Санников А.С.
Sannikov A.S.

*аспирант, младший научный сотрудник
Института конструкторско-технологиче-
ской информатики
Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация*

Шевхужев А.О.
Shevhuzhev A.O.

*аспирант, младший научный сотрудник
Института конструкторско-технологиче-
ской информатики
Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация*

УДК 629.735

СИСТЕМА ИМИТАЦИИ ПЕРЕГРУЗОК ПРИ УПРАВЛЕНИИ МУЛЬТИКОПТЕРОМ

Квадрокоптер – летательный аппарат, построенный по вертолетной схеме, обладающий четырьмя несущими винтами. В настоящее время получили широкое распространение беспилотные квадрокоптеры, что вызвано развитием технологий, а также широким кругом задач.

Большинство современных квадрокоптеров использует для полета четыре бесколлекторных двигателя, на которые установлены винты с фиксированным шагом. Изменение высоты полета осуществляется с помощью синхронного изменения частоты вращения двигателей. Управление по крену и тангажу осуществляется попарным управлением двигателями. Два двигателя квадрокоптера осуществляют вращение по часовой стрелке, два – против. Изменение частоты вращения этих пар двигателей приводит к возникновению крутящего момента, направленного вокруг оси рысканья.

В настоящее время летательные аппараты схемы мультикоптер получили широкое распространение. Это связано с развитием аккумуляторных батарей, малогабаритных бесколлекторных двигателей и мощных встраиваемых процессоров с установленными на них специализированными операционными системами реального времени. В данной статье описывается применение комплекса моделирования полета для имитации перегрузок, возникающих при управлении квадрокоптером. Данные о перегрузках в режиме реального времени передаются на наземный компьютер и в систему числового программного управления комплексом.

Объектом исследования является система имитации перегрузок, возникающих в результате полета мультикоптера. Предметом исследования является интеграция системы управления мультикоптера и комплекса моделирования полета.

Актуальность работы обусловлена широким распространением беспилотных летательных аппаратов и необходимостью обучения управлению ими.

Целью данной статьи является разработка системы имитации перегрузок на основе готового квадрокоптера и комплекса моделирования полета.

В статье описывается применение комплекса моделирования полета для имитации перегрузок, возникающих при управлении мультикоптером, в режиме реального времени. Была произведена интеграция комплекса с квадрокоптером, управляемым платой Pixhawk. Проведена серия тестовых полетов, измерена задержка передачи данных.

Ключевые слова: мультикоптер, летательный аппарат, имитация перегрузок, передача данных.

OVERLOADS IMITATION SYSTEM AT CONTROL OF MULTICOPTER

The quadcopter – the aircraft constructed according to the helicopter scheme, possessing four bearing screws. Now pilotless quadcopters were widely adopted that is caused by development of technologies and also a wide range of tasks.

The majority of modern quadcopters uses four brushless motors on which screws with the fixed step are installed for flight. Change of flight altitude is carried out by means of synchronous change of frequency of rotation of engines. Management on a list and pitch is carried out by paired control of engines. Two engines of the quadcopter carry out rotation clockwise, two – against. Change of frequency of rotation of these pairs of engines leads to emergence of the torque directed around a roving axis.

Currently, multicopter scheme aircrafts were widely adopted. It is connected with development of rechargeable batteries, small-sized brushless motors and the powerful built-in processors with established on them specialized real time operation systems.

In this article application of a complex of modeling of flight for imitation of the overloads arising at control of the quadcopter is described. Data on overloads are in real time transferred to the land computer and to the system of numerical program control by a complex.

Object of a research is the system of imitation of the overloads resulting from flight of a multicopter. An object of research is integration of a control system of a multicopter and complex of modeling of flight.

The relevance of work is caused by wide circulation of unmanned aerial vehicles and need of training in management of them.

The purpose of this article is development of the system of imitation of overloads on the basis of the ready quadcopter and a complex of modeling of flight.

In this article application of a complex of modeling of flight for imitation of the overloads arising at management of a multicopter, in real time is described. Integration of a complex with the quadcopter operated by Pixhawk payment was made. A series of test flights is carried out, the data deference is measured.

Key words: multicopter, aircraft, simulation of overloads, data transfer.

Введение

В настоящее время летательные аппараты схемы мультикоптер получили широкое распространение. Это связано с развитием аккумуляторных батарей, малогабаритных бесколлекторных двигателей и мощных встраиваемых процессоров.

В данной статье описывается применение комплекса моделирования полета для имитации перегрузок, возникающих при управлении квадрокоптером. Данные о перегрузках в режиме реального времени передаются на наземный компьютер и в систему числового программного управления комплексом. Объектом исследования является система имитации перегрузок, возникающих в результате полета мультикоптера. Предметом исследования является интеграция системы управления мультикоптера и комплекса моделирования полета.

Актуальность работы обусловлена широким распространением беспилотных летательных аппаратов и необходимостью обучения управлению ими.

