Константян В.Н.
Konstantyan V.N.
бакалавр Московского
государственного
технического университета
им. Н.Э. Баумана,
г. Москва,
Российская Федерация

Шептунов С. А.
Sheptunov S. A.
доктор технических
наук, профессор,
директор Института
конструкторско-
технологической
информатики
Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация

Яхутлов У. М.
Yakhutlov U.M.
аспирант, младший
научный сотрудник
Института конструктор-
ско-технологической
информатики
Российской академии наук,
г. Москва,
Российская Федерация

УДК 004.42

УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОМ СИМУЛЯЦИИ ПОЛЕТА

В данной статье рассмотрен процесс проектирования и реализации устройства ручного управления положением кабины комплекса симуляции полета летательного аппарата. Исследуется модель кабины летательного аппарата, закрепленная на карданном трехосевом подвесе. Данная конструкция подвешена на тросе в воздухе, что дает ей возможность обеспечивать перегрузку при маневрах. Сервоприводами осуществляется перемещение по осям крена, тангажа и рыскания, а также изменение высоты. Детально рассматривается процесс разработки устройства дистанционного управления сервоприводами осей карданного подвеса кабины. Особенностью разработки данного контроллера является предшествование этапа разработки эргономики и дизайна изделия этапу схмотехнического проектирования. В статье также рассмотрены принципы интеграции устройства в существующий комплекс после формулировки задач и требований, предъявляемых к разрабатываемому изделию. Реализовано ПО изделия, обеспечивающее его работу. Преимуществом разработанного изделия является открытый формат выходных данных, что позволяет максимально унифицировать устройство и использовать его для управления различными подвижными манипуляторами технических систем, а также различными станками. В ходе процесса разработки был спроектирован и изготовлен действующий опытный образец изделия и проведены его испытания в ходе эксплуатации. В результате был сделан вывод, что устройство корректно выполняет свои функции и в дальнейшей доработке не нуждается. В ходе использования устройство управления с успехом применялось и для контроля других технических систем. Это говорит о том, что актуальная задача изготовления универсального, надежного, точного и при этом несложного в изготовлении устройства ручного управления для контроля сложных комплексов с множествами степеней свободы успешно решена и результаты могут быть широко внедрены в современные робототехнические, исследовательские, медицинские и производственные системы.

Ключевые слова: дистанционное управление, управление положением, устройства ввода, симуляторы полета, портативные системы, беспроводная передача данных.

FLIGHT SIMULATOR WIRELESS HANDHELD POSITION CONTROLLER

In this article, remote position control input device design and its implementation was carried out. Flight simulator cabin on gimbal acts like a research object. High torque industrial-grade servos move the cabin in pitch, roll and yaw directions. All construction suspended by metal cable, so it can move up and down creating overloads. Position controller development was considered in detail. In case of working-out on input device, key feature is that the appearance design and ergonomics development precede electronics engineering. After definition of all the technical specifications of a device, integration in whole system was considered. Device firmware was developed as well. One of the advantages is open output data format, that allow to use controller alongside with vast family of devices – manipulators or machine-tools. In conclusion, real prototype of the device was made and successfully tested during operation. The conclusion was as a result drawn that the device correctly performs the functions and does not need further improvement. During tests the control unit was used to control of other technical systems with success. It means that the relevant problem of production universal, reliable, accurate and at the same time simple in production device for control a variety of difficult complexes with several degrees of freedom is successfully solved and results can be widely introduced in modern robotic, research, medical and production systems.

Key words: remote control, position control, input devices, flight simulators, portable systems, wireless signal transmission.

Введение

Объектом исследования является модель кабины летательного аппарата, закрепленная на карданном подвесе, оси которого приводятся в движение сервоприводами. Таким образом осуществляется перемещение по осям крена, тангажа и рыскания. Данная конструкция подвешена на тросе и салазках в воздухе, что дает ей возможность изменять высоту, обеспечивая перегрузку при маневрах. Предметом исследования является разработка устройства дистанционного управления сервоприводами осей карданного подвеса кабины.

