

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2023)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/YBCY7199>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/QSXU8351>

***Т. Б. Керібәева¹, К. Алібекқызы², К. Т. Кошекөв³,
А. Т. Байділдіна⁴, В. В. Семенюк⁵**

^{1,3}АО «Академия Гражданской Авиации», Қазақстан, Алматы

^{2,4}ВКТУ имени Д. Серикбаева, Қазақстан, г. Усть-Каменогорск

⁵Северо-Қазақстанский университет имени М. Козыбаева,

Республика Қазақстан, г. Петропавловск.

e-mail: talshyn.keribayeva@agakaz.kz

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ГРУПП БПЛА

В работе рассматривается математическая модель определения координат интегрированных групп БПЛА. В статье анализируется сфера применения беспилотных летательных аппаратов. Рассматриваются перспективные области беспилотных авиационных систем, интегрировавшие комплекс дистанционно-управляемых летательных аппаратов. В статье предложены для решения проблем устойчивые структуры интегрированных групп. Исследован метод моделирования интегрированных групп БПЛА, включающий математическое описание и компьютерный эксперимент. Анализируются структуры интегрированных групп и при формировании которых учитывались критерии устойчивости топологии при перемещениях и надежности каналов передачи данных, построенных на основе VLC технологий. При получении результатов предложены математическое описание и разработаны компьютерные модели интегрированных групп БПЛА соответствующие критериям устойчивости топологии при перемещениях и надежности каналов передачи данных, построенных на основе VLC технологий. В работе описана в программе Matlab R2020b построены компьютерные модели роев БПЛА в трехмерной системе координат. Разработка моделей включала три этапа.

Исследованы следующие этапы: кинематическая уравнения, сила взаимодействия, построение компьютерного моделирования. В работе рассмотрены виды топологии интегрированной группы БПЛА.

Цель данной статьи разработать математические модели и построить компьютерные модели роев БПЛА.

Ключевые слова: метод, беспилотные летательные аппараты, управление, сеть, модель, координата.

Введение

В настоящее время масштабно внедряются технологии, соответствующие направлению Индустрия 4.0, на основе применения технологий искусственного интеллекта и инфокоммуникационных систем [1].

В дальнейшем, под таким объединением БПЛА будет пониматься интегрированная группа, или рой, – самоорганизующаяся система, включающая главный управляющий элемент (ведущий) и комплекс управляемых летательных аппаратов (ведомых), коммуницирующих посредством специализированных каналов передачи данных для формирования коллективно-выработанных решений [2,3,4,5].

Применение интегрированных групп БПЛА в различных гражданских приложениях [6] привело к увеличению эффективности решения ряда прикладных задач. Однако имеется ряд проблем, связанных с нарушением структур роев, сложностью преодоления естественных и искусственных препятствий, искажением формы сигналов при передаче информации по причине зависимости от метеорологических параметров и влияния внешних организованных угроз [7,8].

Материалы и методы

Работа состоит из аналитических исследований, разработке математических описаний на основе координат элементов интегрированных групп БПЛА и компьютерном моделировании.

В результате аналитических исследований были предложены структуры интегрированных групп, при формировании которых учитывались критерии устойчивости топологии [9,10] при перемещениях и надежности каналов передачи данных, построенных на основе VLC технологий.

Структуры интегрированных групп БПЛА бывают двух видов. К первой группе относятся пространственные, характеризующиеся двумя координатами рой $V=\{x,y\}$:

иерархическая, рисунок 1,а;

круговая, рисунок 1,б.

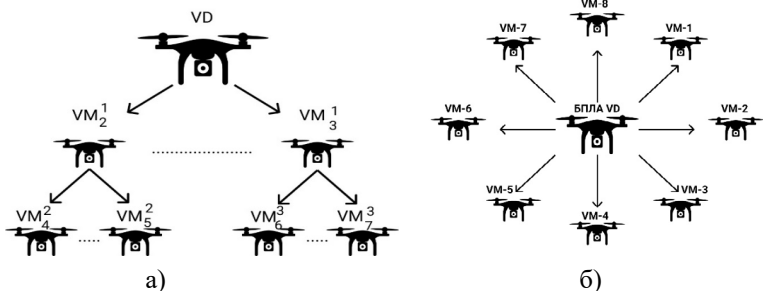


Рисунок 1 – Пространственные структуры интегрированной группы БПЛА

Ко второму виду относятся характеризующиеся тремя координатами объемные рои $V = \{x, y, z\}$:
 сферическая, рисунок 2,в;
 кубическая, рисунок 2,г.

