

УДК 502.057+519.711.3

ШИЛОВА Наталья Александровна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики и высокопроизводительных вычислений института математики, информатики и космических технологий САФУ имени М.В. Ломоносова. Автор 19 научных публикаций

ДАНИЛОВ Александр Александрович, аспирант кафедры прикладной математики и высокопроизводительных вычислений, ассистент кафедры прикладной информатики института математики, информатики и космических технологий САФУ имени М.В. Ломоносова. Автор трех научных публикаций

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ФАУНЫ

В настоящее время организация учета популяции морских млекопитающих является одной из актуальных проблем, т. к. учет напрямую связан с прогнозированием численности исследуемой популяции. В связи с тем, что в качестве объекта мониторинга рассматриваются морские млекопитающие, вопрос прогнозирования их численности рассматривается с двух позиций: с позиции исследователя, который организует учет, и с позиции разработчика вычислительных алгоритмов для обработки данных мониторинга в режиме реального времени. Один из традиционных методов мониторинга, авиаучет, не является достаточно эффективным. В связи с этим в настоящее время рассматриваются альтернативные средства для слежения и мониторинга объектов морской фауны. Ими являются летательные аппараты сверхлегкой авиации и беспилотные летательные аппараты. В первую очередь это связано с нивелированием рисков для сотрудников научно-исследовательских институтов, которые осуществляют мониторинг, а также возможностью съемки на низких высотах и вблизи объектов изучения. Также интенсивное развитие информационных технологий и высокопроизводительных вычислений позволяет оперативно передавать и обрабатывать информацию в режиме реального времени.

В данной статье рассматриваются задачи и методы управления беспилотными летательными аппаратами на примере квадрокоптера (беспилотного летательного аппарата с четырьмя роторами) для слежения и мониторинга за объектами морской фауны. Поставлена цель и описаны возможные методы ее решения на примере построения программно-аппаратного комплекса. Построена математическая модель, описывающая движение беспилотного летательного аппарата относительно неподвижной системы координат. Демонстрируются области применения беспилотных летательных аппаратов и их преимущества перед обычной пилотируемой авиацией, а также преимущества использования квадрокоптеров в сравнении с другими беспилотными летательными аппаратами.

Ключевые слова: популяции морских млекопитающих, методы мониторинга популяции, использование беспилотных летательных аппаратов, математическая модель движения квадрокоптера.

В связи с бурным развитием техники в последние десятилетия значительно возрос интерес к использованию беспилотной авиации для проведения исследований по изучению численности и распределения популяции морских млекопитающих. Традиционный метод исследования – это авиаучет, который проводится с помощью специально оборудованных самолетов и вертолетов [1]. К сожалению, в настоящее время из-за финансовых и административных трудностей ежегодный налет воздушных судов является недостаточным для проведения качественных исследовательских работ [2]. Вследствие этого актуальным является поиск новых технологий, способных диаметрально изменить сложившуюся ситуацию. Одно из направлений поиска сосредоточено на реализации возможностей использования различных альтернативных средств, таких как летательные аппараты сверхлегкой авиации и беспилотные летательные аппараты.

Стоит отметить, что, несмотря на долгое существование беспилотных технологий, применение беспилотной авиации является одним из современных и бурно развивающихся направлений. Можно отметить ряд очевидных преимуществ ее использования: низкий риск для сотрудников исследовательских институтов, которые проводят мониторинг объектов изучения; рентабельность и оперативность; возможность съемки на низких высотах и вблизи объектов [1]. Таким образом, применение беспилотных летательных аппаратов в гражданской и научной сфере считается весьма перспективным и выгодным с экономической точки зрения.

Целями настоящей работы явились изучение возможных способов применения беспилотных авиационных систем, беспилотных летательных аппаратов и наземных систем управления воздушным движением для исследования прибрежных китообразных, а также решение задач мониторинга и слежения за объектами морской фауны. Для их достижения необходимо решить ряд сопутствующих задач:

1) разработать и обосновать математическую модель, описывающую движение беспилотных летательных аппаратов;

2) определить параметры модели для ее формализации;

3) создать и апробировать аппаратно-программный комплекс для управления беспилотными летательными аппаратами.

4) разработать методы и порядок внедрения беспилотных летательных аппаратов для решения научно-исследовательских задач, в частности для мониторинга объектов морской фауны.

В качестве объекта изучения был выбран квадрокоптер, который является беспилотным летательным аппаратом. Квадрокоптер представляет собой платформу с четырьмя роторами, одна пара которых вращается по часовой стрелке, другая – против часовой стрелки. По сравнению с беспилотными летательными аппаратами вертолетного типа с несущим и рулевым винтами квадрокоптеры обладают рядом преимуществ: надежностью и простотой конструкции, большой стабильностью, компактностью и маневренностью, малой взлетной массой при существенной массе полезной нагрузки (рис. 1).

Для описания движения беспилотного летательного аппарата с помощью математической

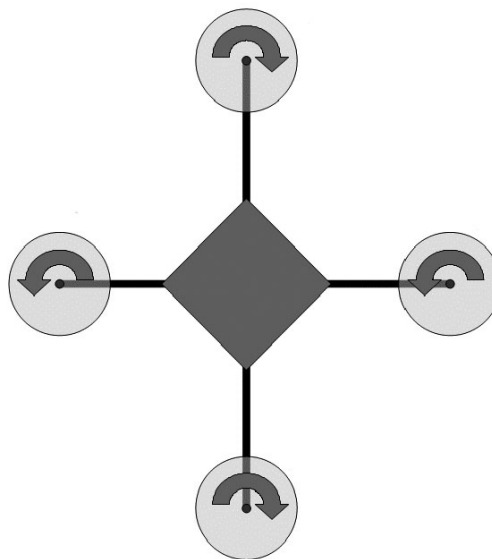


Рис. 1. Схематическое изображение квадрокоптера

модели уравнения движения запишем в проекциях на оси выбранных систем координат. Введем две правых прямоугольных системы координат, которые назовем неподвижной и подвижной.

Начало неподвижной системы координат находится в точке O , в которой необходимо стабилизировать квадрокоптер; оси Ox и Oy должны быть расположены в горизонтальной плоскости, а ось Oz направлена вверх.

Начало подвижной системы координат находится в центре масс квадрокоптера, в точке O' . Оси этой системы координат Ox' , Oy' и Oz' сонаправлены (в начальном состоянии системы) с осями неподвижной системы координат. Таким образом, подвижная система координат получается из неподвижной системы при помощи параллельного переноса на радиус-вектор $\vec{r}$ центра масс квадрокоптера в неподвижной системе координат и поворота на углы ψ, θ, φ (ψ, θ, φ – это углы тангажа, крена и рыскания соответственно) (рис. 2).

Математическая модель квадрокоптера, находящегося в точке $M(x(t), y(t), z(t))$ в неподвиж-

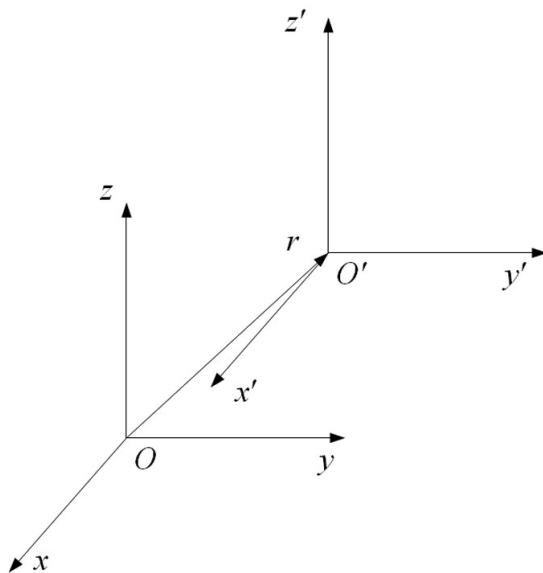


Рис. 2. Неподвижная и подвижная системы координат

ной системе координат, описывается уравнением, полученным из второго закона Ньютона:

$$m\vec{a} = -mg\vec{e}_z + R(\psi, \theta, \varphi) \sum_{i=1}^4 \vec{F}_i, \quad (1)$$

где $R(\psi, \theta, \varphi)$ – матрица поворота подвижной системы координат квадрокоптера относительно неподвижной системы координат, $\vec{F}_i = K_i \omega_i^2 \vec{e}_z$ – сила тяги каждого роторного двигателя, ω_i^2 – угловая скорость вращения ротора, K_i – коэффициент тяги каждого двигателя.

Перейдем от уравнения (1) к системе дифференциальных уравнений (2), которая получена путем разложения векторных составляющих на координатную ось $oXYZ$ неподвижной системы координат, используя дифференциальную зависимость перемещения от ускорения ($x'' = v' = a$):

$$\begin{cases} mx(t)'' = -\sum_{i=1}^4 (K_i \omega_i^2) \sin(\theta) \\ my(t)'' = -\sum_{i=1}^4 (K_i \omega_i^2) \cos(\theta) \sin(\varphi) \\ mz(t)'' + mg = -\sum_{i=1}^4 (K_i \omega_i^2) \cos(\theta) \cos(\varphi) \\ \theta'' = W(w_\theta, w_\varphi, w_\psi) \\ \varphi'' = W(w_\theta, w_\varphi, w_\psi) \\ \psi'' = W(w_\theta, w_\varphi, w_\psi) \end{cases} \quad (2)$$

Здесь W – угловые ускорения в локальной системе.

Система (2) описывает движение квадрокоптера относительно неподвижной системы координат.

Решив данную систему, можно получить зависимость вектора перемещения от угловых скоростей вращения роторов двигателей [3].

В результате можно получить программно-аппаратный комплекс, в основе которого лежит данная математическая модель, позволяющий решать задачи мониторинга и слежения за ки-

тообразными объектами морской фауны в прибрежной зоне.

Область применения беспилотных летательных аппаратов, в т. ч. квадрокоптеров, достаточно широка. Они могут быть использованы как недорогое и эффективное средство для получения фото- и видеоизображений с воздуха. Благодаря тому, что квадрокоптер – это дистанционно управляемый летательный аппарат, он хорошо подходит для наблюдения и контроля объектов и зон, доступ к которым затруднен (например, в случае естественных

или техногенных катастроф) или в условиях, непригодных для человека, таких как повышенный уровень радиации или сильное загрязнение воздуха.

С теоретической точки зрения проводимые исследования позволят создать математический аппарат, описывающий основные свойства и возможности модели слежения и мониторинга с использованием беспилотных летательных аппаратов, а также методику разработки численных методов для решения подобных задач.

Список литературы

1. Беликов Р.А., Белькович В.М. Тестирование использования радиоуправляемых авиамodelей самолетного типа для наблюдения за морскими белухами (*Delphinapterus leucas*) // Сб. науч. тр. по материалам VII междунар. конф., 24–28 сентября 2012 года. М., 2012. С. 54–58.
2. Разработка научно-методических подходов и технологии использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве: отчет о НИР / рук. В.В. Коносеvич. Пушкино, 2010. 105 с. Исполн.: В.В. Коносеvич, В.Л. Сементин, Р.Р. Азметов и др.
3. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации // Совр. технологии автоматизации. 2006. № 4. С. 66–74; 2007. № 1. С. 78–88.

References

1. Belikov R.A., Belkovich V.M. Testirovanie ispol'zovaniya radioupravljajemyh aviamodelej samoletnogo tipa dlja nabljudenija za morskimi beluhami (*Delphinapterus leucas*) [Testing of Use of Radio-Controlled Aircraft Models for the Observation of the Sea Beluga Whales (*Delphinapterus leucas*)]. *Sbornik nauchnyh trudov po materialam VII mezhdunarodnoj konf.* [Collection of Sci. papers based on the VIIth International Conf.]. Moscow, 2012, pp. 54–58.
2. *Development of the Scientific and Methodological Approaches and Technologies of Unmanned Aircraft Planes in Forestry*: research report. Scientific adviser Konosevich V.V. Ed. by Konosevich V.V., Sementin V.L., Azmetov R.R. Pushkino, 2010. 105 p.
3. Denisenko V.V. PID-reguljatory: principy postroenija i modifikacii [PID Controllers: Principles of Construction and Modification]. *Sovremennye tehnologii avtomatizatsii*, 2006, no. 4, pp. 66–74; 2007, no. 1, pp. 78–88.

Shilova Natalya Aleksandrovna,

Institute of Mathematics, Information and Space Technologies,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V.Lomonosov

Danilov Alexander Aleksandrovich,

Institute of Mathematics, Information and Space Technologies,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V.Lomonosov

USE OF DRONES FOR MONITORING OF MARINE FAUNA OBJECTS

Organization of inventory of marine mammal populations is one of the most urgent problems, as it is directly related to the forecasting of the number of specimens in the population. The forecasting is considered from the perspective of the researcher, who organizes the inventory, and a developer of computational algorithms for processing monitoring data in real-time. Aerotaxation as one of the traditional monitoring methods is not effective, and the alternative means of monitoring of marine fauna are considered now, such as ultralight aviation and drones. First, they mitigate the risk of the monitoring staff of research institutions and give the ability of shooting at low altitudes and near the objects of study. Second, the rapid development of information technology and high-performance computing allow transmit and process information in real-time.

The article discusses the problems and methods of control of drones for example a quadcopter (UAV with four rotors) for tracking and monitoring the objects of marine fauna. A mathematical model of a drone motion with respect to the fixed coordinate system is developed. The application of drones and their advantages over conventional manned aircrafts as well as the advantages of quadcopters over drones are demonstrated.

Keywords: *marine mammal populations, monitoring methods, use of drones, mathematical model of quadcopter motion.*

Контактная информация:

Шилова Наталья Александровна

адрес: 163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 68, корп. 3;

e-mail: n.shilova@narfu.ru

Данилов Александр Александрович

адрес: 163002, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 68, корп. 3;

e-mail: alex.danilov@narfu.ru

Рецензент – *Андреева Е.А.*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, заведующая кафедрой компьютерной безопасности и математических методов управления Тверского государственного университета