Ручное управление кабиной симулятора полета необходимо в случаях проведения подготовительных операций перед началом симуляции (посадка и высадка испытуемых, загрузка необходимого оборудования), калибровки и настройки системы ориентации комплекса, проведения ремонтных и регламентных работ, записи программ симуляции внешним оператором комплекса для последующей их демонстрации испытуемым и тестирования конструкции и проверка систем без подвергания риску обслуживающего персонала и испытуемых.

Таким образом, подтверждается актуальность задачи проектирования и реализации простой в освоении, надежной и функцио-

нальной системы ручного управления, обеспечивающей одновременное управление несколькими координатами, а также переключение ее режимов работы.

Задача ручного управления может быть решена как с помощью пользовательского интерфейса управляющей программы вычислителя комплекса и его устройств ввода, так и с помощью отдельного устройства управления. Недостатками реализации ручного управления посредством программного пользовательского интерфейса является невозможность точного и пропорционального управления положением, привязка к месту расположения устройств ввода ЭВМ-комплекса, невозможность считывать параметры работы комплекса при его обслуживании вне зоны видимости экрана вычислительного устройства установки, усложнение программного обеспечения комплекса и уменьшение надежности процесса управления, так как в этом случае используются обычные бытовые устройства ввода для ПК и возрастает вероятность несанкционированного управления положением кабины комплекса другими работниками при работах внутри конструкции.

Данные проблемы обуславливают выбор отдельного внешнего устройства ввода коор-

динат для реализации функции ручного управления.

Определим задачи, предъявляемые к разрабатываемому изделию, которые определяют его структуру и включают его в комплекс, обеспечив его комфортную эксплуатацию и обслуживание персоналом:

1. Плавное пропорциональное управление положением кабины в четырех осях координат.
2. Отображение необходимых параметров на дисплее.
3. Работа в радиусе 10 м по беспроводному каналу связи.
4. Выбор режима работы комплекса и взаимодействие с ним.
5. Наличие минимума сложных деталей, что увеличит надежность изделия и уменьшит срок разработки.
6. Технологичность в производстве, использование по возможности уже отлаженных и законченных решений.

Согласно анализу представленных на рынке устройств ввода координат, на данный момент существует несколько их типов. Наиболее распространенный класс представляют различные игровые манипуляторы для персональных компьютеров, которые оснащены как правило пятью-шестью клавишами и парой джойстиков. Недостатком применения таких устройств для решения поставленной задачи является их низкая надежность, отсутствие дисплея и закрытый протокол передачи данных. Радиус работы по беспроводному каналу передачи данных также не соответствует требованиям. Плюсом же использования таких манипуляторов является простота использования и интуитивно понятный оператору функционал. Промышленные устройства управления станками не обладают возможностью работы без проводов, имеют большие габариты и вес, а также высокую стоимость. Также они не имеют возможности управлять несколькими координатами одновременно, что уменьшает удобство работы с ними. Данные устройства управления требуют длительного освоения работниками и усложняют работу с комплексом.

В этих условиях наиболее целесообразным решением оказалось проектирование устройства ввода собственными силами. Оно

должно решать задачи, представленные выше, и при этом обладать эргономичным дизайном, облегчающим его использование персоналом как можно более широкой степени подготовки.

Определение расширенных требований к изделию

Согласно сформированным выше требованиям к разрабатываемому изделию, оно должно обладать рычагами управления положением в четырех осях координат, кнопками выбора режима работы и экраном.

В качестве рычагов управления были выбраны ручки управления от системы дистанционного управления радиоуправляемыми моделями летательных аппаратов. Одна ручка имеет 2 степени свободы, обладает датчиками на основе прецизионных потенциометров с повышенной износостойкостью резистивного слоя. Возможности регулировки таких ручек включают в себя изменения усилия возвратной пружины и изменение длины наконечника, что позволяет подогнать их характеристики под конкретный вид использования. Модуль ручки является законченным и имеет разъёмы распространенного типа для подключения соединительных проводов и отверстия для крепления к корпусу изделия.

В качестве клавиш управления были выбраны миниатюрные кнопки без фиксации положения с креплением на панель. Количество клавиш было выбрано, равное трём. Их назначение: выбор, движение по меню вверх и вниз. Такая конфигурация предоставляет возможность осуществлять гибкое управление режимами работы установки и позволяет с течением времени менять их количество без изменения конфигурации и количества клавиш.