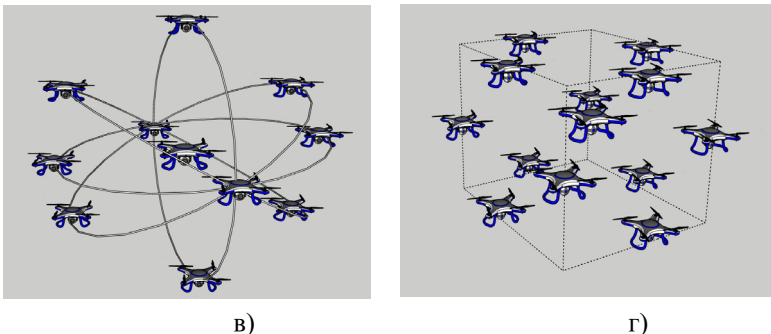


Рисунок 2 – Объемные структуры интегрированной группы БПЛА

Авторы статьи приняли следующие обозначения: VD-ведущий и VM-ведомые БПЛА. Летательные аппараты будем считать материальными точками. Очевидно, если их размеры соизмеримы с расстоянием между ними, то в расчетах необходимо учитывать поправки на их размеры и от какой точки конструкции считается расстояние между объектами.

Математическое описание интегрированной группы БПЛА базируется на следующей зависимости.

$$V = \{VD; (VM_1^1, \dots, VM_j^i, \dots, VM_M^N)\} \tag{1}$$

где $VD = \{x, y, z\}$ координаты ведущего БПЛА;
 VM_j^i – координаты ведомого БПЛА;
 M – количество уровней в структуре интегрированной группы БПЛА;
 i – количество БПЛА в уровне;
 j – порядковый номер уровня структуры;
 порядковый номер БПЛА в заданном уровне.

Рассмотрим математическое описание каждой структуры интегрированной группы, обозначив через d – расстояние между БПЛА, т.е. максимальное возможное расстояние, при котором сигнал управления не искажается.

Иерархическая структура на рисунке 1,а имеет топологию топологию, представленную на рисунке 3. Рассмотрим иерархическую структуры для случая, когда $N = 2, M = 4$

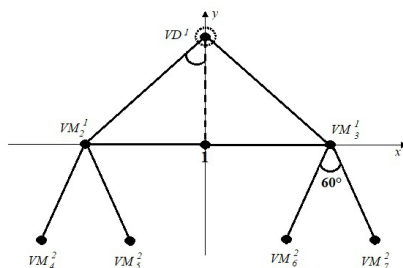


Рисунок 3 – Иерархическая топология интегрированной группы БПЛА при $N = 2, M = 4$

В соответствии с формулой (1), примем следующее условие:

$$[VD^1 - VM_2^1] = [VD^1 - VM_3^1] = [VM_2^1 - VM_4^2] = [VM_2^1 * VM_5^2] = [VM_3^1 - VM_6^2] = [VM_3^1 - VM_7^2] = [VM_4^2 - VM_5^2] = [VM_5^2 * VM_6^2] = [VM_6^2 - VM_7^2] = d,$$

$$\angle 736 = \angle 524 = 60^\circ$$

т.е. $\Delta VM_2^1 VM_4^2 VM_5^2$ и $\Delta VM_3^1 VM_6^2 VM_7^2$ – равносторонние, тогда расстояние

$$[VM_2^1 - VM_3^1] = 2d.$$

Совместим начало прямоугольной системы координат с VD^1 , т.е. $VD^1(0; 0)$

\Rightarrow Координаты $VM_2^1 = (-d; 0)$; $VM_3^1 = (d; 0)$ если мы хотим, чтобы расстояние $[VD^1 - VM_2^1] = [VD^1 - VM_3^1] = d$ и при прочих предыдущих предположениях.

