

Исследование особенностей функционирования сценарного алгоритма в системе управления беспилотной авиационной системы

Д.В. Сенчук

Институт проблем управления им В.А. Трапезникова РАН (Москва, Россия)

Studying the Performance Features of the Scenario Algorithm in the Control System of an Unmanned Aerial System

D.V. Senchuk

V.A. Trapeznikov Institute of Control Science RAS (Moscow, Russia)

В настоящей работе рассматриваются результаты натурного эксперимента, проведенного в максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации условиях, направленного на выявление особенностей функционирования системы управления внутри беспилотной авиационной системы (БАС) при организации взаимодействия методом роевого управления децентрализованной стратегией управления БАС на основе отработанных вычислительных методов и алгоритмов. Рассматриваемые летно-технические характеристики единичного БЛА позволяют проанализировать возможность эксплуатации представленной БАС для решения иного рода задач. Результаты представленного эксперимента позволяют выработать набор рекомендаций по направлению дальнейших исследований, а также обеспечивают возможность операторам БЛА в перспективе более качественно и оперативно достигать практические цели в ходе практической эксплуатации БАС в различных условиях. Описанные особенности и недостатки использования различных стратегий управления БАС позволяют определить вероятные варианты конфигурации БАС в зависимости от характера решаемых впоследствии задач.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, беспилотные авиационные системы, программные системы, вычислительные системы, алгоритм.

DOI: 10.14258/izvasu(2023)4-14

Введение

В настоящее время спектр областей группового применения БЛА достаточного широк, что обуславливает актуальность исследований, направленных на поиск наиболее эффективных стратегий их управления, поиск наиболее подходящего метода управления в рамках исследуемой стратегии [1, 2, 3].

Появление метода роевого управления робототехническими системами — революционное решение, провоцирующее возникновение концептуальных

In this paper, we consider the results of a full-scale experiment carried out under conditions most closely resembling real operating ones. The goal of the experiment is to identify the performance features of the control system inside an unmanned aerial system (UAS) when using the swarm control method of a decentralized UAS control strategy. The considered flight performance characteristics of a single UAV provide an opportunity to analyze the operation feasibility of the presented UAS to solve other kinds of problems. The results of the presented experiment enable the development of a set of recommendations for further research directions. Also, they provide future UAV operators with better and faster achievement of practical goals during the practical operation of UAS in various conditions. The described features and disadvantages of various BAS control strategies help determine probable options for the BAS configuration depending on the nature of the tasks to be solved later.

Keywords: unmanned air systems, unmanned aerial vehicles, program systems, computing systems algorithm.

изменений в различных сферах современного производства, промышленности и повседневной жизнедеятельности [4].

Анализ особенностей и принципов эксплуатации БАС в рамках метода роевого управления в современных условиях продемонстрировал актуальность использования сценариев [5, 6, 7, 8]. Однако ранние исследования, направленные на разработку сценариев на основе синтеза с инструментарием математики, не получили широкого распространения. Вместе

с тем проводимые работы на вычислительном стенде требуют натурной верификации вычислительных алгоритмов.

Существующий в настоящее время математический аппарат системного анализа ориентирован на исследование проблем развития сложных крупномасштабных систем, примером которой может служить БАС. Он обеспечивает рассмотрение множества альтернативных решений, каждое из которых описывается достаточно большим числом переменных, позволяет учитывать риски различного типа, вырабатывать эффективные решения в условиях ограниченного времени и ресурсов.

В общем случае сценарный подход представляет собой описание поведения и развития сложных систем

в виде формализованных сценариев на определенном интервале времени в условиях ресурсных, финансовых, социальных и других типов ограничений [9].

В содержательном плане сценарием поведения объекта является модель изменения обстановки, связанной с возникновением и развитием той или иной ситуации в дискретном временном пространстве с определяемым временным шагом [10].

Сценарий R как объект настоящего исследования представляет собой сложную, иерархически построенную конструкцию. Определим начало его функционирования в момент возникновения экспертно-значимого события (ЭСЗ) и построение в соответствии со следующими правилами:

$$R = R\{I(t_i), t_i\}, \text{ где } t_i \in A \text{ при } i = 0, 1, 2 \dots N; t_0 = 0; \tag{1}$$

$$I(t_i) = (S(t_i), M(t_i)), \text{ где } t_i \in A \text{ при } i = 0, 1, 2 \dots N; t_0 = 0. \tag{2}$$

Проведенный анализ различных математических моделей применительно к моделированию поведения БАС и генерации возможных сценариев ее развития показал, что для этих целей достаточно удобно использовать аппарат знаковых, взвешенных знаковых и функциональных знаковых графов [11]. Данная технология позволяет работать с данными как качественного, так и количественного типа, причем степень использования количественных данных может увеличиваться в зависимости от возможностей количественной оценки взаимодействующих факторов в итерационном цикле моделирования.

