагается, что в каждый БПЛА загружается карта с выделенной местностью, разбитая на клетки, каждая из которых имеет свою стоимость и желаемый срок облета. В начале агент БПЛА анализирует  $n$  клеток вокруг себя (задается параметром системы). Затем строит  $m$  вариантов перемещения. Для каждого варианта БПЛА оценивает: какой выигрыш он за это получит (в у.е.), сколько потратит на захват клетки. Далее БПЛА выбирает наиболее выгодный для себя вариант и согласовывает его с другими БПЛА, отправляя им сообщение. После чего ожидает ответов в течение заданного времени.

Если отсутствует конфликт с другими БПЛА, то текущий БПЛА информирует группировку, что резервирует клетки за собой.

Если же возникает конфликт, то начинается фаза переговоров между агентами БПЛА, основанная на виртуальном рынке, подобная аукционным торгам. Так, БПЛА-конкурент отправляет сообщение, в котором он предлагает перекупить клетки передавая свою цену, которую он готов дать. Цена, которую БПЛА-конкурент готов дать определяется как разница между лучшим по стоимости вариантом, и лучшим вариантом при отказе от данных клеток, т.е. учитывается контекст ситуации.

Рассматриваемый нами БПЛА получает предложение о перекупе от других участников группировки и смотрит, сколько он потеряет, и что ему выгоднее, и отвечает либо согласием на перекуп, либо отказом, либо вырабатывает свое встречное предложение. Сообщение об отказе или встречное предложение отправляется соответствующим участникам переговоров. БПЛА, которые давали предложения о перекупе и получили или отказ, или встречное предложение – вырабатывают новое предложение по цене. Если новое предложение выработано, то они начинают его

процесс согласования. Если предложение не выработано, то они закрывают сессию переговоров. После того, как все БПЛА согласовали действия, запускается следующий шаг планирования. Схема переговоров изображена на рис. 1.

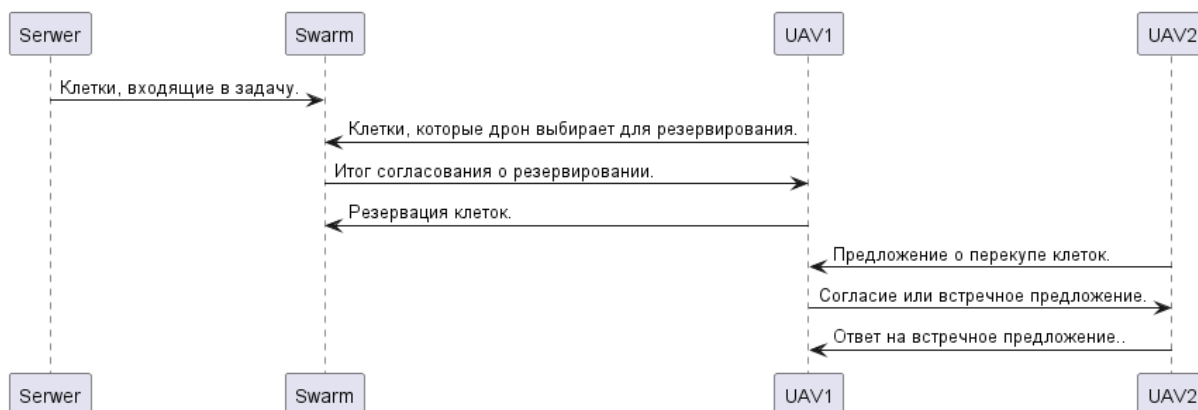


Рис. 1. Схема переговоров.

Работа метода завершается, когда достигнуто конкурентное равновесие (консенсус) и ни один из агентов больше не может улучшить свое положение.

## 5. Интерфейс программы и пример работы

Интерфейс приложения состоит из нескольких вкладок: «Управление роем», «Данные дронов», «Переговоры агентов», «Настройки». Основной интерфейс приложения доступен на основной вкладке (рис. 2.).

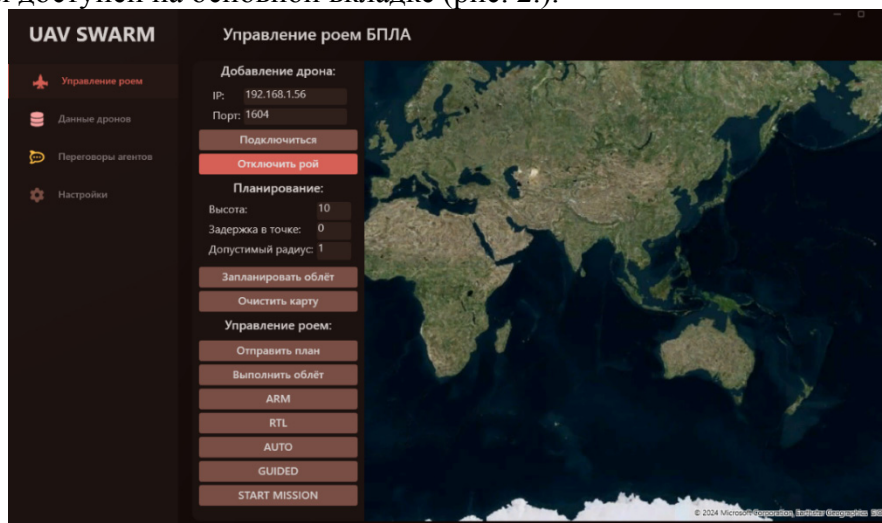


Рис. 2. Вкладка «Управление роем БПЛА».