Т.е. VD^1 будет лежать на одной прямой с точками и VM_2^1 и VM_3^1 ($\angle\beta = \pi = 180^\circ$).

Если нам нужно поднять VD^1 над VM_2^1 и VM_3^1 то $\angle\beta$ станет меньше 180° и чем меньше он будет, тем больше будет расстояние $[VD^1 - VM_2^1]$ и $[VD^1 - VM_3^1]$.

Пока останавливаемся на случае $\angle\beta = 180^\circ$, тогда математическое описание иерархической структуры будет иметь следующий вид:

$$V^1 = \{VD^1; (VM_2^1, VM_3^1, VM_4^2, VM_5^2, VM_6^3, VM_7^3)\}, \quad (2)$$

где $VD^1 = (0; 0)$, $VM_2^1 = (-d; 0)$,

$$VM_3^1 = (d; 0), VM_4^2 = \left(-\frac{3}{2}d; -\frac{\sqrt{3}}{2}d\right),$$

$$VM_5^2 = \left(-\frac{1}{2}d; -\frac{\sqrt{3}}{2}d\right), VM_6^3 = \left(\frac{1}{2}d; -\frac{\sqrt{3}}{2}d\right), VM_7^3 = \left(\frac{3}{2}d; -\frac{\sqrt{3}}{2}d\right).$$

Далее рассмотрим круговую структуру интегрированной группы БПЛА с топологией $N = 1, M = 8$, представленной на рисунке 4

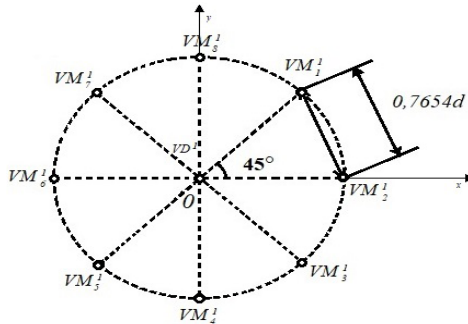


Рисунок 4 – Топология круговая структуры интегрированной группы БПЛА

В соответствии с формулой (1), примем условие, что расстояние между летательными аппаратами равны между собой:

$$\begin{aligned} [VD^1 - VM_1^1] &= [VD^1 - VM_2^1] = [VD^1 - VM_3^1] = [VD^1 - VM_4^1] = [VD^1 - VM_5^1] \\ &= [VD^1 - VM_6^1] = [VD^1 - VM_7^1] = [VD^1 - VM_8^1] = d \end{aligned}$$

Математическое описание круговой структуры будет иметь следующий вид:

$$V^2 = \{VD^1; (VM_1^1, VM_2^1, VM_3^1, VM_4^1, VM_5^1, VM_6^1, VM_7^1, VM_8^1)\}, \quad (3)$$

Где $VD^1 = (0; 0)$, $VM_1^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)$, $VM_2^1 = (d; 0)$, $VM_3^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right)$, $VM_4^1 =$

$$(0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d), VM_5^1 = (-\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d), VM_6^1 = (-d; 0),$$

$$VM_7^1 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right), VM_8^1 = (0; d).$$

Следует отметить, что расстояния между ведомыми беспилотниками будут меньше, чем расстояние между ведущий беспилотниками. Так расстояние между VM_1^1 и VM_2^1 и на примере координат точки VD^1 и VM_1^1

$$\begin{aligned} [VM_1^1 - VM_2^1] &= \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}d - d\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d - 0\right)^2} \\ &= \sqrt{\frac{(\sqrt{2}-2)^2}{4}d^2 + \frac{2}{4}d^2} = \frac{d}{2} \sqrt{2 - 4\sqrt{2} + 4 + 2} = \frac{2d}{2} \sqrt{2 - \sqrt{2}} \\ &\approx 0,7654d \end{aligned}$$

Далее рассмотрим сферическую структуру интегрированной группы БПЛА с топологией $N = 1, M = 10$, представленной на рисунке 5.