Для вывода данных и работы графического интерфейса устройства управления используется цветной TFT-дисплей с диагональю 5 см.

Для беспроводной передачи данных между системой ЧПУ и устройством управления была выбрана технология Bluetooth. Для обеспечения правильной и стабильной работы по беспроводному интерфейсу передачи данных изделие должно иметь внешнюю антенну с коэффициентом усиления +3dBm,

рассчитанную на работу на частоте 2,4 ГГц [1].

Разработка внешнего вида устройства ввода

Внешний вид изделия должен обеспечивать эргономичное взаимодействие пользователя с органами управления, а также обеспечивать беспрепятственное считывание показаний с экрана. К тому же, учитывая беспроводную технологию связи, корпус изделия должен иметь место для размещения элементов питания и место для крепления приёмно-передающей антенны. При этом расположение органов управления должно быть интуитивно понятным.

Все эти условия могут быть выполнены, если использовать форму пульта дистанционного управления моделями летательных аппаратов в качестве корпуса изделия. В верхней части данный корпус имеет крепление для антенны, места установки рычагов управления уже штатно предусмотрены, как и места для установки элементов питания. Корпус обладает хорошо знакомой большин-

ству людей формой и интуитивно понятным функционалом. Верхняя крышка корпуса имеет проушину для крепления ремешка для переноски, а нижняя включает в себя ручку. Нижняя часть корпуса имеет площадки для надёжной установки изделия на ровную поверхность.

Однако корпус не может быть применен в изделии без изменений. Были сформированы места для крепления клавиш управления и экрана вывода информации, который расположился в нижнем правом углу. Такое расположение обеспечивает наилучшую читаемость экрана даже при ношении устройства управления на ремне, так как он не перекрывает область дисплея. Кроме того, в непосредственной близости расположены клавиши управления, что позволяет вывести подписи к клавишам непосредственно на экран и при дальнейшей модернизации прошивки их изменять. Как следствие, данное изделие обладает максимальной гибкостью в настройке и может быть адаптировано для различных применений. Получившийся внешний вид представлен на рисунке 1.

- 1 – корпус изделия, 2 – рычаг управления креном и тангажем, 3 – рычаг управления высотой и углом рыскания, 4 – дисплей, 5 – клавиша «вверх», 6 – клавиша «выбор»,
7 – клавиша «вниз», 8 – выключатель питания, 9 – проушина для крепления ремня,
10 – антенна приемопередатчика

Рисунок 1. Внешний вид изделия

Определение требований к электронным блокам изделия

Конфигурация получившегося устройства управления представляет собой четыре потенциометра, три нормально разомкнутые кнопки, модуль интерфейса Bluetooth и TFT-экран. Питание электронных блоков осуществляется химическими элементами питания, суммарное выходное номинальное напряжение которых составляет 9-12 В в зависимости от выбранного их типа.

В качестве модуля Bluetooth был выбран широко распространенный чип HC-05, установленный на отладочную плату со стабилизатором напряжения. К выходному высокочастотному разъёму модуля присоединена антенна типа несимметричный вибратор с коэффициентом усиления +3dBm.

Для работы устройства необходимо наличие в его структуре микроконтроллера со встроенным АЦП для корректного считывания напряжения на выходе потенциометров ручек управления. АЦП должен обладать необходимым разрешением для обеспечения точности определения положения рычагов. Все требования представлены в списке ниже:

1. Наличие 4 канального АЦП.
2. Работа от напряжения менее 7 В.
3. Наличие аппаратного интерфейса UART для обеспечения связи с модулем передачи данных.
4. Наличие аппаратного интерфейса I2C для обеспечения связи с дисплейным модулем.

5. Наличие трёх портов ввода-вывода для обеспечения считывания состояния кнопок.

