

РАЗРАБОТКА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КВАДРОКОПТЕРА И РЕАЛИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРЕЙМВОРКА ROS2

**Бакаев В. С.¹, Анисимов Р. О.²,
Кулагин К. А.³, Мостаков Н. А.⁴**
(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Задачей работы является разработка симуляционной модели квадрокоптера, оснащенного рядом датчиков. Система управления роботом строится на использовании датчиков IMU, GPS, данных автономной инерциально-оптической навигации, лазерного дальномера. Для решения проблем, связанных с потерей сигнала датчика GPS или с возникновением атак на GPS, имеется модуль антиспуфинга. Каждый из датчиков имеет свою уникальную вероятностную модель реального прототипа для осуществления более качественной системы управления. Итоговая система управления позволяет управлять квадрокоптером с помощью последовательности желаемых положений на всей площади симуляционного полигона. Для реализации системы управления квадрокоптером и визуализации движения использовался фреймворк ROS2 и симулятор Gazebo.

Ключевые слова: ROS, симуляция, автономная система управления.

1. Введение

Активное развитие робототехники в сфере автономного управления робототехническими комплексами создает значительную математическую базу. Полученные законы становятся основой для формирования программного кода управления тем или иным объектом. Одним из важных этапов разработки системы управления робототехническим комплексом является тестирование. В общем виде можно выделить три вида тестирования: натурное, полунатурное и симуляция. Каждый подход имеет свои особенности и используется для выявления определенных признаков системы и проверки гипотез. В большинстве случаев

¹ Родион Олегович Анисимов, магистр (rodion_anisimov@mail.ru).

² Владислав Сергеевич Бакаев, магистр (bakaevv@gmail.com).

³ Константин Александрович Кулагин, м.н.с. (kka86@bk.ru).

⁴ Николай Алексеевич Мостаков, инженер (nikrus333@gmail.com).

первичным видом тестирования является симуляция. Для создания моделируемого мира и объекта существует большое количество ПО. Одним из таких является фреймворк ROS2 в комбинации со средой динамического моделирования Gazebo. Данный фреймворк за счет асинхронной архитектуры взаимодействия отдельных элементов позволяет прототипировать системы различного уровня сложности. Набор специальных инструментов позволяет разработать легко интегрируемые в реальные комплексы программные модули управления. Основной проблемой, связанной с использованием данного фреймворка, является отсутствие нативной поддержки симуляции летательных аппаратов. В связи с этим возникла задача разработки методов симуляции коптеров с набором датчиков, обеспечивающих автономность управления роботом.

2. Архитектура системы

В данной работе под кинематической моделью подразумевается программное обеспечение, состоящее из модуля управления объектом моделирования, системы датчиков и контроллера полета. Схема взаимодействия отдельных модулей может быть представлена следующим образом (рис. 1):

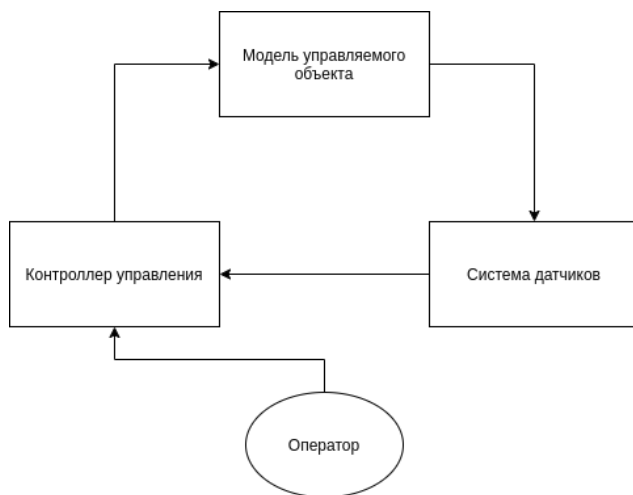


Рис. 1. Схема взаимодействия модулей модели симуляции

2.1. МОДЕЛЬ УПРАВЛЯЕМОГО ОБЪЕКТА

В процессе создания модели использовались встроенные инструменты ROS2[4] и Gazebo[5]. Ставилась задача разработать пакет симуляции, в котором робот представлялся в виде некоторой материальной точки, имеющей произвольные параметры инерции. В качестве интерфейса управления наиболее удобным и гибким является управление по вектору скорости. В результате визуально была выбрана модель коптера с четырьмя двигателями (рис. 2).