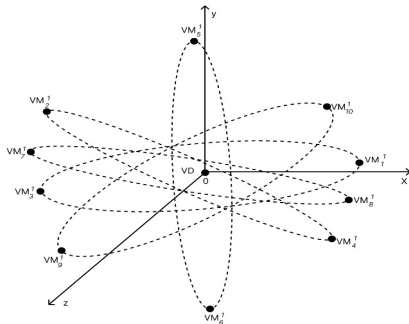


Рисунок 5 – Топология сферической структуры интегрированной группы БПЛА

Предполагаем что начало координат совпадает с VD в $VD^0 = (0; 0; 0)$. Точки $VM_1^1 = (d; 0; 0)$; $VM_2^1 = (0; -d; 0)$; $VM_3^1 = (-d; 0; 0)$; $VM_4^1 = (0; d; 0)$,

так как лежат в плоскости xOy на осях координат соответственно. На плоскости zOy тоже лежат на точки, поэтому их координаты равны $VM_5^1 = (0; 0; d)$; $VM_6^1 = (0; 0; -d)$ Поскольку $VD^1, VM_5^1, VM_7^1, VM_3^1, VM_1^1, VM_6^1, VM_8^1$ лежат в плоскости zOx и при этом точки $VM_{10}^1, VM_7^1, VM_9^1, VM_8^1$ лежат на лучах, составляющие углы с осью Ox $\frac{\pi}{4}; \frac{3\pi}{4}; \frac{5\pi}{4}; \frac{7\pi}{4}$ соответственно.

Математическое описание сферической структуры будет иметь следующий вид:

$$V^3 = \{VD^1; (VM_2^1, VM_3^1, VM_4^1, VM_5^1, VM_6^1, VM_7^1, VM_8^1, VM_9^1, VM_{10}^1)\}, \tag{4}$$

Где $VM_1^1 = (d; 0; 0)$, $VM_2^1 = (0; -d; 0)$, $VM_3^1 = (-d; 0; 0)$,

$VM_4^1 = (0; d; 0)$, $VM_5^1 = (0; 0; d)$, $VM_6^1 = (0; 0; -d)$,

$VM_{10}^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)$, $VM_7^1 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)$,

$VM_9^1 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right)$, $VM_8^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right)$

Расстояние между точками VM_1^1 и VM_{10}^1

$$r = [VM_1^1 - VM_{10}^1] = \sqrt{\left(d - \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)^2 + (0 - 0)^2 + \left(0 - \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)^2} = d\sqrt{(2 - \sqrt{2})} \\ \approx 0,7654d$$

т.е $[VM_1^1 - VM_{10}^1] = [VM_5^1 - VM_{10}^1] = [VM_5^1 - VM_7^1] = [VM_7^1 - VM_3^1] =$
 $[VM_3^1 - VM_9^1] = [VM_9^1 - VM_6^1] = [VM_6^1 - VM_8^1] = [VM_8^1 - VM_{11}^1] \approx 0,7654d < d$

Рассмотрим кубическую структуры интегрированной группы БПЛА с топологией $N = 1, M = 12$, представленной на рисунке 6.

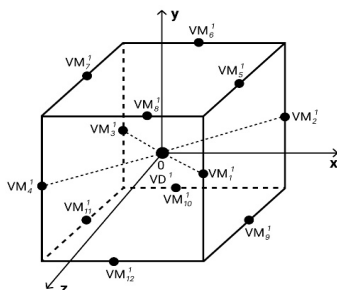


Рисунок 6 – Кубическая топология интегрированных групп БПЛА

Как и в предыдущих схемах VD^1 расположена в начале прямоугольной системы координат $VD^1 = (0; 0; 0)$ VM расположены в серединах ребер куба. Считаем, что диагональ стороны куба равна $2d$. Тогда длина ребра куба равна $\sqrt{2}d$.

