

# Интеллектуальная система поддержки принятия решений для группового управления автономными БПЛА

Т.З. Муслимов  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: tagir.muslimov@gmail.com

Р.А. Мунасыпов  
Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: rust40@mail.ru

Р.Р. Хабибуллина  
Уфимский государственный авиационный технический университет  
Уфа, Россия  
e-mail: xelly@inbox.ru

## Аннотация<sup>1</sup>

В статье рассматриваются актуальность и концепция построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений для формирования строя и группового управления автономными беспилотными летательными аппаратами (БПЛА).

## 1. Введение

Вследствие различных причин одиночный робот, в том числе и автономный беспилотный летательный аппарат (БПЛА), в состоянии решать лишь простые операции в ограниченной области применений, причем вышесказанное касается как гражданских, так и военных задач. Повышение радиуса действия, большое разнообразие сенсоров, резервирование, увеличение энергоресурса и многое другое – всё это становится возможным при групповом использовании БПЛА [1].

Актуальными практическими приложениями группового управления БПЛА можно назвать: поисково-спасательные операции [2], задачи локализации объектов [3], автоматическая дозаправка в воздухе [4], обнаружение и тушение лесных пожаров [5], экономия топлива (или повышение полезной нагрузки) за счет снижения индуктивного сопротивления [6] и др.

## 2. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при групповом управлении автономными БПЛА

Особенностью функционирования автономных мобильных роботов (в том числе и БПЛА) является

высокий уровень неопределенности, что вызвано непредсказуемостью внешней среды, высокой размерностью пространства состояний, отсутствием точных математических моделей, иерархичностью принимаемых решений по управлению. При движении к заданной цели в известной или неизвестной среде мобильный объект должен преодолевать различного рода препятствия, избегать столкновений со стационарными и подвижными объектами. Для решения таких задач в автономном режиме система управления подвижного объекта должна обладать способностью интерпретировать, планировать и выполнять полученное задание без вмешательства извне, используя бортовую вычислительную систему.

Удовлетворить столь сложным техническим требованиям могут только интеллектуальные системы управления, позволяющие принимать управленческие решения на основе как накопленных знаний и опыта в процессе эксплуатации, так и обработки больших потоков информации в реальном времени, а также методов и алгоритмов теории искусственного интеллекта.

Однако в настоящее время современные исследования в области применения систем искусственного интеллекта в задачах управления носят в основном общий характер. Особенно это относится к системам, предназначенным для группового управления автономными мобильными роботами.

На сегодня не решены многие фундаментальные вопросы, связанные с выбором архитектуры и структуры интеллектуальных систем управления. Отсутствует методология построения интеллектуальных систем планирования и управления автономными подвижными объектами, которая позволяла бы в рамках одной системы использовать различные интеллектуальные

---

Труды четвертой международной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 17 - 19 мая, Уфа, Россия, 2016

технологии, а также традиционные адаптивные алгоритмы управления. Не в полной мере решены вопросы программной и аппаратной реализации алгоритмов интеллектуального управления с учетом ограниченности ресурсов.

Например, в последнее время публикуется множество научных работ, целью которых является решение проблемы совместного распределения и планирования задач, выполняемых БПЛА на большой территории [7]. Тем не менее, значительная часть этих статей посвящена статичным внешним условиям и не учитывает ситуации с динамично меняющейся средой. Проблема планирования маршрута для выполнения задач, которые поступают во время миссии и могут менять своё содержание, известна как «проблема динамического планирования маршрута аппарата» (DVR-problem). Отличие динамического и статического варианта состоит в следующем:

1. Динамический алгоритм должен формировать такие линии поведения аппарата, которые предписывают эволюцию маршрутов как функций этих поступающих задач, также меняющихся во времени.
2. Динамические задачи добавляют «феномен очередей» к комбинаторной природе планирования маршрутов БПЛА.