Аппарат знаковых графов позволяет формально строить прогнозы развития или траектории движения моделируемой системы в фазовом пространстве ее переменных (факторов) на основе информации о ее структуре и программах развития системы путем аппроксимации их траекториями импульсных процессов на знаковых орграфах [12].

Цель сценария R — это обеспечение живучести БАС в ходе выполнения полетного задания, мониторинг

пространства, обнаружение пожара на ранней стадии и его тушение силами и средствами гетерогенной БАС. Для достижения цели решим следующие задачи:

- 1) осуществим непрерывный мониторинг заданной площади пространства;
- 2) обеспечим обнаружение пожара на ранней стадии его возникновения;
- 3) организуем тушение.

Для достижения указанной цели необходимо решить задачу по учету внешних факторов при выполнении полета в различных условиях.

Научная новизна настоящей статьи — в практическом исследовании эксплуатации БАС с использованием сценарного алгоритма управления внутри роя при децентрализованной стратегии управления.

1. Постановка задачи

Произведем расчет времени исследования жилой зоны (территория ИПУ РАН) с использованием БАС в составе двух БЛА гексакоптерного типа (рис. 1).

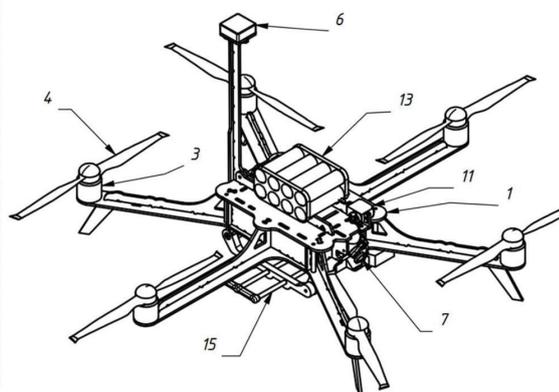


Рис. 1. Фото и общая конфигурация гексакоптеров: 1) корпус; 2) полетный контроллер; 3) мотор; 4) пластиковый пропеллер; 5) регулятор мотора; 6) GPS-Glonass модуль со встроенным компасом и антенной; 7) курсовая, поворотная видеокамера; 8) видеопередатчик с антенной; 9) приемник управления с антенной; 10) модуль WiFi; 11) сервоприводы; 12) блок аккумуляторной батареи; 13) сбрасывающий механизм

Имеющиеся тактико-технические характеристики БЛА (табл. 1) позволяют успешно решить поставленную в настоящем исследовании задачу.

Таблица 1

Тактико-технические характеристики БЛА

№	Характеристика	Значение
1	Габариты с установленными винтами	0,742 м*0,742 м
2	Размер между центрами моторов	0,488 м*0,488 м
3	Вес	0,94 кг
4	Диапазон скоростей полета	0,1–14 м/с
5	Максимальная продолжительность полета	30 мин
6	Максимальный радиус действия с посадкой	3 км
7	Допустимая высота полета над уровнем моря	1000 м
8	Допустимая температура	-15 °С - +45 °С
9	Допустимая влажность	5–95% без конденсата
10	Напряжение бортовой сети	16,8 В
11	АКБ	4S2P 1 x Li-Po 22000 мА/ч
12	Минимально допустимое напряжение АКБ	13 В
13	Дальность связи канала управления и телеметрии	До 3 км в условиях прямой видимости
14	Полезная нагрузка	До 0,7 кг

Введены следующие ограничения эксперимента:

1. К полетам привлекался высококвалифицированный оператор БЛА, имеющий богатый опыт выполнения широкого спектра задач в различных условиях (девять лет ежедневной практики полетов и конструирования БЛА).

2. Исследование проводилось на ограниченной площадке с указанными БЛА в течение одного светового дня.

2. Определение продолжительности обследования жилого фонда ИПУ РАН с использованием различных стратегий управления

Эксперимент проведен в три этапа:

На первом этапе решение задач по обеспечению мониторинга заданной местности, обнаружению пожара на ранней стадии и его тушению обеспечивалось полетами БЛА под управлением оператора с использованием ручного пульта.

На втором этапе реализовывался вариант построения полетного задания, его корректировки в случае обнаружения пожара с последующим тушением.

На третьем этапе рассматривался вариант БЛА с интегрированным сценарным подходом в систему управления БАС.

Для проведения третьего этапа (рис. 2) на БЛА установлена плата, использующая протокол MAVLink.

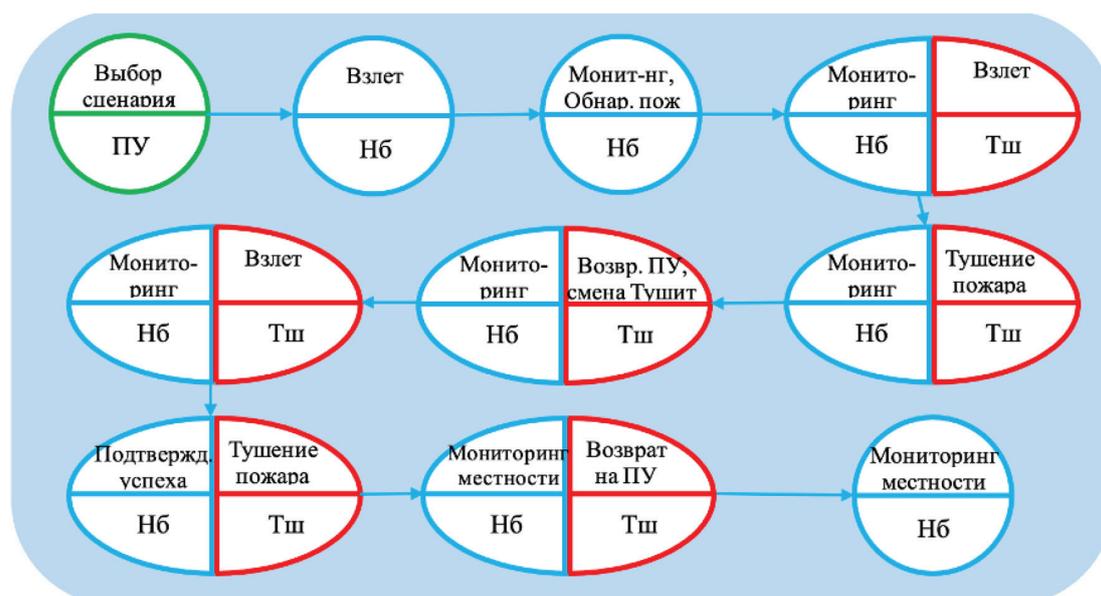


Рис. 2. Алгоритм выполнения полетного задания при использовании сценарного подхода (Нб — БЛА-наблюдатель, Тш — БЛА-тушитель)

