

Бурый А.С., Фомичев И.Д. Мультиагентные модели управления группами автономных летательных аппаратов [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2013. – № 2(12).

УДК 004.414.23

## **МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГРУППАМИ АВТОНОМНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Бурый А.С.**, д.т.н., ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»  
**Фомичев И.Д.**, инженер-конструктор ОАО «ОКБ Сухого»

*В статье рассматриваются основные тенденции развития современных методов планирования и управления беспилотными летательными аппаратами на основе многоагентного подхода и идей самоорганизации с применением роевого интеллекта.*

**Ключевые слова:** мультиагентные системы, беспилотные летательные аппараты, алгоритм роевого интеллекта.

UDC 004.414.23

## **MULTIAGENT MODELS OF CONTROL OF GROUP AUTONOMOUS AIRCRAFTS**

**Buryu A.S.**, doctor of technical sciences, FSUE «STANDARTINFORM»  
**Fomichev I.D.**, engineer-designer of the «OAO Sukhoi»

*The paper article considers the main trends in the development of modern methods of planning and control of unmanned aerial vehicles based on multi-agent approach and ideas of self-organization using swarm intelligence.*

**Keywords:** multi-agent systems, unmanned aerial vehicles, swarm intelligence algorithm.

Вопросам группового управления объектами социальной, экономической, технико-информационной и других сфер современного общества уделяется все больше внимания. Актуальным здесь является сохранение целостности объектов группы, обеспечение решения поставленных группе задач при различных мешающих факторах.

К общим особенностям управления в составе группы можно отнести следующие [1]:

- управление структурами (группами), как правило, сочетает принципы централизованного (вертикального) и децентрализованного (горизонтального) управления, постепенно сохраняя за центром только обеспечения общесистемных функций группы;

- группы нижнего уровня могут иметь децентрализованное управление с централизованным параллельным управлением объектами группы с верхнего уровня или с выделением в группе централизованно управляемого ведущего объекта;

- структура групп объектов и управление ими определяются общими целями и при изменении последних соответственно изменяются. Сами цели могут быть одиночными терминальными, дискретными циклическими и непрерывно меняющимися (траекторными).

Следует заметить, что совершенствование методов адаптивного и интеллектуального управления робототехническими системами, в которых все активнее развивается тенденция децентрализации, путем распределения между отдельными подсистемами задач обработки сенсорной информации, формирования моделей среды, операций коммуникаций, диагностики [2] и т.д., позволяет существенно расширить сферу применения автономных комплексов и систем. В данной работе будем рассматривать особенности управления группой беспилотных летательных аппаратов.

При управлении движением группы беспилотных летательных аппаратов (БЛА) актуальным является обеспечение полета в строю с дистанциями и интервалами в пределах 30-120 метров, что обеспечивается за счет разработки алгоритмов оценивания вектора состояния БЛА, по результатам измерений относительного движения аппаратов в группе [3]. Перспективным направлением развития алгоритмов управления является использование систем межсамолетной навигации (СМСН) для БЛА. Для этого задача решается по трем направлениям: выбор алгоритмов управления

и обработки информации при полете БЛА в строю; поддержание безопасности при движении БЛА на малых дистанциях; выбор технических средств для обеспечения полета ЛА.

Местоположение ЛА задается вектором  $\bar{r}$  в выбранной системе координат (СК). Тогда вектор дальности –  $D$  между ЛА 1 и ЛА 2 определяется по известной формуле (рис. 1):

$$\bar{D}(t) = \bar{r}_1(t) - \bar{r}_2(t). \quad (1)$$

где  $t$  – время.

