

## СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА

*Лысухо Г.В., Масленников А.Л.*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,  
г.Москва*

**Ключевые слова:** квадрокоптер, система управления, HIL моделирование, имитационное моделирование, имитационная модель.

**Аннотация.** Разработка систем управления для беспилотных летательных аппаратов не может обходиться без этапа моделирования. Желание применять квадрокоптеры для решения сложных задач, в том числе и в составе группы требует серьезной проработки системы управления. Для этого целесообразна разработка системы имитационного моделирования системы управления квадрокоптера. В статье предлагается структура подобной системы, а также описываются общие особенности ее практической реализации.

## SIMULATION SYSTEM STRUCTURE FOR THE QUADROTOR CONTROL SYSTEM

*Lysukho G.V., Maslennikov A.L.*

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow*

**Keywords:** quadrotor, control system, HIL simulation, simulation, simulation modeling.

**Abstract.** UAV control system design could not be done without simulation stage. The application of quadrotors in various missions, including group control, requires complete and complex testing of the control system. That could be done using special simulation system for the quadrotor control system. In this paper the structure of such system is proposed as well as the general aspects of its practical realization are discussed.

### **Введение**

Развитие компонентной базы, методов управления и алгоритмов обработки информации расширяет возможности применения квадрокоптеров для решения различных задач. Уже сейчас квадрокоптеры в тестовом режиме начинают применять для слежения за территорией, поиском людей [1] и др. Активно развиваются методы управления группой квадрокоптеров [2]. При этом система управления самого квадрокоптера становится более сложной, требует более сложных алгоритмов.

Для отработки и тестирования современных алгоритмов управления квадрокоптером возникает потребность в полноценной системе имитационного моделирования, которые уже достаточно давно применяются в авиакосмической отрасли [3-4]. В данной работе предлагается структура стенда имитационного моделирования системы управления квадрокоптера.

### **Структура системы имитационного моделирования**

Структурная схема системы имитационного моделирования системы управления квадрокоптера, которая представлена на рис. 1, состоит из нескольких подсистем – имитаторов. При необходимости некоторые имитаторы

могут быть заменены на моделируемые ими аппаратные средства, тем самым позволив реализовать, так называемое hardware-in-loop моделирование.

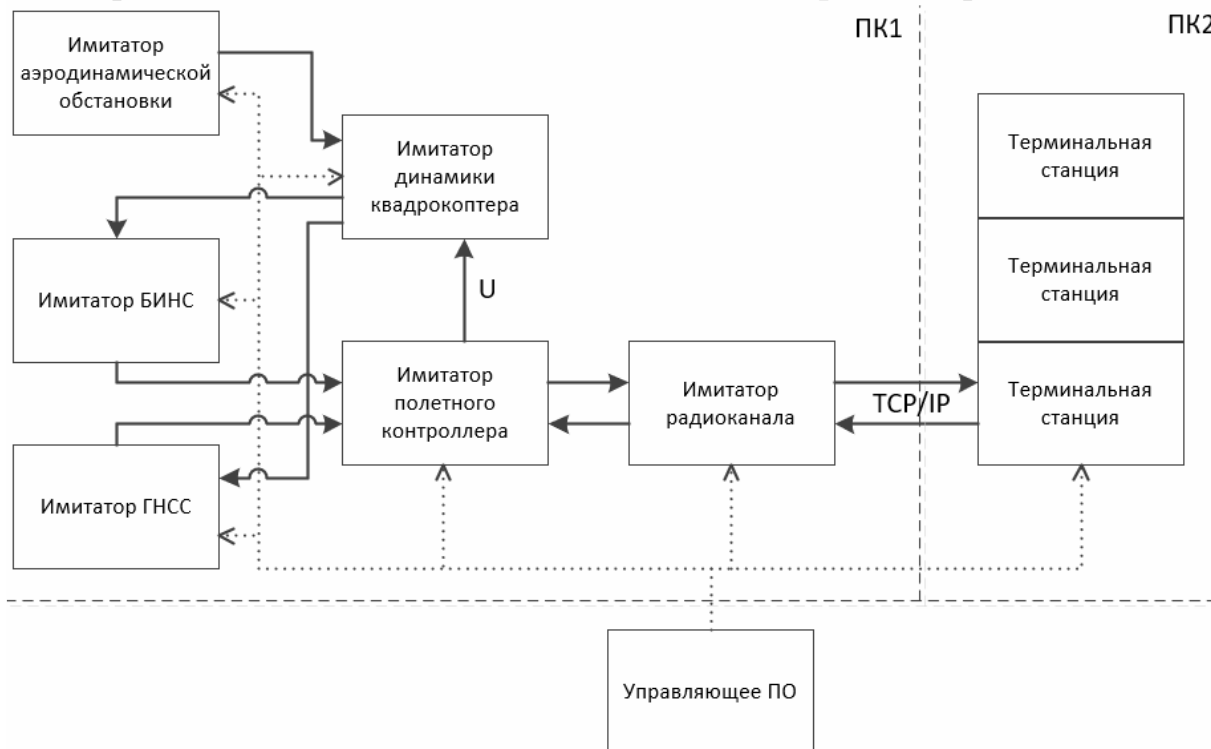


Рис. 1. Структурная схема имитационного моделирования

Рассмотрим более подробно каждый имитатор. *Имитатор аэродинамической обстановки* отвечает за формирование ветровых возмущений, действующих на квадрокоптер. В *имитаторе динамики квадрокоптера* реализуется пошаговое моделирование динамики квадрокоптера. Моделирование динамики реализуется с использованием численных методов решения задачи Коши, обеспечивающих требуемые быстродействие и точность, по математической модели, описанной, например в работе [5]. Выходная информация данного имитатора используется в имитаторах БИНС и ГНСС в качестве истинной навигационной информации.