Математическое описание иерархической структуры будет иметь следующий вид:

$$V^4 = \{VD^1; (VM_2^1, VM_3^1, VM_4^1, VM_5^1, VM_6^1, VM_7^1, VM_8^1, VM_9^1, VM_{10}^1, VM_{11}^1, VM_{12}^1)\}, \\ \text{Где } VM_1^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d; 0\right), VM_2^1 = \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0\right), \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 VM_3^1 &= \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0\right), VM_4^1 = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d; 0\right), \\
 VM_5^1 &= \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right), VM_6^1 = \left(0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right), \\
 VM_7^1 &= \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right), VM_8^1 = \left(0; \frac{\sqrt{2}}{2}d; \frac{\sqrt{2}}{2}d\right), \\
 VM_9^1 &= \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right), VM_{10}^1 = \left(0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right), \\
 VM_{11}^1 &= \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}d; 0; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right), VM_{12}^1 = \left(0; \frac{\sqrt{2}}{2}d; -\frac{\sqrt{2}}{2}d\right).
 \end{aligned}$$

Ближайшее расстояние между VM составляет самое далекое d например между

$$[VM^1 - VM^5] = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}}{2}d - \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{2}d - 0\right)^2 \left(0 - \frac{\sqrt{2}}{2}d\right)^2} = d$$

Например: $[VM^5 - VM^9] = \sqrt{2}d$

На основе математических описаний в программе Matlab R2020b построены компьютерные модели роев БПЛА в трехмерной системе координат. Разработка моделей включала три этапа.

На первом этапе проводился выбор кинематических уравнений, определяющих движение каждого элемента интегрированной группы.

$$\left\{ \begin{array}{l} R = R_1 * b_1 + R_2 * b_2 + R_3 * b_3 \\ v = R' = R'_1 * b_1 + R'_2 * b_2 + R'_3 * b_3 \\ a = R'' = R''_1 * b_1 + R''_2 * b_2 + R''_3 * b_3 \end{array} \right\}, \quad (6)$$

где b_1 – радиус-вектор;

R – пройденное расстояние;

v – скорость;

a – ускорение.

Динамика каждого элемента α роя описывается вторым законом Ньютона

$$F_{\alpha} = m_{\alpha} * a_{\alpha} \quad (7)$$

где F_{α} – силы, действующие на α элемент роя;

m_{α} – масса элемента роя.

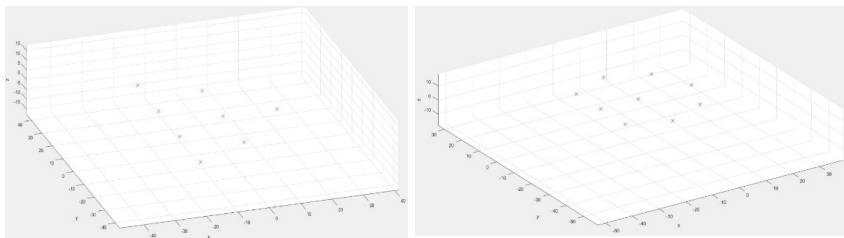
На втором этапе выбиралась формула, описывающая силы взаимодействия F_{α} между элементами роя. Сила взаимодействия между элементом роя α и элементом β представлена формулой (8).

$$F_{\alpha \rightarrow \beta} = [\omega_1 \cdot \exp(-x_1 \cdot \|R\alpha - R\beta\|) - \omega_2 \cdot \exp(-x_2 \cdot \|R\alpha - R\beta\|)] \cdot \frac{R\alpha - R\beta}{\|R\alpha - R\beta\|} \quad (8)$$

где ω_1 и ω_2 описывают притяжение и отталкивание.

Подъемная сила элементов в компьютерном моделировании в данном случае не учитывается, иначе потребуются описание формы, массы и размера каждого БПЛА. Каждый элемент роя представлен как точечная масса, ориентированная в 3D-пространстве.

Третий этап - построение компьютерной модели. В Matlab R2020b созданы массивы, определяющие x, y, z – координаты элементов роя по математическим описаниям интегрированных групп (2) – (5). С помощью функции «scatter3» данные массивы воспроизвели 3D-модели интегрированных групп при $d = 10$ м.