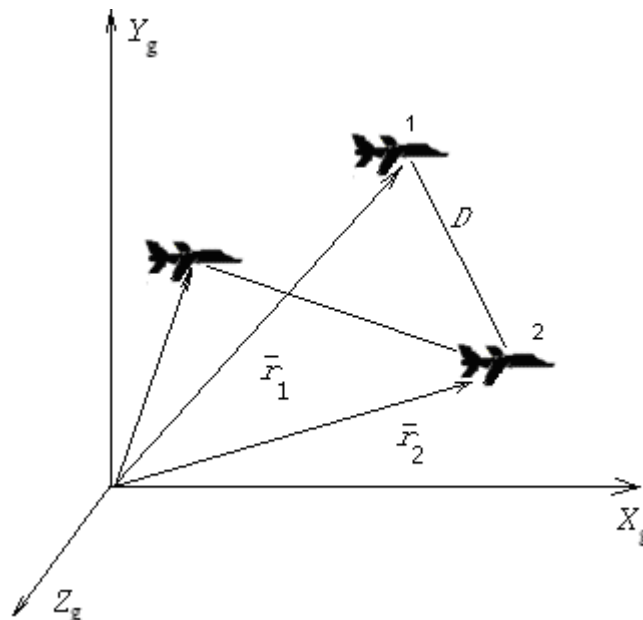


Рис. 1. Геометрическая интерпретация выражения (1)

В [3] приводится алгоритм оценки параметров относительного движения ЛА на основе алгоритма калмановской фильтрации вектора состояния ЛА  $\bar{a}$ , включающего составляющие скорости и ускорения соответственно:  $\bar{a} = \|\Delta V_x, \Delta V_y, \Delta V_z, \Delta a_x, \Delta a_y, \Delta a_z\|$ .

С ростом числа ЛА в группе возникает задача обеспечения коммуникаций: каждый с каждым, центр – с каждым. В этой связи еще больший интерес вызывает применение децентрализации управления. В этом случае в составе группы имеется платформа [4], осуществляющая точные расчетные функции по определению местоположения, связи с центром и

контролирующая динамику движения группы, путем связи с каждым участником группы по определенному алгоритму.

Существующие системы управления группой БПЛА в основном не позволяют автономно ставить новые задачи, изменять сценарии выполнения поставленных задач. Примерами таких задач могут быть выход из строя части ресурсов ЛА, необходимость изменения сценария из-за появления новой информации. Для решения подобных задач применяются мультиагентные технологии [5]. При этом под агентом понимается программный объект, способный воспринимать ситуацию, принимать решение и взаимодействовать с подобными объектами. Характерными особенностями применения аппарата многоагентных систем являются следующие [6].

1. Сетевая организация с очень большим числом узлов (БПЛА).
2. Большое число источников, генерирующих огромные потоки данных, которые технически невозможно хранить в каком-либо централизованном хранилище. Для последующего решения задач анализа и принятия решений в архитектуре с централизованной обработкой могут потребоваться вычислительные средства, реализовать которые на борту БПЛА проблематично.
3. Открытость систем, когда состав узлов сети и ее топология постоянно изменяются. Действительно, мобильные устройства могут включаться и выключаться, сенсоры сети могут выходить из строя и прекращать работу из-за истощения источников энергии. БПЛА, формирующие распределенную систему наблюдения, могут прекращать свое существование в любой момент времени.
4. Агенты обладают ограниченной компетенцией и возможностями, что может быть восполнено путем привлечения знаний и функциональных возможностей других агентов, действия которых должны быть синхронизированы при решении общей проблемы, что рассматривается в рамках распределенных сетевых организаций [7].

Агенты существуют и принимают решения в условиях неопределенности, когда каждый агент обладает ограниченной информацией, что влечет необходимость информационного обмена между ними, что не всегда реализуемо, например, при реализации скрытого выполнения целей.

В этих условиях управления движением БПЛА используют вероятностно-направленные алгоритмы роевого интеллекта (*Swarm intelligence*) [8]. Под роевым интеллектом понимаются самоорганизующиеся системы, состоящие из множества агентов, подчиняющихся простым правилам поведения, взаимодействие которых определяет коллективную адаптацию для решения поставленной цели. Алгоритмы управления имеют своими аналогами поведение насекомых, рыб, которым не под силу в одиночку решать сложные задачи, но за счет коллективного поведения результат получается весомым.

