



Литература

1. Ахметов Р.Н. Цифровизации производства и жизненного цикла изделий в рамках стратегии цифровой трансформации ракетно-космической отрасли на основе единого виртуального электронного паспорта РКН «Союз-2» / Р.Н. Ахметов, М.Ю. Охтилев, А.Ю. Россиев // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» (VI Козловские чтения). – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2019 Т.1. – С. 26-28.
2. Чурилин С.В., Хаймович И.Н. Конфликт интересов при внедрении информационных технологий в конструкторско-технологическую подготовку производства // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2020. Т. 22. № 5 (97). С. 36-40.
3. ГОСТ 2.111-2013. Единая система конструкторской документации. Нормоконтроль. [Текст]. – Введ. 2014–06–01. – М.: Стандартинформ, 2018.
4. ГОСТ 3.1116-2011. Единая система технологической документации. Нормоконтроль. [Текст]. – Введ. 2012–01–01. – М.: Стандартинформ, 2019.

М.М. Хрусталёв, А.М. Ольшанский

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ СТАЯМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

(НИУ «Московский Авиационный Институт (МАИ)», АО «НИИАС»)

В настоящее время значительный интерес в связи со все большим распространением вызывают беспилотные летательные аппараты, позволяющие решить различные задачи. Соответственно, становится актуальным вопрос синтеза стратегий оптимального управления ими в различных условиях. В [1] проблема формулируется следующим образом: рассматривается плоское движение N объектов в соответствии с заданными уравнениями, условия и ограничения формулируются в виде функции потенциала, слагаемые которой отвечают за достижение цели, за несоударение друг с другом и за полет над разрешенными зонами, избегая запретных. Необходимо выработать решение, позволяющее управлять такой стаей при ограничении на максимальную скорость полета.

Цель настоящей работы – исследовать возможные пути решения данной задачи. Заметим, что сама формулировка в [1] имеет потенциал для развития, связанный с необходимостью дополнительного учета ускорения движения летательных аппаратов. Так, в работе [2] в процессе поиска управления вторая производная все же учитывается, хотя ограничения по скорости также присутствуют. Полученные аналитические решения для управления с обратной связью и для программного управления реализованы в виде скрипта в MatLAB.

Сейчас все большую популярность завоевывает роевой подход в силу своей удобной реализации во многих языках программирования [5], а также возможности отказаться от необходимости применять принцип максимума при



решении задачи автоматического управления в условиях, когда функционал качества управления сложный.

В развитие упомянутого в [1, 5] роевого подхода можно отметить работу [3], в которой управление синтезировано на основе гибрида ИНС глубокого обучения и роевого интеллекта. В предложенном решении ИНС глубокого обучения используются, чтобы обучиться взаимодействию между БПЛА и ориентируются при этом лишь на положения соседних дронов и их скорости. Метод хорошо обобщается и сходится для различного количества соседних аппаратов, вычислительно эффективен и может работать для стаи размером больше, чем 2. На вход ИНС подаются координаты и скорости соседних дронов, а выходом являются силы остаточные взаимодействия между аппаратами, традиционно не учитываемые в обычных моделях аэродинамики. Используемая для этого ИНС должна удовлетворять условию непрерывности Липшица, в этом случае траектория поведения ИНС как системы не покинет заданного множества и обеспечит нам определенную сходимости.

Указанный подход можно назвать одним из наиболее новых с точки зрения построения принципиальной архитектуры модели системы управления. Рои аппаратов упоминаются в работе [4] как одна из форм применения такой техники. Описание же использования функцией потенциалов в [4] следующее: «главными достоинствами являются невысокая вычислительная сложность и простота реализации, а также возможность строгого математического анализа системы в целом»[4, с.34].

Недостатки метода связываются с возможностью попадания в локальные минимумы потенциалов, при которых БПЛА не сможет сдвинуться с места, попав в локальный минимум. Поэтому в [1] для простоты используется функция потенциалов с глобальным минимумом.

В [4] упоминаются также поведенческие подходы, метод виртуальных структур, подход на основе консенсуса, служащий примером мультиагентного взаимодействия и др. Вычислительно они сложнее потенциального подхода, так как требуют процедур обмена информацией о состоянии соседних дронов стаи.

С учетом вышеизложенного в качестве основного подхода выбирается потенциальный метод с возможностью учета, в дальнейшем, второй производной от координат БПЛА. Для реализации этого метода создана принципиальная конструкция на языке программирования R:

```
library("deSolve")
```

Данная строка подключает пакет deSolve (если он не установлен, его требуется установить из хранилища CRAN).

```
eq3 <- function(t, y, param) {
```

```
  expres <- expression(t^2) # в данный операнд подставляется любой вид  
функции потенциала. Очевидно, что его необходимо доопределить в зависимости от условий конкретной задачи.
```

```
  return(list(c(
```



`eval(D(expres,"t"))` # эта строчка берет производную (первую) и вычисляет ее в точке t

```
))  
}
```

Далее задаются начальные условия в форме Коши:

```
y0 <- 1
```

устанавливается время интегрирования системы в виде последовательности с заданным шагом by :

```
t <- seq(0, 10, by = 0.1)
```

Ищется решение системы:

```
sol <- ode(y = y0, times = t, func = eq3)
```

Таким образом, создан инструмент для реализации функций потенциала в задаче синтеза управления беспилотными летательными аппаратами в потенциальном поле.

Литература

1. Хрусталёв М.М., Олышанский А.М. Синтез гибких стратегий управления стаями подвижных беспилотных роботов при наличии ограничения на скорость движения// Материалы XIII Международной конференции по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММАГ'2020), 6–13 сентября 2020 г., Алушта. — М.: Изд-во МАИ, 2020. — 784 с.: ил. ISBN 978-5-4316-0699-1, с.724-725.
2. Гусаров, А.А. Автономное управление движением БПЛА на расчетной траектории. ВКР ...01.03.00 – Фундаментальная информатика и информационные технологии. – СПб., СПбГУ, 2017. – 40 с.
3. Guanya Shi, Wolfgang Hönig, Yisong Yue, Soon-Jo Chung. Neural-swarm: decentralized close-proximity multirotor control using learned interactions//arXiv:2003.02992v1 [cs.RO] 6 Mar 2020
4. Муслимов, Т.З. Методы и алгоритмы группового управления беспилотными летательными аппаратами самолетного типа//дис...к.т.н. ..05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы)//Уфа, УГАТУ, 2020. – 164 с.
5. Пичужкина, А.В. Метод роя частиц в задачах оптимальной ориентации спутников...ВКР... 03.04.01 Прикладные математика и физика//М. ФУПМ МФТИ, 2017. – 35 с.