а)

б)

Рисунок 7 – Компьютерные модели структур интегрированных групп БПЛА: а) иерархическая, б) круговая.

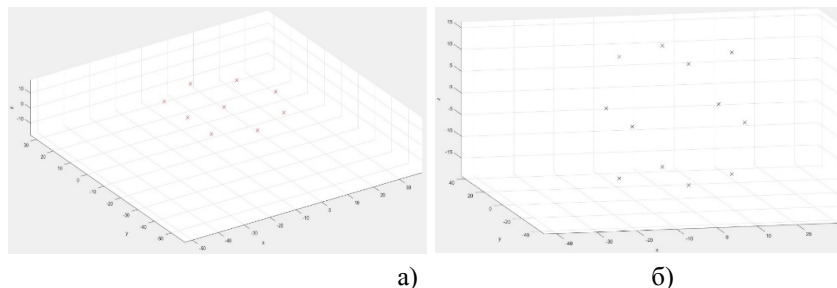


Рисунок 8 – Компьютерные модел структур интегрированных групп БПЛА: а) сферическая, б) кубической

Результаты и обсуждение

Разработаны предложены математические описание и разработаны компьютерные модели интегрированных групп БПЛА соответствующие критериям устойчивости топологии при перемещениях и надежности каналов передачи данных, построенных на основе VLC технологий.

Применение разработанных структур позволит интегрированную группу представлять в виде распределенной системы с правильной интерпретацией внешних данных и решать задачи управления ведомыми БПЛА в условиях неопределенности с помощью гибкой адаптации. Топология – схемотехническое расположение БПЛА в интегрированной группе.

Только одна иерархическая структура интегрированных групп БПЛА может быть многослойной.

Выводы

В данной работе разработана решение математической модели и построены компьютерные модели роев БПЛА.

Используя формулы (1-5) в Matlab R2020b можно моделировать перемещение роев БПЛА по прямым и криволинейным траекториям в пространственной системе координат. Будущие исследования связаны с компьютерным моделированием процесса преодоления искусственных препятствий. При этом практически значимым решением является интегрирование генетических алгоритмов в качестве модуля оптимизации и поиска надежных траекторий движения, минимизирующих вероятность столкновения элементов как между собой, так и с искусственными препятствиями.

Благодарность

Статья выполнена в рамках проекта Министерства образования и науки Республики Казахстан на грантовое финансирование фундаментальных и прикладных научных исследований молодых ученых-постдокторантов по

проекту «Жас ғалым» на 2022-2024 гг. ИРН: AP14972524 – «Разработка VLC технологий в управлении беспилотными транспортными средствами».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Lee J., Bagheri B., Kao H. A.** A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems // *Manufacturing Letters*. 2015. Vol. 3. P. 18–23.

2 **Chung, T. H. et. al.** 50 VS. 50 by 2015: Swarm Vs. Swarm UAV Live-Fly Competition at the Naval Postgraduate School // *AUVSI*. 2013. P. 1792–1811.

3 **Yakimenko, O.A., Chung, T. H.** Extending Autonomy Capabilities for Unmanned Systems with CRUSER // *Proceedings of the 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2012)*. 2012. P. 47–49.

4 **Yang, J. H., Kapolka, M., Chung, T. H.** Autonomy balancing in a manned-unmanned teaming (MUT) swarm attack // *Robot Intelligence Technology and Applications 2012*. 2013. P. 561–569. doi: [Electronic resource]: – 10.1007/978-3-642-37374-9_54

5 **Chung, T. H., Burdick, J. W., Murray, R. M.** A decentralized motion coordination strategy for dynamic target tracking // *Robotics and Automation*. 2006. P. 2416–2422. [Electronic resource]: – doi: 10.1109/ROBOT.2006.1642064

6 **Довгаль, В. А., Довгаль, Д. В.** Модель взаимодействия анализирующих туманно-облачных вычислений для обработки информации о положении беспилотных летательных аппаратов // *Осенние математические чтения в Адыгее: материалы III междунар. науч. конф. Майкоп, 2019*. С. 149–154.