Вкладка содержит функции, необходимые для полного управления группировкой БПЛА. Пользователь имеет возможность добавлять БПЛА в группировку, «перемещаться» по карте, удерживая левую кнопку мыши, а также уменьшать или увеличивать масштаб, прокручивая колесико мыши. При нажатии на какую-либо точку на карте появляется маркер, который используется для определения границ области облета БПЛА. На Рис.3 задана тестовая область облета, состоящая из 4 точек, выделенная на карте с помощью прозрачного оранжевого фона.

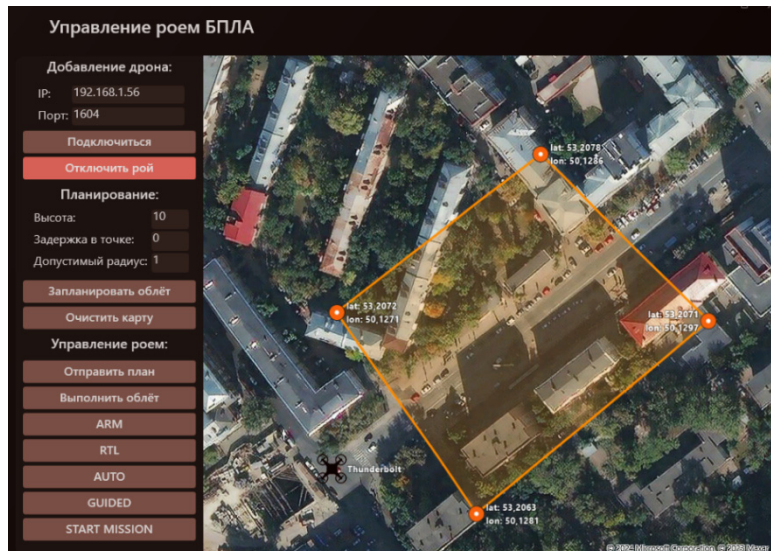


Рис. 3. Отображение дрона и заданной пользователем области на карте.

Следующая область интерфейса отвечает за планирование облета. Пользователь может выбрать высоту, на которой будет выполнена миссия, задержку в каждой маршрутной точке, а также допустимый радиус подлета к этой точке (например, чтобы БПЛА начинал поворачивать к следующей путевой точке, не долетая полностью до текущей).

После запуска процесса планирования миссии результат работы планировщика отображается на карте и представляет собой набор маршрутов для каждого из БПЛА (рис. 4.).

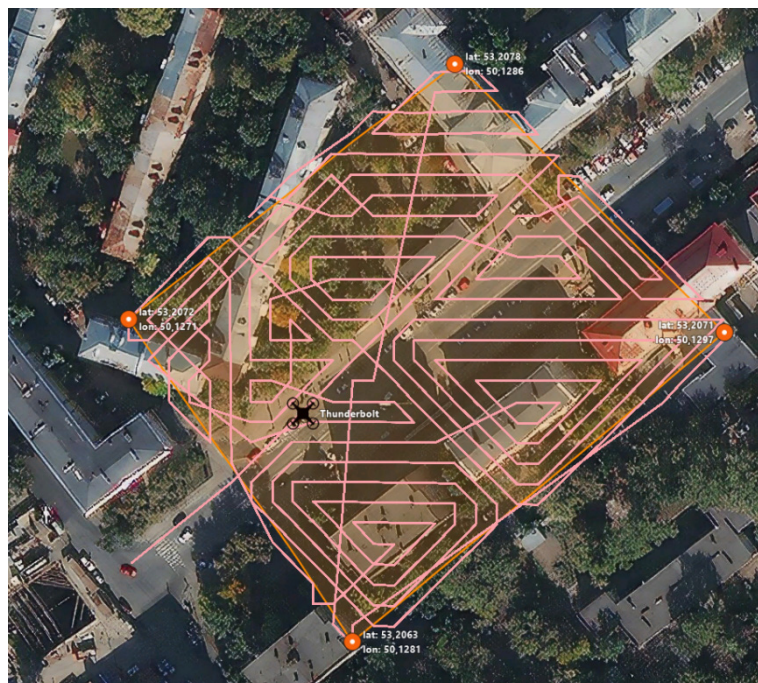


Рис. 4. Выполнение облета БПЛА

Вкладка «Данные дронов» содержит таблицу с детальной информацией о каждом БПЛА, включая заряд батареи, широту, долготу и высоту. Вкладка «Переговоры

агентов» позволяет просмотреть полный лог переговоров агентов во время планирования облета.

## **6. Выводы**

Система управления группировкой БПЛА, описанная в данной статье, обеспечивает эффективное взаимодействие между БПЛА и наземной станцией управления, позволяет формировать оптимальные планы облета области, реагировать на события в режиме реального времени.

К основным преимуществам системы следует отнести гибкость и адаптивность. Благодаря применению переговоров агентов в архитектуре планировщика, каждый БПЛА в группировке способен действовать как индивидуальный агент, оптимизируя свой маршрут исходя из текущего состояния окружающей среды и других факторов.

В целом, разработанная система представляет мощный инструмент для управления группировками БПЛА, обладающий высоким потенциалом дальнейшего развития. Она способна справиться с широким спектром задач, связанных с облетом заданной области, и обеспечивает высокую эффективность в управлении БПЛА.

## **Список литературы**

1. Top drone trends 2023 - <https://www.linkedin.com/pulse/future-drones-top-trends-watch-2023-christopher-guarnera/>.
2. Грачев С. П., Жилиев А. А., Ларюхин В.Б. и др. Методы и средства построения интеллектуальных систем для решения сложных задач адаптивного управления ресурсами в реальном времени // Автоматика и телемеханика. 2021. № 11. С. 30-67.