Представленным выше требованиям удовлетворяет контроллер ATmega328, обладающий 8-канальным АЦП последовательного приближения с 10-разрядной дискретизацией входного сигнала по уровню. Данный АЦП обеспечивает точность определения положения ручки на уровне 0,06 градуса. МК имеет все необходимые интерфейсы передачи данных, а широкий диапазон входных напряжений от 1,8 В до 5,5 В позволяет использовать его в проектируемом изделии при использовании понижающего стабилизатора напряжения. Данный микроконтроллер характеризуется высокой производительностью при работе на тактовой частоте 16 МГц, а также большим объёмом встроенной памяти (32 КБ ПЗУ, 1 КБ ЭСППЗУ и 2 КБ ОЗУ) [2], что позволяет загружать в него сложные программы большого объёма.

Количество портов ввода-вывода равняется 28, что с запасом перекрывает требования.

Для понижения напряжения будет использован импульсный понижающий стабилизатор на основе микросхемы LM2596, обладающий высоким КПД в 78 % случаев при работе в заданных условиях [3].

Реализация электронных модулей изделия

Все модули реализованы в виде отладочных плат для выбранных компонентов. Платы изготовлены фабрично и широко распространены в продаже. Платы оснащены разъёмами типа PLS, что позволяет быстро и надёжно соединить их друг с другом. Пайки требуют лишь операции соединения преобразователя напряжения с остальными модулями и клеммами элементов питания на корпусе изделия, а также операции присоединения кнопок управления. Структурная схема получившегося устройства ввода представлена на рисунке 2.

Кнопки управления имеют подтяжку к линии 5 В в разомкнутом состоянии, обеспеченную встроенными возможностями МК. Величина подтягивающего резистора составляет около 100 кОм [2]. При работе устройства ложных срабатываний клавиш замечено не было, что говорит о том, что данная величина резистора достаточна для бесперебойной работы.

Программное обеспечение изделия

Задача ПО изделия заключается в периодическом опросе напряжений на выходах потенциометров рычагов управления, опросе состояния кнопок и отображении графического интерфейса меню на экране. Программное обеспечение написано на языке программирования C++. После опроса и обработки данные преобразуются в строку, содержащую четыре координаты, записанные через разделитель, после которых следует номер режима работы, выбранный пользователем. Данные записываются в виде кодов таблицы ASCII. Данный вид пакета позволяет максимально унифицировать устройство и использовать его не только для управления кабиной комплекса симуляции, но и другими подвижными манипуляторами или станками.

Для приема данных необходим адаптер Bluetooth и виртуальный COM-порт, который будет непосредственно принимать ASCII символы [4].

Рисунок 2. Структура устройства

На стороне приемного устройства его ПО разбивает строку на группы по четыре элемента, которые потом преобразуются в число и могут быть использованы в качестве уставки координат или уставки скорости движения в заданном направлении.

Протокол передачи является полнодуплексным, то есть отправка пакетов может идти одновременно в обоих направлениях [5], что позволяет отправлять различные сообщения и параметры обратно в устройство управления.

Вывод

В ходе процесса разработки был спроектирован и изготовлен образец изделия и проведены его испытания в ходе эксплуатации. По итогам их результатов, можно сделать вывод, что устройство корректно выполняет свои функции и в дальнейшей доработке не нуждается.

В ходе дальнейшего использования устройство управления с успехом применялось для контроля и других роботизированных систем. Данное обстоятельство говорит о том, что актуальная задача изготовления универсального, надежного, точного и при этом несложного в изготовлении устройства ручного управления для контроля сложных комплексов с множествами степеней свободы успешно решена, и результаты могут быть широко внедрены в современные робототех-

нические, исследовательские, медицинские и производственные системы.

Список литературы

1. Bluetooth Core Specification v5.0.
2. ATmega328/P AVR® Microcontroller with picoPower® Technology Datasheet Complete DS40001984A.
3. LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator Datasheet.
4. HC-05 Bluetooth module 06.18.2010, URL: iteadstudio.com
5. Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. – Второе издание.

References

1. Bluetooth Core Specification v5.0.
2. ATmega328/P AVR® Microcontroller with picoPower® Technology Datasheet Complete DS40001984A.
3. LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator Datasheet.
4. HC-05 Bluetooth module 06.18.2010, URL: iteadstudio.com.
5. Digital Design and Computer Architecture. David Money Harris and Sarah L. Harris. Datasheet.