Целью данной статьи является разработка системы имитации перегрузок на основе готового квадрокоптера и комплекса моделирования полета. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Разработана структурная схема системы моделирования перегрузок.

2. Разработано программное обеспечение для передачи данных в систему числового программного управления комплексом.

3. Разработано программное обеспечение для передачи видеопотока с бортовой камеры в шлем виртуальной реальности Oculus Rift.

Состав комплекса моделирования полета

Комплекс моделирования полета представляет собой конструкцию, состоящую из карданного подвеса, оси которого осуществляют перемещения при помощи сервоприводов. Приведение в движение частей установки, совершающих угловые перемещения, осуществляется за счет серводвигателей Panasonic MINAS A5, установленных на каждой из осей вращения. Вертикальное линейное перемещение кабины осуществля-

ется за счет лебедки, которая установлена на неподвижной части комплекса на верхних силовых балках. Вертикальное перемещение служит для введения вращающихся частей установки в рабочее положение. Под рабочим положением подразумевается такое положение, при котором установка может совершать вращение вокруг заданных осей без контакта кабины с поверхностью пола, на котором установлен комплекс.

1 – лебедка, 2 – трос, 3 – сервоприводы, 4 – кабина

Рисунок 1. Внешний вид комплекса

Сервоприводы и лебедка комплекса управляются с помощью специально разработанной системы числового программного управления (ЧПУ). Система ЧПУ имеет два режима работы: автономный и с внешним управлением. В автономном режиме система поддерживает перемещение кабины с использованием пульта дистанционного управления, запись и воспроизведение движений. Этот режим работы используется для моделирования простых сценариев работы, а также для проведения ремонтных и регламентных работ. Режим внешнего управления позволяет передавать в реальном времени установки координат в систему ЧПУ, что необходимо для расширенных и нестандартных сценариев использования комплекса.

Система визуализации комплекса представляет собой персональный компьютер, находящийся в кабине, и шлем виртуальной реальности Oculus Rift DK2. Использование

шлема виртуальной реальности позволяет использовать комплекс для широкого круга задач, связанных с моделированием перемещения человека пространстве.

Система управления квадрокоптером

Квадрокоптер – летательный аппарат, построенный по вертолетной схеме, обладающий четырьмя несущими винтами. В настоящее время получили широкое распространение беспилотные квадрокоптеры, что связано с развитием технологий, а также широким кругом задач.

Большинство современных квадрокоптеров использует для полета четыре бесколлекторных двигателя, на которые установлены винты с фиксированным шагом. Изменение высоты полета осуществляется с помощью синхронного изменения частоты вращения двигателей. Для стабильного полета в мультикоптерах используют системы автоматического управления, которые с помощью

системы инерциальной навигации и данных спутниковой навигации стабилизируют полет аппарата, регулируя обороты двигателей. Оператору, осуществляющему управление, доступны функции изменения высоты и положения в пространстве.

В данном исследовании был применен квадрокоптер на основе платы управления Pixhawk. Данная плата обладает следующими характеристиками:

1. 32 bit ARM Cortex® M4 процессор и операционная система NuttX RTOS.
2. Сопроцессор 32 bit STM32F103.
3. 14 PWM/PPM выходов.
4. Открытый исходный код и открытая архитектура.

Основным ее преимуществом является использование системы с двумя процессорами, один из которых является резервным и позволяет сохранить управление летательным аппаратом в случае аварийной ситуации. Данные телеметрии передавались с летательного аппарата на землю при помощи комплекта SiK Telemetry Radio. Этот комплект представляет собой беспроводной вариант последовательного соединения.

Структура системы

Была разработана структурная схема для организации передачи данных о перегрузках, испытываемых летательным аппаратом.

Рисунок 2. Структурная схема передачи данных о перегрузках

Бортовая система управления передает данные телеметрии в последовательный порт, к которому подключен передачик телеметрии. Компьютер системы ЧПУ комплекса

моделирования полета принимает эти данные с помощью приемника телеметрии. Данные после обработки передаются на систему управления сервоприводами.

Рисунок 3. Структурная схема передачи видеоданных

Видеосигнал с бортовой камеры поступает в аналоговый видеопередатчик с несущей частотой 5,8 ГГц, затем принимается видеоприемником, к выходу которого подключено устройство захвата изображения. Компьютер системы визуализации использует видеоизображение для передачи на шлем виртуальной реальности. К компьютеру также подключен передатчик управляющих команд, что позволяет использовать данные со шлема виртуальной реальности о повороте головы в качестве команд управления квадрокоптером.

Программное обеспечение

Было разработано программное обеспечение для передачи углов квадрокоптера в систему ЧПУ.

На рисунке 4 приведена блок-схема алгоритма передачи данных о перегрузках в систему ЧПУ. Для обеспечения безопасного передвижения кабины комплекса моделирования полета данные с квадрокоптера пропущены через программный фильтр низких частот, который предотвращает передачу высокочастотных данных в комплекс. Прием и передача пакетов осуществляется через виртуальные последовательные порты.