В ряде зарубежных источников (например, в [9]) такие ЛА называются микро-БПЛА (micro-UAV). Каждый  $i$ -й ЛА в составе роя характеризуется вектором положения  $x$  и вектором скорости  $V_i$ . Для каждого положения в пространстве вычисляется значение целевой функции и вычисляются следующие итерации

$$\begin{aligned} X_{i,t+1} &= X_{i,t} + V_{i,t}, \\ V_{i,t+1} &= V_{i,t} + U[0, \beta] \times (x_{i,t}^b - x_{i,t}), \end{aligned}$$

где  $t$  – момент времени,  $i$  – номер итерации;  $x_{i,t}^b$  – вектор координат лучшего элемента (ЛА);  $U[0, \beta]$  – вектор псевдослучайных чисел на интервале  $[0, \beta]$ .

Подобные алгоритмы позволяют за меньшее число шагов определять оптимальное решение и довольно быстро выходить из локальных экстремумов [8].

Формирование роя подчинено набору правил [10]:

1) правило *связи* – обеспечивает связность БПЛА, ориентируясь на их векторы ускорения в направлении местного центра роя при условии, что расстояние между ними больше некоторого заданного значения;

2) правило *выравнивания* – позволяет БПЛА двигаться со скоростями, с какими движутся соседи;

3) правило *разделения* – позволяет каждому БПЛА сохранять дистанцию между собой и своими соседями больше минимально необходимой для того, чтобы предотвратить перекрытие датчиков;

4) правило *избегания целей* – обеспечивает приближение к цели на расстояние, не ближе заданного (например, до получения определенных команд).

Алгоритмы, построенные на этих правилах, позволяют контролировать группу БПЛА в процессе движения, поиска целей, развертывания в определенный порядок, выполнения целевых задач. Результаты моделирования показывают, что, используя этот механизм, рой БПЛА демонстрирует поведение, достигаемое за счет самоорганизации и адаптации к внешним условиям, что значительно упрощает процесс планирования в традиционном его понимании.

### **Список использованных источников и литературы**

1. Юревич Е.И. О проблеме группового управления роботами // Мехатроника, автоматизация, управление.– 2004. – № 2. – С. 9-13.
2. Бурый А.С. Введение в теорию синтеза отказоустойчивых многозвенных систем переработки навигационно-баллистической информации. – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 1999. – 297 с.
3. Абакумов А.В. Шкаев А.Г. Групповой полет летательных аппаратов – алгоритм обработки информации относительного движения // <http://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=94283> (дата обращения 06.02.2013)
4. Ren W., Chao H., Bourgeois W., Sorensen N., Chen Y. Experimental Validation of Consensus Algorithms for Multivehicle // Transactions on Control Systems Technology. 2008. – Vol. 16. – № 4. – P. 745-752.
5. Амелин К.С., Антал Е.И., Васильев В.И., Граничина Н.О. Адаптивное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов // Стохастическая оптимизация в информатике. – 2009. – Т. 5. – С. 157-166.
6. Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. Прикладные многоагентные системы группового управления // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – № 2. – С. 3-24.

7. Бурый А.С. Комплексный синтез информационно-сетевых инфраструктур // Транспортное дело России, 2011. – № 9. – С. 57-59.

8. Курейчик В.М., Кажаров А.А. Алгоритмы эволюционного роевого интеллекта в решении задачи разбиения графа // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем. – 2012. Сборник трудов / Под общ. ред. академика РАН А.Л. Стемпковского. – М.: ИППИ РАН, 2012. – С. 237-242.

9. Price I.C., Lamont G.B. GA Directed Self-Organized Search and Attack UAV Swarms// Proc. Winter Simulation Conference, 2006. – P. 1307-1314.

10. Cheng H., Page J., Olsen J. Dynamic Mission Control for UAV Swarm via Task Stimulus Approach // American Journal of Intelligent Systems. – 2012. – № 2(7). – P. 177-183.

© Бурый А.С.  
© Фомичев И.Д.