

Баканов И. П.

Универсальный полетный контроллер для сверхлегких суборбитальных ракет

С середины 20 века с началом эры космических полетов ракетомоделизм стал отдельным движением и спортивной дисциплиной. Ежегодно проводится множество соревнований (CanSat, «Дежурный по планете» и др.), в рамках которых участники создают свои летательные аппараты и электронное оборудование для них.

Развитие ракетомоделизма связано с изобретением новых технологий и непрерывным совершенствованием существующих. Кроме того, современные решения делают данную отрасль более доступной.

За последние несколько десятилетий общие принципы проектирования и внешний облик суборбитальных ракет не сильно изменились, равно как и двигательные установки, создаваемые на основе сертифицированных модельных ракетных двигателей. Наше время характеризуется повсеместным переходом от аналоговых технологий к цифровым, поэтому наиболее прогрессивные направления так или иначе связаны с вычислительной техникой. Именно поэтому далее речь пойдет о полетном контроллере и его характеристиках.

Для лучшего понимания того, какие задачи решает установленный в корпусе ракеты полетный контроллер, разберем такие понятия как траектория и этапы полета суборбитальной ракеты.

Суборбитальный полёт – это полёт летательного аппарата по баллистической траектории со скоростью меньше первой космической. В нашей упрощенной модели будем считать, что траектория движения ракеты представляет собой параболу, на тело действуют силы: реактивной тяги, притяжения земли и аэродинамического сопротивления. Разгоняет ракету сила тяги, согласно третьему закону Ньютона, в то время как сила тяжести и сила аэродинамического сопротивления препятствуют этому (рис. 1).

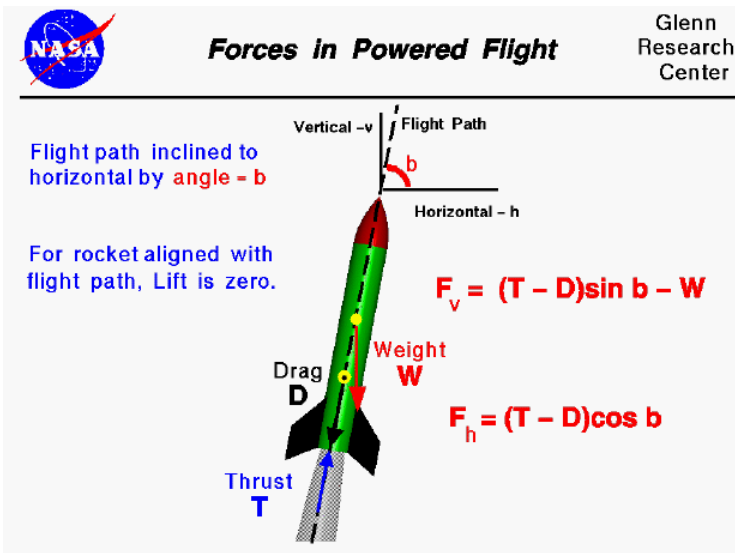


Рис. 1. Силы, действующие на ракету в течение активного полета

После старта ракеты начинается фаза активного полета, в течение которой работает двигатель и летательный аппарат стремительно набирает высоту. В начале полета перегрузка достигает 5 g, из этого можно сделать вывод, что бортовая электроника должна обладать высокими механическими качествами и устойчивостью к вибрациям. По окончании работы двигателя наступает пассивная фаза полета, в течение которой ракета продолжает набирать высоту, пока не достигнет апогея – наивысшей точки траектории. Спустя несколько секунд датчик ориентации сообщает об изменении положения ракеты полетному контроллеру, который, в свою очередь, передает эти данные по радиосвязи в центр управления полетами. Затем начинается участок свободного падения ракеты. В коде полетного контроллера прописано, при каких условиях следует дать команду системе спасения ракеты. Например, по истечению заданного времени или по достижении заданной высоты следует запустить пиротехническое устройство, состоящее, как правило, из воспламенителя и вышибного заряда и выбрасывающее наружу парашют или иное средство торможения. Во время снижения летательного аппарата датчики давления, температуры, влажности и др. собирают данные об окружающей среде. Одновременно бортовой модуль спутниковой навигации вычисляет координаты местоположения ракеты.

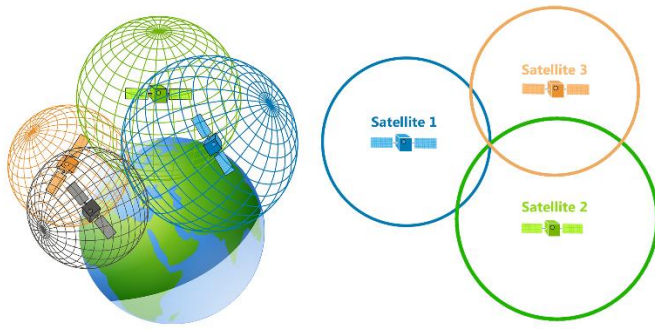


Рис. 2. Визуализация работы спутниковых систем навигации

Как же определить местоположение ракеты с точностью до нескольких метров при помощи модуля спутниковой навигации? Спутниковые системы навигации, вроде GPS или ГЛОНАСС, работают следующим образом. Приемник измеряет задержку распространения сигнала от спутника. Для определения расстояния от спутника до приемника задержка сигнала умножается на скорость света. Геометрически работу навигационной системы можно представить как несколько пересекающихся сфер, внутри которых находятся спутники (рис. 2). Радиус каждой из сфер равен расстоянию до соответствующего видимого спутника. Для получения однозначного местоположения достаточно провести 4 измерения дальности до спутников. Сигналы от трех спутников позволяют установить широту и долготу, четвертый спутник дает информацию о высоте объекта над поверхностью.

