

Выбор и обоснование методов интеллектуального планирования мониторинга пространства с помощью группировок беспилотных летательных аппаратов

Д. А. Инишев
ООО НПП «Гарант-сервис-университет»
daii555@yandex.ru

А. А. Лавров
АО РМБит
anatoly.lavrov@gmail.com

А. А. Липатов
АО «Концерн «Вега»
alexey.lipatov75@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена выбору и обоснованию методов интеллектуального планирования применения группировок беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для решения задач мониторинга окружающего пространства. В работе формулируются задачи планирования мониторинга, проводится анализ известных методов планирования действий группировок БЛА, а также методов программирования в ограничениях, используемых для решения задач планирования в различных предметных областях. Обосновываются подходы к планированию мониторинга пространства группировками БЛА в условиях неопределённости.

Ключевые слова: авиационный мониторинг; беспилотные летательные аппараты; групповые действия; интеллектуальное планирование; программирование в ограничениях; НЕ-факторы; когнитивная компьютерная графика

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время органы власти, бизнес и граждане, осуществляя различные виды деятельности, испытывают всё возрастающую потребность в получении актуальной и достоверной информации о пространственных объектах, в том числе движущихся. Для её удовлетворения необходимы средства сбора и обработки пространственных данных в виде рассредоточенных по территории Российской Федерации и за ее пределами систем мониторинга различных видов базирования (воздушного, наземного, надводного, космического). При этом средства авиационного мониторинга могут обеспечить оперативное получение детальных пространственных данных об объектах, представляющих интерес для конечных потребителей [1].

Перспективным направлением развития таких средств является создание систем мониторинга на базе беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Следует отметить, что

решение таких задач, как мониторинг объектов, имеющих большую площадь или протяжённость, труднодоступных объектов, многоспектральный мониторинг местности с одновременным использованием различных датчиков информации силами одиночных БЛА затруднительно [2]. Переход к использованию группировок однотипных и разнотипных БЛА требует, в частности, разработки соответствующих методов и алгоритмов планирования их действий. Планирование в условиях неопределённости, что характерно для реальных ситуаций применения БЛА, также делает актуальным использование методов представления и обработки НЕ-факторов данных и знаний [3].

В связи с этим, целью данной работы является выбор и обоснование методов, наиболее подходящих для планирования мониторинга пространства группировками БЛА.

В работе формулируются задачи построения плана мониторинга области пространства с помощью группы БЛА, проводится анализ известных методов планирования применения группировок БЛА и методов программирования в ограничениях, используемых для решения задач планирования в различных предметных областях. Обосновываются подходы к планированию мониторинга пространства группировками БЛА в условиях неопределённости на основе методов программирования в ограничениях.

II. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ МОНИТОРИНГА ПРОСТРАНСТВА ГРУППИРОВКОЙ БЛА

A. Задачи планирования

При планировании мониторинга области пространства с помощью группировки БЛА должны быть решены следующие задачи [1, 4–6]:

- формирования группировки БЛА, способной в заданный период времени провести мониторинг за-

данной области пространства с использованием бортовых датчиков заданного спектрального диапазона;

- построения маршрута полёта каждого БЛА;
- составления расписания работы каждого БЛА в процессе мониторинга;
- определения режимов работы и построения циклограмм функционирования бортовых датчиков каждого БЛА.

План мониторинга должен удовлетворять ограничениям, накладываемым на границы пространственной области мониторинга, время выполнения мониторинга, спектральный диапазон и режимы работы датчиков, которые должны быть использованы для проведения мониторинга, а также доступные ресурсы группировки БЛА.

Ресурсы группировки БЛА определяются ограничениями на исходное положение БЛА, дальность их полёта, запас топлива, скорость, время полёта, время, в течение которого БЛА не заняты выполнением других задач, набор датчиков, находящихся на борту БЛА, и их спектральный диапазон, имеющиеся в составе системы мониторинга средства связи и передачи данных и их характеристики и др.