Рисунок 4. Блок-схема алгоритма передачи данных

Программное обеспечение для передачи данных о перегрузках в систему ЧПУ реализовано на языке C++ с использованием фреймворка Qt5. Qt – кроссплатформенный фреймворк для разработки программного обеспечения на языке C++. В состав фреймворка входит визуальная среда под названием Qt Creator, позволяющая производить графическую разработку пользовательского интерфейса.

Преимуществом использования C++ является высокая скорость исполнения, достигаемая за счет механизмов ручного управления памятью и различных оптимизаций, реализованных на стороне компилятора, недостатками – отсутствие встроенных механизмов сборки мусора, сложность разработки. Распространенный способ предотвращения утечек памяти – использование «умных указателей», которые тем или иным образом

следят за необходимостью освобождения памяти по указываемому адресу.

Одной из основных отличительных особенностей фреймворка Qt является использование метаобъектного компилятора – системы предварительной обработки исходного кода. Использование метаобъектного компилятора добавляет в язык программирования механизм слотов – сигналов. Слот – метод класса, который может быть вызван асинхронным образом по событию сигнала. Данный механизм используется для соединения событий пользовательского интерфейса с вызовами методов в программе, но не ограничивается этим. Сигналы и слоты также могут связывать методы различных объектов внутри программы.

Программное обеспечение для системы визуализации представляет собой процедуру захвата видеопотока из аналогового видео

приемника и отрисовку сцены с виртуальным экраном, на который выводится изображение.

Программное обеспечение для визуализации реализовано на языке C# с использованием Unity 3D. Unity 3D – межплатформенная среда разработки компьютерных игр. Основным преимуществом использования Unity 3D является скорость разработки, недо-

статком – возможная низкая производительность программного продукта.

Измерение задержки передачи видеосигнала

Задержкой в системе визуализации считается время, которое требуется, чтобы событие, произошедшее в поле зрения камеры, было изображено на мониторе оператора.

Рисунок 5. Задержка передачи видеосигнала

Расчет времени производится по формуле:

$$t_3 = t_1 - t_0 \quad (1)$$

t_3 – время задержки.

Так как t_3 может быть различным из-за особенностей системы визуализации и погрешности измерения, для оценки качества системы визуализации по критерию задержки видеосигнала можно провести серию измерений, в результате которой рассчитать среднее время задержки

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_3}{n} \quad (2)$$

t_{cp} – среднее время задержки.

Для измерения задержки системы визуализации в рабочую область камеры вносится устройство измерения и индикации времени. При этом производится наблюдение за дисплеем устройства непосредственно и через шлем виртуальной реальности системы визуализации. Разность между показаниями устройства индикации времени на шлеме виртуальной реальности и непосредственными данными равна времени задержки. Так как время задержки видеосистемы может быть равным десяткам миллисекунд, имеется проблема с непосредственным наблюдением разности показаний устройства индикации времени. Использование фотоаппаратуры для мгновенной фиксации показаний приборов полностью решает данную проблему.

Устройство измерения и индикации времени – секундомер, позволяющий измерять и

отображать время с точностью не больше 1 миллисекунды. В результате серии опытов было зафиксировано, что средняя задержка системы визуализации составляет 316 миллисекунд. Столь большое значение вызвано использованием устройства захвата аналогового сигнала в компьютере визуализации, драйвер которого имеет программную буферизацию данных. При текущих настройках систему имитации перегрузок возможно использовать для обучения полетам без динамичных маневров, требующих хорошей реакции от пилота. В дальнейшем планируется уменьшить задержку визуализации, применив другой драйвер для устройства видеозахвата.

Вывод

Была разработана система имитации перегрузок при управлении мультикоптером на основе готового коптера и комплекса моделирования полета. Разработано программное обеспечение для передачи данных телеметрии в ЧПУ систему, программное обеспечение для передачи видеопотока на шлем виртуальной реальности. Измерена задержка передачи видеосигнала в шлем виртуальной реальности, сделаны соответствующие выводы. Были проведены тестовые полеты квадрокоптера, система показала свою полную работоспособность. В дальнейшем планируется провести оптимизацию программного и аппаратного обеспечения с целью уменьшения задержки визуализации,

а также провести расширенное тестирование системы.

Список литературы

1. Пользовательская инструкция mRo Pixhawk PX4 [Электронный ресурс] // URL: https://docs.px4.io/en/flight_controller/mro_pixhawk.html

2. Стюарт Р. Болл. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров – М.: Додека XXI, 2007.

3. Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Суханова Н.В., Кабак И.С. Автоматизация оценки надежности программного обеспечения для систем управления технологиче-

скими процессами // Вестник Брянского государственного университета. – 2015. - № 3 (47).

4. Власов К.П. Теория автоматического управления. Основные положения. Примеры расчета: учебное пособие. – Харьков: Гуман. Центр, 2013. – 544 с.

5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – Издание третье, исправл. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1975.