7 **Коваль, Е. Н., Лебедев, И. С.** Общая модель информационной безопасности робототехнических систем // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2013. № 4 (86). С. 153–154.

8 **Муслимов, Т. З., Мунасыпов, Р. А., Хабибуллина, Р. Р.** Интеллектуальная система поддержки принятия решений для группового управления автономными БПЛА // *Proceedings of the 4th International Conference Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016)*. Уфа, 2016. С. 193–195.

9 **Иванов Донат Яковлевич.** Методы роевого интеллекта для управления группами малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. - // *Известия ЮФУ. Технические науки Тематический выпуск №3 (116)*, 20211, стр 221-229

10 **W. Sun, M. Tang, L. Zhang, Z. Huo, L. Shu.** A survey of using swarm intelligence algorithms in IoT // *Sensors*. 2020. Vol. 20. P. 1420.

REFERENCES

- 1 **Lee J., Bagheri B., Kao H. A.** A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems // *Manufacturing Letters*. 2015. Vol. 3. P. 18 – 23.
- 2 **Chung, T. H.** et. al. 50 VS. 50 by 2015: Swarm Vs. Swarm UAV Live-Fly Competition at the Naval Postgraduate School // *AUVSI*. 2013. P. 1792–1811.
- 3 **Yakimenko, O. A., Chung, T. H.** Extending Autonomy Capabilities for Unmanned Systems with CRUSER // *Proceedings of the 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS 2012)*. 2012. P. 47–49.
- 4 **Yang, J. H., Kapolka, M., Chung, T. H.** Autonomy balancing in a manned-unmanned teaming (MUT) swarm attack // *Robot Intelligence Technology and Applications 2012*. 2013. P. 561–569. doi: 10.1007/978-3-642-37374-9_54
- 5 **Chung, T. H., Burdick, J. W., Murray, R. M.** A decentralized motion coordination strategy for dynamic target tracking // *Robotics and Automation*. 2006. P. 2416–2422. doi: 10.1109/ROBOT.2006.1642064
- 6 **Dovgal', V. A., Dovgal', D. V.** Model' vzaimodejstviya analiziruyushchih tumanno-oblachnyh vychislenij dlya obrabotki informacii o polozenii bespilotnyh letatel'nyh apparatov] // *Osenie matematicheskie chteniya v Adygee: materialy III mezhdunar. nauch. konf. Majkop*, 2019. S. 149–154.
- 7 **Koval', E. N., Lebedev, I. S.** [Obshchaya model' informacionnoj bezopasnosti robototekhnicheskikh sistem] // *Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki*. 2013. № 4 (86). S. 153–154.
- 8 **Muslimov, T. Z., Munasypov, R. A., Habibullina, R. R.** [Intellectual'naya sistema podderzhki prinyatiya reshenij dlya gruppovogo upravleniya avtonomnymi BPLA] // *Proceedings of the 4th International Conference Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016)*. Ufa, 2016. S. 193–195.
- 9 **Ivanov Donat Yakovlevich.** [Methods of swarm intelligence for managing groups of small unmanned aerial vehicles] // *Proceedings of the Southern Federal University. Technical sciences Thematic issue No. 3 (116)*, 2021, pp. 221–229
- 10 **W. Sun, M. Tang, L. Zhang, Z. Huo, L. Shu.** A survey of using swarm intelligence algorithms in IoT // *Sensors*. 2020 Vol. 20. P. 1420.

Принято к изданию 18.09.23.

*Т. Б. Керибаева¹, К. Алибекқызы², К.Т. Кошекөв³, А. Т. Байдилдина⁴,
В. В. Семенюк⁵.