Кроме того, ограничения могут накладываться на метеоусловия, время суток, возможность работы в определённые даты (выходные и праздничные дни, дни проведения массовых мероприятий и т.п.).

Следует отметить, что системы ограничений могут быть переопределёнными или недоопределёнными, а сами ограничения могут быть неравноценными (с точки зрения содержания задачи разные ограничения могут иметь разный приоритет).

В процессе планирования должны быть найдены варианты состава группировки БЛА, расписаний работы и маршрутов полёта БЛА, удовлетворяющие всем ограничениям, или получено заключение о невозможности решения задачи в рамках установленных ограничений.

Если найдено несколько вариантов плана мониторинга, то среди них должен быть выбран оптимальный или квазиоптимальный по заданному набору критериев.

Задача нахождения вариантов плана мониторинга с формальной точки зрения представляет собой задачу удовлетворения ограничений [7–10]. В общем случае задача удовлетворения ограничений является NP-полной [7, 10]. Большое количество БЛА в системе осложняет её решение.

Эти особенности позволяют сделать вывод о том, что задача планирования авиационного мониторинга группой БЛА является *вычислительно сложной и слабоформализованной*. В связи с этим для её решений целесообразно использовать методы искусственного интеллекта.

В. Методы планирования

В настоящее время известны два основных подхода к планированию действий группировок БЛА: централизованный и многоагентный [4].

Централизованный подход [4] предполагает, что построение, оптимизация, контроль выполнения и коррекция плана мониторинга выполняется в центре управления группировкой. Многоагентный подход [11] основан на том, что эти этапы планирования реализуются путём выработки совместного решения агентами, обладающими информацией об общей цели функционирования системы, локальной цели своей деятельности, знаниями о способах достижения локальной и общей целей, а также данными о своём состоянии и ресурсных ограничениях.

При планировании действий БЛА широко используются методы линейного программирования, ветвей и границ, вероятностные методы, эволюционные и генетические алгоритмы, и др. [4].

Следует отметить, что перспективным подходом к решению задач планирования является использование подхода программирования в ограничениях (Constraint Programming), относящегося к области искусственного интеллекта [7–10, 12–16]. В рамках этого подхода применяются различные методы удовлетворения ограничений, включая классические методы оптимизации, вероятностные методы, методы нечёткой логики и мягких вычислений, эвристические методы и др. [3, 7–10]. Решение смешанных систем ограничений (уравнений и неравенств, линейных и нелинейных, логических выражений и др.) при наличии неопределённых значений параметров плана обеспечивается, в частности, методом недоопределённых моделей [3].

Процесс планирования, как правило, предполагает участие в нём лиц, принимающих решения, которым должны быть предоставлены возможности сравнения и оценки вариантов плана, их корректировки, выбора и утверждения наиболее предпочтительного варианта.

Для этого должен быть создан интеллектуальный пользовательский интерфейс, обеспечивающий взаимодействие лиц, принимающих решения, с системой мониторинга. Такой пользовательский интерфейс должен предоставлять лицам, принимающим решения следующие возможности:

- наглядного представления плана мониторинга в процессе его построения, оптимизации, контроля выполнения и коррекции;
- привлечения внимания к элементам плана мониторинга или условиям его выполнения, наиболее значимым для текущего этапа работы системы;
- внесения изменений в план мониторинга с отображением прогноза их последствий.

В создании подобных пользовательских интерфейсов важную роль играют методы когнитивной компьютерной графики [17–19].

III. ОБОСНОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ПЛАНИРОВАНИЮ МОНИТОРИНГА ПРОСТРАНСТВА ГРУППИРОВКАМИ БЛА

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о том, что при разработке методов и алгоритмов интеллектуаль-

ного планирования мониторинга пространства группировкой БЛА целесообразно исследовать два подхода:

- централизованного интеллектуального планирования на основе методов программирования в ограничениях, представления и обработки НЕ-факторов данных и знаний, а также когнитивной компьютерной графики;
- многоагентного интеллектуального планирования.

Также целесообразно провести сравнительное исследование обоих подходов с целью определения границ их применимости в задачах построения, оптимизации, контроля выполнения и коррекции плана мониторинга области пространства группировкой БЛА.

Среди методов программирования в ограничениях следует отдать предпочтение методам распространения ограничений, допускающим использование мягких ограничений, данных, содержащих НЕ-факторы, способных решать смешанные системы ограничений. В частности целесообразно исследовать возможность применения метода недоопределённых моделей [3]. При этом может быть использован опыт решения задач недоопределённого календарно-ресурсного планирования [20, 21].

Для информационного обеспечения планирования мониторинга могут быть применены методы и алгоритмы выявления групп взаимодействующих объектов на основе неопределённых количественных и качественных данных [22–24].

При создании интеллектуального пользовательского интерфейса, обеспечивающего взаимодействие лиц, принимающих решения, с системой мониторинга в процессе работы с планом могут быть использованы методы и алгоритмы, реализованные в прикладных системах различного назначения, основанных на методе недоопределённых моделей [25–26].

Для исследования возможности применения указанных методов в рамках подхода централизованного интеллектуального планирования должен быть разработан прототип системы планирования мониторинга, обеспечивающий следующие возможности:

- решения задачи построения плана мониторинга как задачи удовлетворения ограничений в общем виде;
- построения планов мониторинга с большим количеством разнотипных параметров (действительных, целочисленных, логических);
- построения планов мониторинга с большим количеством разнотипных ограничений (линейных и нелинейных, уравнений и неравенств, логических выражений);
- построения планов мониторинга с переопределёнными и недоопределёнными системами ограничений;
- коррекции планов мониторинга в процессе их выполнения с учётом изменившихся условий.

Для реализации многоагентного подхода необходимо разработать прототип многоагентной системы планирования ресурсов авиационной системы мониторинга окружающего пространства. Функционал такой системы должен включать в себя:

- оперативную реакцию на важные события;
- динамическое планирование и адаптивное перепланирование заказов и ресурсов;
- взаимодействие с клиентами, менеджерами и исполнителями для согласования принимаемых решений;
- мониторинг исполнения построенных планов и бизнес-процессов заказчика;
- перепланирование расписаний в случае рассогласования между планом и фактом.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены задачи планирования мониторинга области пространства с помощью группировки БЛА.

Проведённый анализ методов планирования действий группировок БЛА позволил обосновать выбор двух основных подходов к решению задачи интеллектуального планирования мониторинга пространства группировкой БЛА. Первый из них предполагает централизованное планирование на основе методов программирования в ограничениях, допускающих использование мягких ограничений, данных, содержащих НЕ-факторы, и способных решать смешанные системы ограничений. Второй подход предполагает использование методов многоагентного интеллектуального планирования.

Актуальной является задача сравнительного исследования этих подходов с целью определения границ их применимости. Для этого необходимо разработать прототипы системы интеллектуального планирования мониторинга пространства группировкой БЛА на основе методов программирования в ограничениях и многоагентной системы планирования.

Кроме того, для реализации взаимодействия лиц, принимающих решения, с системами мониторинга целесообразно разработать средства интеллектуального пользовательского интерфейса на основе методов когнитивной компьютерной графики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. В 2-х кн.: Кн. 1. Принципы построения и особенности применения комплексов с БЛА: Монография / Под ред. Вербы В.С., Б.Г. Татарского. М.: Радиотехника, 2016. 512 с.
- [2] Липатов А.А., Миляков Д.А. Задачи управления и информационного обеспечения при применении групп беспилотных летательных аппаратов // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 сентября 2014 г., Казань, Россия): Труды конференции. Т. 3. Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. С. 298–306.