В условиях высокой динамики окружающей обстановки автономные группы БПЛА должны иметь способность осуществлять планирование своего движения на основе данных реального времени. Для этих целей возможны решения с помощью, к примеру, функций оценивания [8] или генетических алгоритмов [9].

Для создания алгоритмов реального времени формирования строя БПЛА достаточно эффективным оказывается использование технологии нейронных сетей [10]. Полет в очень близких формациях вызывает проблемы в управлении из-за нелинейных эффектов аэродинамического взаимодействия. Большинство работ, посвященных алгоритмам формирования строя, предполагают динамику БПЛА в условиях этих эффектов известной.

Линеаризованные модели в общем случае имеют силу лишь вблизи некоторой рабочей точки. Например, для квадрокоптера – это параметры зависания. Нейронная сеть, обучаемая «оффлайн», не всегда может предоставить необходимую работоспособность, поскольку невозможно накопить достаточно данных для обучения, чтобы предусмотреть любую ситуацию, с которой БПЛА может столкнуться в реальном мире.

В качестве решения этой проблемы предлагается использовать алгоритм «ведущий-ведомый» для формирования строя БПЛА на основе двухслойной нейронной сети с «пошагово-попятным» (backstepping) подходом к адаптации весов [11]. Нейронная сеть во внутреннем контуре управления в

режиме реального времени аппроксимирует неизвестные нелинейные составляющие и компенсирует их как для «ведущего», так и для каждого «ведомого» БПЛА, производящего слежение за собственной траекторией. В итоге двухслойная нейронная сеть используется для компенсации неизвестной нелинейной динамики БПЛА.

В процессе выполнения задач группой автономных мобильных роботов, большое значение приобретает оперативное принятие решений вследствие ограниченного запаса времени, особенно в случае летающих роботов (БПЛА) из-за высокой динамики событий. Поэтому становится необходимым создание системы поддержки принятия решений (СППР), которая позволит не только значительно снизить нагрузку на оператора, управляющего группой БПЛА, но и повысить безопасность, эффективность и качество работы.

Одной из важных функций СППР является подсистема безопасности полета и маневрирования, эффективность работы которой может быть значительно улучшена в случае использования технологий искусственного интеллекта. Как известно, для нахождения коэффициентов аэродинамических сил и моментов и их производных в силу существенной нелинейности динамики летательных аппаратов (ЛА) и окружающей среды необходимо проведение серий аэродинамических продувок и летных испытаний, в том числе для определения устойчивости и управляемости ЛА. Одна из главных проблем безопасности полетов состоит в том, что большинство особых ситуаций (ОС) и критических ситуаций (КС) выходят за пределы описания стандартных линеаризованных моделей управления и динамики ЛА, полученных в результате этих испытаний. Таким образом, для выхода из ОС и КС необходимо наличие такой адаптивной системы управления, которая сможет производить реконфигурацию алгоритмов в условиях неполноты поступающей информации. Именно, поэтому применение нечеткой логики для этих целей видится одним из перспективных направлений.

Компоненты СППР могут быть реализованы в соответствии с различными конфигурациями системы БПЛА как летающего робота: они либо находятся в центральном узле принятия решений, либо частично (или полностью) распределены между самими роботами. Можно определить «уровень автономности» робота как наличие тех или иных компонентов СППР на его борту и рассмотреть пять различных уровней:

1. Уровень 1: отсутствие автономности на борту робота. Робот способен выполнять лишь элементарные задачи по команде центрального узла.
2. Уровень 2: возможности исполнителя. Робот способен выполнять порядок элементарных

действий для достижения конечной цели и сообщать о статусе задач.

3. Уровень 3: то же, что и Уровень 2, но появляется способность скоординированных действий. Робот способен взаимодействовать с другими роботами аналогичного уровня.
4. Уровень 4: распределенная способность скоординированных действий. Запросы на выполнение задач высокого уровня управляются самими роботами (планирование задач), и координация действий между БПЛА обеспечена независимо от центра управления.
5. Уровень 5: то же, что и уровень 5, но возникает способность к перераспределению задач. Роботы перераспределяют выполнение задач между собой и принимают новые задачи от других роботов системы.