^{1,3}АҚ «Азаматтық Авиация Академиясы»,
Қазақстан Республикасы, қ. Алматы;

^{2,4}Д. Серікбаев атындағы ШҚТУ, Қазақстан Республикасы, қ. Өскемен;
⁵М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан Университеті,
Қазақстан Республикасы, қ. Петропавл.
Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

БІРІКТІРІЛГЕН ҰШҚЫШСЫЗ ҰШУ АППАРАТТАРЫ ТОПТАРЫН МОДЕЛЬДЕУ ӘДІСІ

Жұмыста біріктірілген ҰҰА топтарының координаталарын анықтаудың математикалық моделі қарастырылған. Мақалада ұшқышсыз ұшу аппараттарының ауқымы талданады. Қашықтан басқарылатын ұшақтар кешенін біріктірген ұшқышсыз ұшу жүйелерінің перспективалық бағыттары қарастырылады. Мақалада проблемаларды шешу үшін біріктірілген топтардың тұрақты құрылымдары ұсынылады. Математикалық сипаттаманы және компьютерлік экспериментті қоса алғанда, ҰҰА біріктірілген топтарын модельдеу әдісі зерттелді. Біріктірілген топтардың құрылымдары талданды және олардың қалыптасуында қозғалыстар кезінде топологияның тұрақтылығының критерийлері және VLC технологиялары негізінде құрылған деректерді беру арналарының сенімділігі ескерілді. Нәтижелерді алу кезінде математикалық сипаттама ұсынылады және қозғалыстар кезінде топологияның тұрақтылығы және VLC технологиялары негізінде құрастырылған деректерді беру арналарының сенімділігі критерийлеріне сәйкес келетін интеграцияланған ҰҰА топтарының компьютерлік үлгілері әзірленді. Қағазда Matlab R2020b бағдарламасында үш өлшемді координаттар жүйесіндегі ұшқышсыз ұшу аппараттарының компьютерлік үлгілері салынған. Модельді әзірлеу үш кезеңді қамтыды.

Келесі кезеңдер зерттелді: кинематикалық теңдеулер, әсерлесу күші, компьютерлік модельдеуді құру. Жұмыста біріктірілген ҰҰА тобының топологиясының түрлері қарастырылған.

Бұл мақаланың мақсаты математикалық модельдерді әзірлеу және ұшқышсыз ұшу аппараттарының компьютерлік модельдерін құру болып табылады.

Кілтті сөздер: әдіс, ұшқышсыз ұшу аппараттары, басқару, желі, модель, координат.

*Т. В. Keribayeva¹, К. Alibekkyzy², Koshekov K.³, Baidildina A. T⁴,
Semenyuk V. V⁵

^{1,3}Academy of Civil Aviation, Republic of Kazakhstan, Almaty

^{2,4}EKTU, Serikbayeva D, Republic of Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk

⁵North Kazakhstan State University named after Manash Kozybayev,
Republic of Kazakhstan, Petropavlovsk

Accepted for publication on 18.09.23

MODELING METHOD OF INTEGRATED UAV GROUPS

The paper considers a mathematical model for determining the coordinates of integrated UAV groups. The article analyzes the scope of unmanned aerial vehicles. The promising areas of unmanned aerial systems, which have integrated a complex of remotely controlled aircraft, are considered. The article proposes stable structures of integrated groups to solve problems. A method for modeling UAV integrated groups, including a mathematical description and a computer experiment, has been studied. The structures of integrated groups were analyzed and the formation of which took into account the criteria for topology stability during movements and the reliability of data transmission channels built on the basis of VLC technologies. When obtaining the results, a mathematical description is proposed and computer models of integrated UAV groups are developed that meet the criteria for topology stability during movements and reliability of data transmission channels built on the basis of VLC technologies. The paper describes in the Matlab R2020b program computer models of UAV swarms in a three-dimensional coordinate system are built. Model development included three stages.

The following stages have been studied: kinematic equations, interaction force, construction of computer simulation. The paper considers the types of topology of the integrated UAV group.

The purpose of this article is to develop mathematical models and build computer models of UAV swarms.

Keywords: method, unmanned aerial vehicles, control, network, model, coordinate.

Теруге 18.09.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2023 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4140

Сдано в набор 18.09.2023 г. Подписано в печать 29.09.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4140

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz