

предлагается совместное применение алгоритмов, учитывающих накопленную статистику использования канала, и методов борьбы с быстрыми замираниями.

#### Список использованных источников

1. Основы OFDM [Текст] / М. Г. Бакулин [и др.]. – М.: Горячая линия-Телеком, 2017. – 351 с.
2. Sure P., A survey on OFDM channel estimation techniques based on denoising strategies [Text] / P. Sure, C.M. Bhuma // Engineering Science and Technology an International Journal. 2017. P. 629-636.
3. Arjoune, Y., Kaabouch, N. A Comprehensive Survey on Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks: Recent Advances, New Challenges, and Future Research Directions // Sensors 2019, Vol. 19, No 126 Pp. 1-32. DOI: 10.3390/s19010126.

Шантуроев Евгений Михайлович, к.т.н., начальник лаборатории, shanturovem@nic-t.ru

УДК 629.052.7, 629.052.3, 629.053

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В.И. Скрипко, В.А. Зеленский

«Самарский национальный исследовательский университет имени  
академика С.П. Королёва», г. Самара

**Ключевые слова:** БПЛА, системы навигации, системы управления

В условиях использования БПЛА в закрытых помещениях, где невозможно использование GPS, возникает проблема точности навигационных систем. Инерционные системы навигации (ИНС) со временем накапливают ошибки, что впоследствии приводит к большим отклонениям позиционирования. Для компенсации ошибки, которая возникает в ИНС, требуется применение дополнительных методов навигации.

Исследование [1] показывает, что применение лидара и машинного зрения для навигации в помещении позволяет повысить точность навигационных параметров в диапазоне  $\pm 0,2$  м/с по скорости и 0,5 м по координате. Использование данных навигационных систем можно рассматривать для коррекции ошибки ИНС. Их использование может значительно повысить точность определения местоположения.

В качестве метода коррекции ИНС выбрано использование лидара с радиусом обзора 360 градусов. Использование лидара выполняется в

контрольных точках для избегания проблемы зашумленности получаемых данных вследствие постоянного изменения ориентации БПЛА (моменты старта и торможения).

С помощью пакета Matlab разработана система управления БПЛА для движения по заданным контрольным точкам с помощью ПИД-регулятора [2]. Численное моделирование траектории выполнялось с помощью метода Рунге-Кутта 4-го порядка, модификации Дормана-Принца. Для моделирования лидара использовался UAV Toolbox с помощью которого возможно создать платформу БПЛА с последующей установкой на него таких датчиков как: лидар, GPS, ИНС. Начальными условиями были приняты координаты, линейные скорости, углы поворота и угловые скорости. Коррекция измерений выполнялась для координат  $x, y$ . В работе принято допущение, что высота меняется не значительно.

В контрольных точках выполнялась обработка данных облака лидара. При этом предварительно отсеивались ближние точки для удаления данных с попавшими в облако элементами конструкции БПЛА. Полученные в локальной системе координат данные приводились к глобальной системе координат с помощью поворота по углу рыскания [3]:

$$\begin{bmatrix} x_{\text{глоб}} \\ y_{\text{глоб}} \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_{\text{лок}} \\ y_{\text{лок}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \end{bmatrix},$$

где  $p_x, p_y$  – текущие координаты в глобальной системе координат, полученные от ИНС БПЛА с ошибкой позиционирования,  $R$  – матрица поворота для рыскания:

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}.$$

Вычисленные данные вычитались из координат контрольных точек. После этого выполнялась коррекция заданной ошибки. Оставшаяся неточность продолжала накапливаться.

На рисунке 1 показаны результаты моделирования, с накоплением ошибки с коррекцией ИНС лидаром и без нее.

Разработанный алгоритм позволяет предотвратить заметное нарастание ошибки ИНС путем коррекции с помощью лидара, что подтверждают результаты, полученные с помощью моделирования. Погрешность, накапливающаяся между контрольными точками не превышает 1 метра. Для большего снижения ошибки предлагается использовать увеличенное количество контрольных точек или применять более точные ИНС с малыми ошибками гироскопов и акселерометров.

Комплексное использование навигационных систем позволяет улучшить навигационные характеристики БПЛА в задачах, где невозможно использование GPS-навигации.

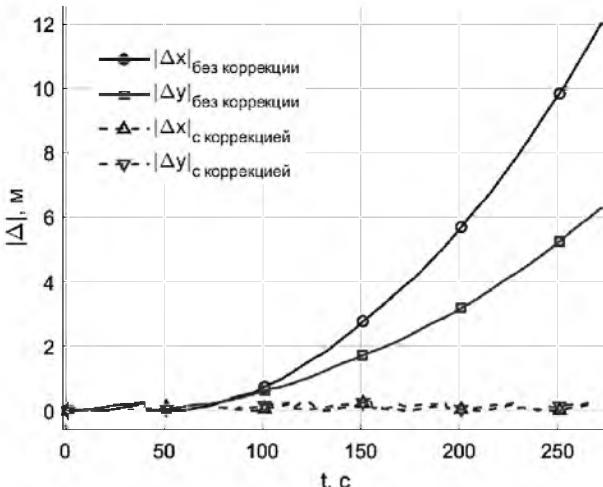


Рисунок 1 – Модуль ошибки ИНС без коррекции и с коррекцией лидаром

#### Список использованных источников

1. Zheng, W. Integrated navigation system with monocular vision and LIDAR for indoor UAVs / W. Zheng, J. Xiao and T. Xin // 2017 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Siem Reap, Cambodia, 2017, pp. 924-929.
2. Randal W. Beard, Timothy W. McLain Small Unmanned Aircraft Theory and Practice / W. Randal Beard, W. Timothy // Princeton University Press. – 2012.
3. Stevens L., Lewis F., Johnson N. Aircraft Control and Simulation / L. Stevens, F. Lewis, N. Johnson // 3rd Ed. Dynamics, Controls Design, & Autonomous Systems, Hoboken, NJ: Wiley, 2016.

Скрипко Владислав Игоревич, студент гр. 3232-110401Д, vlad.skrip.2001@mail.ru.

Зеленский Владимир Анатольевич, д.т.н., зав. каф. РЭС, zelenskiy.va@ssau.ru

УДК 531.781

## РАДИОВОЛНОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА МЕЖДУ ТОРЦАМИ ЛОПАТОК И КОРПУСОМ ТУРБОАГРЕГАТА

А.А. Гречков, У.В. Бояркина, С.А. Данилин, Д.А. Ворох  
 «Самарский национальный исследовательский университет имени  
 академика С.П. Королева», г. Самара

При изменение режима работы турбоагрегата одной из самых распространенных причин повреждений лопаток является их касание о корпус при уменьшении радиального зазора, что может приводить к