Исходя из вышеназванной классификации, уровень автономности системы повышается по мере передачи оператором способностей к принятию решений самим БПЛА. На третьем уровне центральный узел принятия решений, расположенный в наземной станции, производит планирование задач и обеспечивает согласованность действий системы БПЛА в целом. В то время как на 4-м уровне улучшение результатов выполняемой миссии и планирование действий передано под управление самих БПЛА. Наконец, на 5-м уровне центральный узел принятия решений только лишь сообщает системе цели высокого уровня, которые необходимо достигнуть для выполнения миссии. Для успешного построения системы поддержки принятия решений изначально требуется решить задачу на нижнем уровне, а именно синтезировать алгоритм управления для формирования строя БПЛА с отработкой некоторой геометрической формы.

### 3. Заключение

Итоговой целью нашей работы является разработка методологии проектирования и соответствующего методического, алгоритмического и программно-аппаратного обеспечения интеллектуальных информационно-управляющих систем для группового управления мобильными автономными роботами (в том числе летающими роботами – БПЛА) в условиях неопределенности.

Текущая проверка проведенных исследований и отработка алгоритмов проводится в системе Matlab с использованием реалистичной математической модели движения БПЛА.

### Список используемых источников

1. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит, 2009. – 280 с.
2. Jürgen Scherer, Saeed Yahyanejad, Samira Hayat, Evsen Yanmaz, Torsten Andre, Asif Khan, Vladimir Vukadinovic, Christian Bettstetter, Hermann Hellwagner and Bernhard Rinner. “An autonomous multi-UAV system for search and rescue”. In *Proceedings of Austrian Robotics Workshop*, Klagenfurt, Austria, 2015.
3. B. Sundaram, M. Palaniswami, S. Reddy, M. Sinickas, “Radar localization with multiple unmanned aerial vehicles using support vector regression”. *Intelligent sensing and information processing*, 2005.
4. Daniel B. Wilson, Ali H. Göktogan, Salah Sukkarieh. “Guidance and Navigation for UAV Airborne Docking”. *Robotics: Science and Systems XI*. 2015.
5. Luis Merino, José Ramiro Martínez-de Dios, Aníbal Ollero. “Cooperative Unmanned Aerial Systems for Fire Detection, Monitoring, and Extinguishing”. In: Kimon P. Valavanis, George J. Vachtsevanos. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Springer Netherlands, 2015, pp 2693-2722.
6. Binetti P., Ariyur KB, Krstic M., Bernelli F. “Formation flight optimization using extremum seeking feedback”. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* 2003; 26(1):132-142.
7. J.J. Enright, E. Frazzoli, M. Pavone, and K. Savla. “UAV Routing and Coordination in Stochastic and Dynamic Environments”. In K.P. Valavanis and G.J. Vachtsevanos. *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Springer Netherlands, 2015
8. Willem H. van Willigen, Martijn C. Schut, A. E. Eiben, Leon J. H. M. Kester. “Online Adaptation of Path Formation in UAV Search-and-Identify Missions”. *10th International Conference, ICANNGA*. 2011.
9. François C. J. Allaire, Mohamed Tarbouchi, Gilles Labonté, Giovanni Fusina. “FPGA Implementation of Genetic Algorithm for UAV Real-Time Path Planning”. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 2009.
10. Wu H., Jagannathan S. “Adaptive Neural Network Control and Wireless Sensor Network Based Localization for UAV Formation” (2006).
11. Lewis F.L.; Jagannathan S., Yesilderek A. “Neural Network Control of Robot Manipulators and Nonlinear Systems”. Taylor&Francis. 1999.