*Имитатор БИНС* (бесплатформенной инерциальной навигационной системы) реализует формирование измерений БИНС (кажущихся линейных ускорений, угловых скоростей, проекций вектора напряженности магнитного поля) по заложенной математической модели с учетом истинных параметров движения квадрокоптера, получаемых от имитатора динамики квадрокоптера. *Имитатор ГНСС* реализует формирование навигационной информации, получаемой от глобальных спутниковых навигационных систем в формате NMEA или RSTN, на основе заложенных в него математических моделей.

*Имитатор полетного контроллера* реализует работу бортового вычислителя, который на основе данных от имитаторов ГНСС и БИНС формирует закон управления квадрокоптером  $U$ , которое поступает на имитатор динамики. *Имитатор радиоканала* моделирует процесс радиообмена между квадрокоптером (имитатором полетного контроллера) и терминальной станцией оператора, что целесообразно для отработки задач дистанционного управления. Фактически данный имитатор реализует механизм запаздывания передачи

информации и ее потери в процессе передачи, т.к. моделирование высокочастотных радиосигналов во временной области затруднительно.

*Терминальная станция оператора* представляет собой программное обеспечение с графическим пользовательским интерфейсом, по средству которого осуществляется управление движением квадрокоптера (смена режима, задание траектории движения) и отображение различной информации о ходе моделирования и состоянии каждого имитатора.

Все имитаторы системы управления квадрокоптером связывает между собой управляющее программное обеспечение, задача которого состоит в обеспечении пересылки данных от одного имитатора к другому, включая терминальные станции, и обеспечение общей «живучести» системы.

### **Особенности программной реализации системы имитационного моделирования**

Описанную структуру системы имитационного моделирования можно реализовать с использованием архитектуры «клиент-сервер», где управляющее программное обеспечение является сервером, а все имитаторы и терминальные станции – клиентами.

Для того, чтобы система имитационного моделирования могла бы обеспечить режим вычислений максимально близкий к режиму реального времени целесообразно в каждом клиенте создавать два программных потока. Первый поток для приема, обработки и преобразования данных, а также для отправки новых данных на сервер для дальнейшей передачи другим клиентам. Второй поток – поток выполнения основной задачи, в котором реализуется моделирование основной задачи имитатора. На сервере создаются несколько потоков – по одному на взаимодействие с каждым клиентом, а в основном программном потоке сервера реализуется контроль функционирования всей системы имитационного моделирования.

Отметим, что необходимо обеспечить между имитаторами, рабочими станциями и управляющим программным обеспечением достаточно надежную линию связи с большой пропускной способностью. Для решения этой задачи целесообразно использовать протокол TCP/IP или CAN шину. Помимо этого, для управления процессом моделирования и передачи данных между имитаторами необходимо разработать программный протокол обмена в виде командных сообщений.

При необходимости формирования распределенной системы вычислений с использованием нескольких вычислителей, на управляющее программное обеспечение ложится дополнительная функция по распределению имитаторов между вычислителями. При этом с использованием упомянутых протоколов TCP/IP и CAN шины масштабирование системы на сколько вычислителей не затрагивает аспекты передачи данных между имитаторами.

### **Заключение**

В работе описана предлагаемая структура системы имитационного моделирования системы управления квадрокоптером. Был описан обобщенный функционал каждого имитатора и управляющего программного обеспечения. Предполагается что программную реализацию системы имитационного

моделирования целесообразно построить по архитектуре «клиент-сервер», а для передачи данных выбрать протокол TCP/IP или CAN шину.

#### Список литературы

1. Цокурова И.Г., Денисов А.Н., Самойленко С.А. и др. Применение беспилотных летательных аппаратов типа квадрокоптер “DJI INSPIRE 1V 2.0” при поиске людей на местности // Наука, техника и образование. Электронный журнал. 2018. № 11. С. 43-46. DOI: 10.20861/2312-8267-2018-52-005
2. Зенкевич С.Л., Галустян Н.К. Децентрализованное управление группой квадрокоптеров // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. №11. С. 774-782. DOI: 10.17587/mau.17.774-782
3. Веремеенко К.К. Стенд имитационного и полунатурного моделирования навигационных систем и комплексов // Авиакосмическое приборостроение. 2006. №1. С. 46-54.
4. Воронин Ф.А. Разработка программного обеспечения информационно-управляющей системы международной космической станции // Труды LI чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, секция «Проблемы ракетной и космической техники». Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. С. 93-96.
5. Лысухо Г.В., Масленников А.Л. Квадрокоптер: динамика и управление // Политехнический молодежный журнал МГТУ имени Н.Э. Баумана. Электронный журнал. 2020. №5. DOI: 10.18698/2541-8009-2020-5-604.

#### Сведения об авторах:

*Лысухо Григорий Викторович* – студент, МГТУ имени Н.Э. Баумана, г. Москва;

*Масленников Андрей Леонидович* – ст. преп., МГТУ имени Н.Э. Баумана, г. Москва.