Далее ракета благополучно приземляется неподалеку от стартовой площадки с безопасной вертикальной скоростью около 5 м/с. Полетный контроллер подает звуковые, световые и радиосигналы, что сильно упрощает процесс поиска летательного аппарата, где бы он ни оказался.

Таким образом, полетный контроллер – это сложное электронно-вычислительное устройство, которое используется для сбора данных во время полета и управления ракетой. В общем случае полетный контроллер включает в себя центральное вычислительное устройство, запоминающее устройство и датчики ориентации в пространстве.

Вычислительным ядром является микроконтроллер – микросхема, которая управляет электронными устройствами. В коде программы, хранящейся в памяти микроконтроллера, прописана логика летательного аппарата. Иными словами, какому алгоритму, то есть набору команд, необходимо следовать в той или иной ситуации во время полета. Полетный контроллер с возможностью программирования предоставляет ракетомоделисту практически неограниченный функционал при наличии необходимых аппаратных средств.

Рассмотрим несколько приборов, относящихся к бортовым устройствам, при помощи которых определяется положение ракеты в пространстве. Гироскоп – устройство, способное реагировать на изменение углов ориентации тела, на котором оно установлено. Гироскоп может нести функцию как датчика углов, так и угловых скоростей по трем осям. С расширением задач стабилизации и управления ракетой в полете возникли и другие инерциальные датчики, например датчик угловых ускорений – акселерометр. Акселерометры, наравне с гироскопами, являются неотъемлемыми компонентами систем навигации и управления ракет, самолетов и других летательных аппаратов. Полученные с их помощью измерения интегрируют, чтобы вычислить углы ориентации носителя.

Существуют различные виды полетных контроллеров, которые отличаются габаритами, вычислительным ядром, набором датчиков, способом программирования и др. Поскольку у каждого ракетомоделиста свои требования к бортовой электронике, они собирают схемы вручную. Такие изделия получаются громоздкими, ненадежными и дорогостоящими. Эти проблемы призван решить универсальный полетный контроллер, своего рода стандартизированная платформа для сборки и эксплуатации электронного оборудования ракеты.

Универсальный полетный контроллер – это полетный контроллер, приспособленный для быстрого внедрения новых функций в соответствии с поставленными прикладными и научно-исследовательскими задачами. Физически это реализовано в виде модульной конструкции, состоящей из электрически взаимосвязанных печатных плат, отвечающих разным задачам. Например, модуль датчиков ориентации или радиосвязи.

В настоящее время все чаще обращаются к методу прототипов. Прототип – это быстрая, черновая реализация будущего изделия, отражающая базовую функциональность изделия и его физические характеристики. Согласно методу прототипов, конструктор стремится спроектировать изделие с наиболее выгодными параметрами, лучшими, чем у существующих вариантов, учитывая их достоинства и недостатки.

Рассмотрим наиболее значимые этапы разработки полетных контроллеров:

1. Анализ существующих изделий
2. Выбор структуры и основных параметров будущего изделия
3. Создание структурной схемы
4. Поиск компонентной базы
5. Создание и испытание прототипов будущего изделия
6. Создание электрической схемы
7. Проектирование и изготовление печатных плат

Выбор структуры и основных параметров будущего изделия – это фактически составление технического задания, в котором, помимо цели и структуры, отражены также технические требования к изделию.

Одним из ключевых этапов разработки любого электронного оборудования является создание структурной и принципиальной электрической схем. Структурная схема – это упрощенное графическое представление структурных блоков изделия и взаимосвязей между ними. Служит для упрощения восприятия основных функциональных особенностей изделия. Электрическая схема – это наиболее подробное графическое изображение, которое показывает, каким образом между собой соединены электронные компоненты изделия, однако не учитывает их физического расположения.

Печатными платами называются пластины, предназначенные для электрического и механического соединения различных электронных компонентов. Печатные платы проектируют в специальных САД-программах. Сам процесс проектирования достаточно трудоемкий и состоит из множества этапов: определение размеров печатной платы, расположение и графическое соединение компонентов в соответствии с электрической схемой, виртуальное тестирование печатной платы с целью оптимизации проводки, шелкография и др.

Подводя итоги, могу с уверенностью сказать, что направления, связанные с разработкой бортовой электроники для суборбитальных ракет, имеют множество перспектив не только в ракетомодельном спорте, но и в научно-исследовательской сфере. Модульная конструкция, в свою очередь, позволяет сделать взаимодействие с полетным контроллером более эффективным и доступным широкому кругу пользователей: от учащихся старших классов до студентов машиностроительных ВУЗов.

Москва, 2023

Список литературы:

1. Интернет-сообщество Habr. Как выбрать подходящий модуль спутникового позиционирования для своего проекта. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/516994/>
2. Сергей Краснов. Что нужно знать для успешного проектирования печатных плат. – Режим доступа: <https://russianelectronics.ru/chto-nuzhno-znat/>
3. Василий Терешков. Оценивание пространственной ориентации. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/438060/>
4. Канаев В. И. Ключ на старт – М.: Молодая гвардия, 1972. – 135 с.
5. Феодосьев В. И. Основы техники ракетного полета – М.: Наука, 1979. – 494 с.
6. Кротов И. В. Модели ракет – М.: ДОСААФ, 1979. – 175 с.

Сайт, посвященный моим проектам: www.altimion.com

Подробнее о полетных контроллерах: www.altimion.com/avionics