- [3] Нариньяни А.С. Недоопределенность в системе представления и обработки знаний // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. 1986. № 5. С. 3–28.
- [4] Kimon P. Valavanis • George J. Vachtsevanos. Editors. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. DOI 10.1007/978-90-481-9707-1
- [5] Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: монография. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2015. 444 с. (Серия Современная прикладная математика и информатика).
- [6] Моисеев В.С. Групповое применение беспилотных летательных аппаратов: монография. Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2017. 572 с. (Серия Современная прикладная математика и информатика).
- [7] Handbook of Constraint Programming. Edited by F. Rossi, P. van Beek and T. Walsh. 2006. Elsevier.
- [8] Dechter R. Constraint processing. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003. 481 p.
- [9] Freuder E. C., Mackworth A. K. Constraint satisfaction: An emerging paradigm // Foundations of Artificial Intelligence. 2006. V. 2. P. 13–27.
- [10] О.А. Щербина Удовлетворение ограничений и программирование в ограничениях. Препринт. 2012. Электронный ресурс. http://soa7.socionet.ru/files/shcherbina_csp_review.pdf Дата обращения 22.04.2018
- [11] X. Cheng, D. Cao, and C. Li. Survey of cooperative path planning for multiple unmanned aerial vehicles. Applied Mechanics Materials, 2014(667-679):388, 2014.
- [12] Kautz H., Selman B. Planning as Satisfiability // Proceedings of European Conference on Artificial Intelligence ECAI-92 (Vienna, 1992). Chichester: John Wiley and Sons, 1992. P. 359–363.
- [13] M. Ghallab, D. Nau, and P. Traverso. Automated Planning: Theory and Practice. Morgan Kaufmann, 2004.
- [14] Ph. Baptiste and S. Demassey. Tight LP bounds for resource constrained project scheduling. OR Spektrum, 26:251–262, 2004
- [15] C. Schwindt. Resource Allocation in Project Management. Springer-Verlag, 2005.
- [16] E. Danna and C. Le Pape. Accelerating branch-and-price with local search: A case study on the vehicle routing problem with time windows. In G. Desaulniers, J. Desrosiers, and M. M. Solomon, editors, Column Generation, pages 99–130. Kluwer Academic Publishers, 2005.
- [17] Зенкин А.А. Когнитивная компьютерная графика. / А.А.Зенкин; М.: Наука, 1991.
- [18] Поспелов, Д.А. Когнитивная графика – окно в новый мир / Д.А. Поспелов // Программные продукты и системы. 1992. №3. С. 4–6.
- [19] Cook D., Swaine D.E. Interactive and Dynamic Graphics For Data Analysis. Spriger, 2009. 345 p.
- [20] Гофман И.Д., Инишев Д.А., Липатов А.А., Смирнов И.Е., Смирнов К.Е. Актуальные задачи развития технологии недоопределённого календарного планирования Time-Ex // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2008, 28 сентября – 3 октября 2008 г., Дубна, Россия). Труды конференции. Т. 1. М.: ЛЕНАНД, 2008. С. 68–76.
- [21] Нариньяни А.С., Гофман И.Д., Липатов А.А., Инишев Д.А. Интеллектуальная технология недоопределённого календарно-ресурсного планирования и управления проектами Time-Ex // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2010, №2. 32 с.
- [22] Липатов А.А. Метод и алгоритм формирования групп наблюдаемых воздушных объектов с неточными координатами состояния. // Радиотехника. 2011, №8. С. 80–83.
- [23] Верба В.С., Липатов А.А., Федисов А.Н. Выявление групп воздушных объектов с учётом неопределённости их координат состояния. // Успехи современной радиоэлектроники. 2014, №1. С. 24–29.
- [24] Липатов А.А., Ушаков В.Н., Никитина М.В. Методы выявления однородных и неоднородных групп объектов на основе неопределённых качественных данных // Труды СПИИ РАН. 2016. Вып. 4(47). С. 130–143.
- [25] Липатов А.А. Методы и программные средства интеллектуализации пользовательского интерфейса в приложении к системам недоопределённых вычислений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008, №3. С. 16–27.
- [26] Липатов А.А. Интерактивная компьютерная графика в системах недоопределённых вычислений // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2011, №6. С. 26–29.