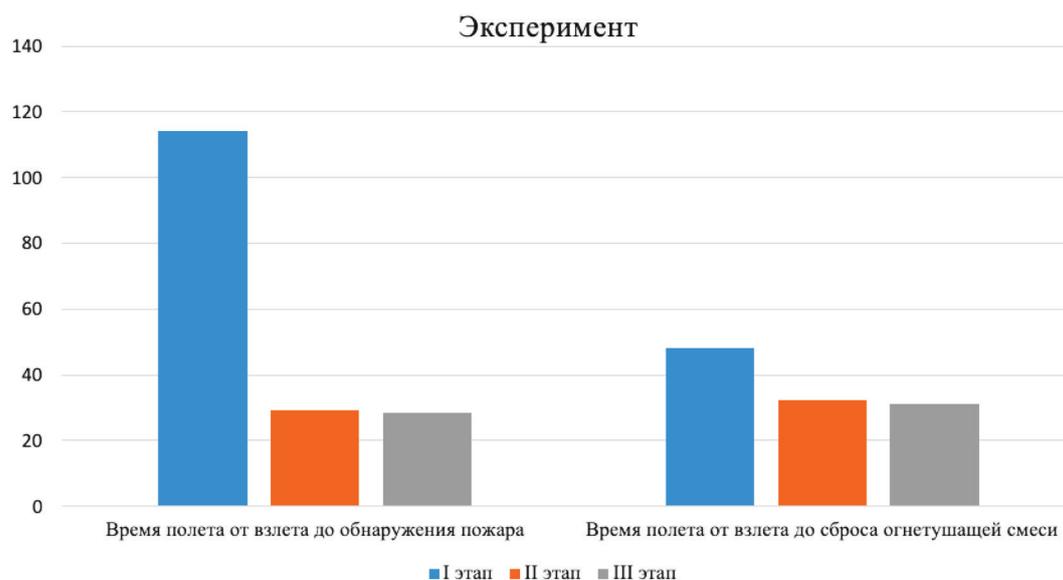


Рис. 3. Результаты эксперимента

Таблица 2

Особенности и недостатки использования различных стратегий управления БАС

№ п/п	Полет под непосредственным управлением оператора с пульта	Полет по полетному заданию	Полет с интегрированным сценарным подходом
1		Для сокращения времени на построение, контроля полетного задания необходимо для каждого БЛА иметь ЭВМ с программным обеспечением, что негативно сказывается на работе в полевых условиях, требует дополнительного расхода энергоресурсов и неравномерного распределения внимания оператора	Применение СцП позволяет использовать один ЭВМ для контроля выполнения сценария многоагентной БАС
2	Наиболее продолжительное достижение цели полета, возможно решить данную проблему за счет привлечения дополнительного оператора, что негативно скажется на общей стоимости использования БАС		В случае использования СцП оператор принимает решение на оперативном уровне, что обеспечивает возможность увеличения количества аппаратов в БАС
3	Смена БЛА-наблюдателя на БЛА-тушитель занимает продолжительное время		Отсутствуют временные затраты на построение, изменение полетного задания на тактическом уровне

Заключение

Развитие беспилотных авиационных систем в настоящее время определяется сферой применения в народном хозяйстве, для чего существенными характеристиками являются применимость и масштабируемость.

Отличительная особенность представленной работы заключается в том, что указанный сценарный алгоритм (отработанный в виде вычислительной модели) может быть применен в различных БАС.

Наглядные результаты сценарного подхода демонстрируют его эффективность в сравнении с другими стратегиями управления БЛА и представляют собой натурные испытания вычислительных процедур на базе вычислительного кластера [13]. В то же время выявленные особенности и недостатки использования различных стратегий управления БАС позволяют определить направления дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Kernbach S. Adaptive collective decision-making in limited robot swarms without communication // *Int. J. Rob. Res.* Sage Publications Sage UK: London, England, 2013. Vol. 32. № 1.
2. Bloss R. Advanced swarm robots addressing innovative tasks such as assembly, search, rescue, mapping, communication, aerial and other original applications // *Ind. Robot An Int. J.* Emerald Group Publishing Limited. 2019. Vol. 41. № 5.
3. Mondada F, Guignard A, Bonani M., Bar D., Lauria M., Floreano D. SWARM-BOT: from concept to implementation // *Proc. 2003 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. (IROS 2003)* (Cat. No.03CH37453). 2003. Vol. 2.
4. Ильичев К.В., Манцеров С.А. Разработка масштабируемой мобильной робототехнической системы роевого взаимодействия // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического ун-та. Электротехника, информационные технологии, системы управления.* 2017. № 21.
5. Галкин В.А., Гавриленко Т.В., Смородинов А.Д., Бобровская О.П. Применимость алгоритмов роевого интеллекта для решения задач минимизации функций разных классов // *Успехи кибернетики.* 2022. Т. 3. № 4.
6. Зенкевич С.Л., Чжу Х. Управление движением группы роботов в строю типа «конвой» // *Мехатроника, автоматизация, управление.* М., 2017. № 18. Т. 1.
7. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Самоорганизация в мультиагентных системах // *Известия ЮФУ. Технические науки.* 2010. № 3 (104).
8. Правила организации и осуществления авиационных работ по охране и защите лесов, утвержденные Постановлением Правительства Российской Федерации от 19 июня 2007 г. № 385.
9. Переверза Е.В. Сценарный подход в задачах анализа сложных социальных систем // *Системные исследования и информационные технологии.* 2011. № 1.
10. Кульба В.В., Кононов Д.А., Чернов И.В., Рощин П.Е., Шулигина О.А. Сценарное исследование сложных систем: анализ методов группового управления // *Управление большими системами: сборник трудов.* 2010. № 30-1.
11. Кутахов В.П., Мещеряков Р.В. Управление групповым поведением беспилотных летательных аппаратов: постановка задачи применения технологий искусственного интеллекта // *Проблемы управления.* 2022. № 1.
12. Агафонкина Н.В., Кульба В.В., Сидоренко Е.А., Ханов А.М. Формирование целевых программ управления развитием с использованием векторных операторных орграфов // *Вестник Воронежского гос. тех. ун-та.* 2009. Т. 5. № 12.
13. Мещеряков Р.В., Саломатин А.А., Сенчук Д.В. Алгоритм численных расчетов перемещения группы роботов при выполнении транспортных миссий // *Известия Алт. гос. ун-та.* 2021. № 1 (117).