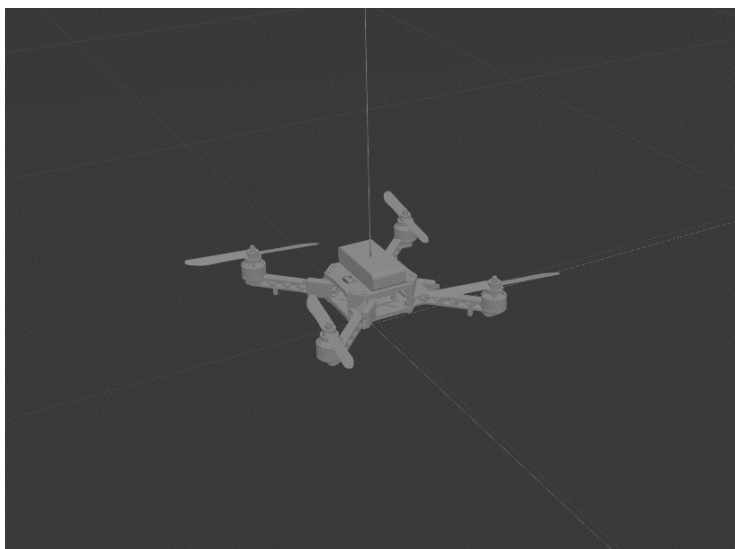


Рис.2. Визуальная модель коптера в среде Gazebo

Полученная в результате модель управляется посредством формирования вектора линейной и угловой скорости. Команда имеет следующий вид:

- `linear_x` – проекция линейной скорости на ось x ;
- `linear_y` – проекция линейной скорости на ось y ;
- `linear_z` – проекция линейной скорости на ось z ;
- `angular_x` – скорость изменения угла крена;
- `angular_y` – скорость изменения угла тангажа;
- `angular_z` – скорость изменения угла рыскания.

Для приближения процессов, происходящих при управлении реальным объектом, введена «искусственная» динамика за счет нарастания и убывания всех компонент скорости коптера по аperiodическому закону. Подобный подход к разработке интерфейса робота позволяет абстрагироваться от непосредственной реализации объекта (модель, реальная система).

2.2 СИСТЕМА ДАТЧИКОВ

Для реализации автономного управления дроном необходима определенная система датчиков. В данном случае в качестве сенсорных систем используются:

- автономная инерциально-оптическая навигация (АИОН);
- лазерный дальномер;
- инерциальная навигационная система (ИНС);
- глобальная спутниковая навигация.

Данные АИОН, лазерного дальномера, глобальной спутниковой навигации в среде моделирования Gazebo не реализованы в виде отдельных систем. Поэтому для получения подобных данных разработаны отдельные модули, имеющие следующую систему взаимосвязей (рис. 3).



Рис. 3. Схема формирования сигналов датчиков

Датчик ИНС (IMU сенсор) при этом встроен в среду Gazebo. Полученные в результате работы модулей данные проходят вероятностные модели предложенных датчиков. Это необходимо для формирования шумов сенсоров определенного вида, что позволит приблизить разработанную модель симуляции к реальному объекту [3]. В данном случае выбраны следующие вероятностные модели датчиков (рис. 4.1, рис. 4.2, рис. 4.3).

Предложенные вероятностные модели были разработаны с учетом определенных особенностей каждого из датчиков. Так, в вероятностной модели датчика GPS учитываются ситуации «выброса», когда ошибка значительно превышает заявленную точность данных. Модель лазерного дальномера учитывает ограничение воспринимаемых расстояний, возможность потери данных и возникновение случайных объектов между датчиком и поверхностью.

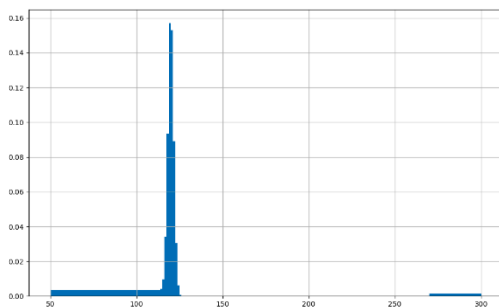


Рис. 4.1. Плотность распределения лазерного дальномера

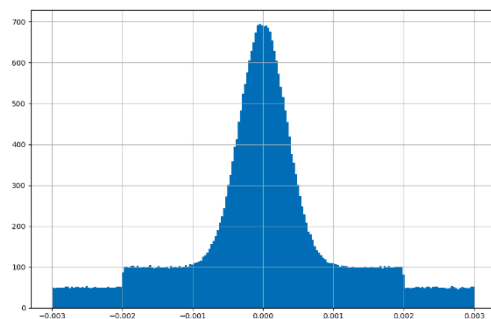


Рис. 4.2. Плотность распределения датчика GPS

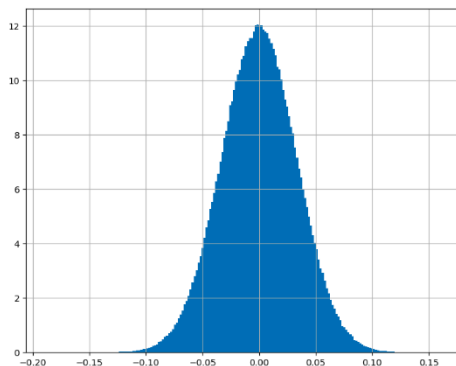


Рис. 4.3. Плотность распределения IMU датчика

2.3. КОНТРОЛЛЕР УПРАВЛЕНИЯ

В данной реализации вводится понятие системы антиспуфинга. Она позволяет обнаружить атаку на систему глобальной навигации и предпринять меры по минимизации, связанных с ней рисков и угроз. За счет этого реализована следующая система управления роботом [1] (рис. 5).

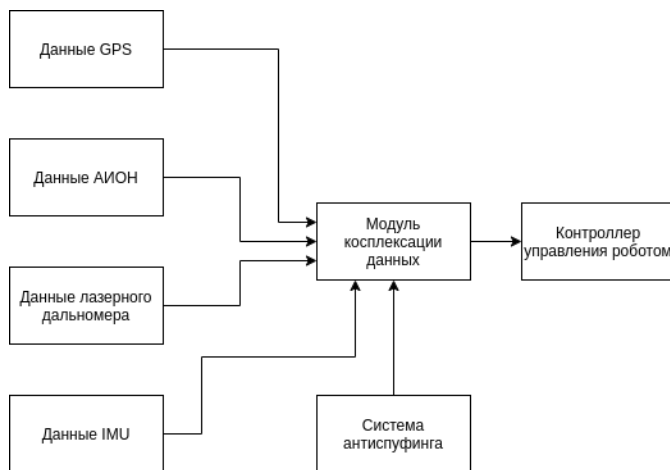


Рис. 5. Система управления роботом

Модуль комплексирования данных решает задачу по определению основных данных для реализации контроллера управления на базе показаний системы антиспуфинга. Также данные внутри модуля комплексирования проходят через расширенный фильтр Калмана [2], что позволяет уменьшить влияние шумов на качество управления квадрокоптером.

2.4. ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛЕТНОГО ЗАДАНИЯ

Для унифицирования и создания дружелюбного интерфейса управления роботом было принято решение формировать последовательность ключевых точек траектории робота в нотации ArduPilot. При этом перемещение от одной точки к другой производится по прямолинейной траектории.

3. Результаты

Удалось разработать кинематическую модель квадрокоптера с набором датчиков для возможности автономного полета. Система датчиков с помощью определенных параметров точности может быть подстроена под различные ситуации. Добавление шумов в показания сенсоров позволяют произвести первичную настройку фильтра данных для осуществления более качественного полета. Модульность разработанной системы является главной особенностью системы, так как она становится масштабируемой, что позволит использовать полученные модели в качестве базы для различных задач планирования, тестирования отдельных встраиваемых блоков.

Литература

1. ГАБУЕВ К.О., ГОНГАЛО В.О., КУЧЕРЕНКО Н.А., ШИПКО А.И. *Система автоматического управления беспилотного летательного аппарата* // Одесская национальная академия пищевых технологий. Автоматизация технологичных и бизнес-процессов. – DOI: 10.15673/atbp.v10i4.821.
2. ЩЕРБАНЬ И.В., КОНЕВ Д.С., ТОЛМАЧЕВ С.А. *Комплексирование грубых инерциальных датчиков и мобильного*

- gps-навигатора транспортного средства // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2007. – №4. – С. 211–221.*
3. THRUN S. *Probabilistic robotics* // Communications of the ACM. – 2002. – Vol. 45, Iss. 3. – P. 52–57. – DOI: <https://doi.org/10.1145/504729.504754>.
 4. *ROS 2 Documentation* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.ros.org/en/foxy/index.html>.
 5. <http://gazebosim.org/>.

DEVELOPMENT OF A KINEMATIC MODEL OF A QUADCOPTER AND REALISATION USING THE ROS2 FRAMEWORK

Vladislav Bakaev, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, master (bakaevv@gmail.com).

Rodion Anisimov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, master (rodion_anisimov@mail.ru).

Konstantin Kulagin, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Cand.Sc., junior researcher (kka86@bk.ru).

Nikolay Mostakov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, engineer (nikrus333@gmail.com).

Abstract: The task of the work is to develop a simulation model of a quadcopter equipped with a number of sensors. The robot control system is based on the use of IMU and GPS sensors, data of autonomous inertial-optical navigation, and a laser rangefinder. An anti-spoofing module is available to solve problems related to the loss of the GPS sensor signal or the occurrence of attacks on the GPS. Each of the sensors has its own unique probabilistic model of a real prototype to implement a better control system. The resulting control system allows you to control the quadcopter using a sequence of desired positions throughout the simulation area. The ROS2 framework and Gazebo simulator were used to implement the control system for the quadcopter and visualize the movement.

Keywords: ROS, simulation, autonomous control system.

УДК 608.4
ББК 32.816