

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ И СОПУТСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ КВАДРОКОПТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Д.А. Вольф

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: runsolar@mail.ru

А.С. Широков

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: shiras@ipu.ru

Ключевые слова: полетный контроллер, летательный аппарат, квадрокоптер.

Аннотация: В статье освещается архитектура опытного образца полетного контроллера, разрабатываемого Институтом проблем управления Российской академии наук на базе отечественной микросхемы. Приводится общая архитектура полетного контроллера. Рассматривается как аппаратная составляющая, так и программная. Приведена структура процесса управления квадрокоптером с использованием разработанного полетного контроллера.

1. Введение

Беспилотные системы, такие как квадрокоптеры, становятся все более популярными и широко используются в различных областях. Изучение атмосферы, мониторинг окружающей среды или конкретных объектов, фото- и видеосъемка, доставка грузов и другие задачи выполняются с применением таких систем в сельском хозяйстве, промышленности и научной сфере.

Современная спортивная индустрия также не обходится без квадрокоптеров, так как благодаря их способности снимать высококачественные видео и фотографии с воздуха, позволяет создавать захватывающие и увлекательные материалы для зрителей. Например, они используются для освещения спортивных событий, таких как футбол, баскетбол и хоккей, а также для тренировки спортсменов для дрон-рейсинга.

Чтобы успешно использоваться, квадрокоптеры должны обладать определенными характеристиками. Они должны быть легкими и маневренными для обеспечения быстрого и точного управления, иметь высокую скорость полета и хорошую устойчивость для стабильного и безопасного полета. За устойчивость, стабильный полет и безопасность в большей степени ключевая роль в квадрокоптерных системах отведена полетному контроллеру.

Полетный контроллер является важным компонентом квадрокоптера. Он отвечает за управление полетом дрона, обеспечивая стабильность и безопасность полета. Полетные контроллеры используются в различных типах беспилотных летательных аппаратов, включая квадрокоптеры, гексакоптеры и октокоптеры. Одним из основных

преимуществ использования полетного контроллера является возможность автоматической стабилизации дрона в воздухе, автоматическую стабилизацию и возвращение дрона к точке взлета при потере сигнала. Таким образом, это делает его идеальным объектом для научных исследований, так как позволяет ученым, преподавателям и студентам лучше понять принципы работы беспилотных систем и их применения в повседневной жизни.

Очевидно, что разработка полетного контроллера является сложным проектом, так как требует тщательного изучения основных и сопутствующих процессов в задаче управления полетом квадрокоптерной системы.

2. Общая архитектура полетного контроллера

На данный момент, в Институте проблем управления Российской академии наук (ИПУ РАН) разрабатывается экспериментальный образец прошивки полетного контроллера для отечественной микросхемы MDR32F9Q2I (K1986BE92RUS), что является значимым событием в области беспилотных авиационных систем [1].

Аппаратная часть полетного контроллера представляет собой небольшую плату, на которой расположены датчики для измерения ускорения, угловой скорости (mpu6050), давления (bmp280) и магнитного поля (hmc5883l). Датчики установлены на плате, что позволяет легко монтировать контроллер на различные типы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Текущий форм-фактор полетного контроллера позволяет устанавливать его на различные типы рам БПЛА, включая F450, S550, iFlight Chimera 7 Pro V2 [2].

Стоит отметить, что ближайшим зарубежным аналогом данного полетного контроллера является NAZE32, который базируется на микросхеме STM32F103.

Архитектура прошивки полетного контроллера состоит из трех основных систем: эффекторной, сенсорной и вычислительной.

Эффекторная система отвечает за активное воздействие на окружающую среду, включая перемещение в воздухе и управление двигателями.

Сенсорная система собирает информацию об окружающей среде, а вычислительная система обрабатывает эту информацию и управляет полетом квадрокоптера.

Сенсорная система квадрокоптера является ключевым элементом беспилотного летательного аппарата, обеспечивающим сбор, хранение и обработку информации об окружающем мире. Образованная в результате этой обработки внутренняя модель мира позволяет квадрокоптеру взаимодействовать с окружающей средой и выполнять различные задачи, такие как аэрофотосъемка или мониторинг окружающей среды.

Одной из важных задач подсистемы обработки данных сенсорной системы является обработка измерений линейных и угловых перемещений. Эта подсистема использует данные, полученные от датчиков, для определения положения и ориентации БПЛА в пространстве. Благодаря этой подсистеме, БПЛА может автоматически возвращаться к исходной точке, если теряется связь с пультом управления.

Вычислительная система БПЛА – это комплекс программ, которые обрабатывают и анализируют информацию, поступающую от датчиков и других систем. Эта информация используется для управления полетом и выполнения задач, таких как аэрофотосъемка или мониторинг. Внутренняя информация включает данные о положении и скорости БПЛА, а внешняя информация может включать данные о погодных условиях, препятствиях и т.д. На основе этой информации вычислительная система формирует команды для эффекторной системы, которая непосредственно управляет полетом.

Динамической задачей на данном управляющем уровне сводится к контролю заданного положения в воздушном пространстве. В свою очередь каждая система состоит из подсистем (модулей):

- модули сбора информации;
- модуль определения ориентации;
- модули управления ориентацией: PID, Mixer, Motors controller;
- модуль приема внешних управляющих команд;
- низкоуровневые драйверы, обеспечивающие коммуникационный обмен (UART, I2C);
- ядро системы – менеджер ресурсов.

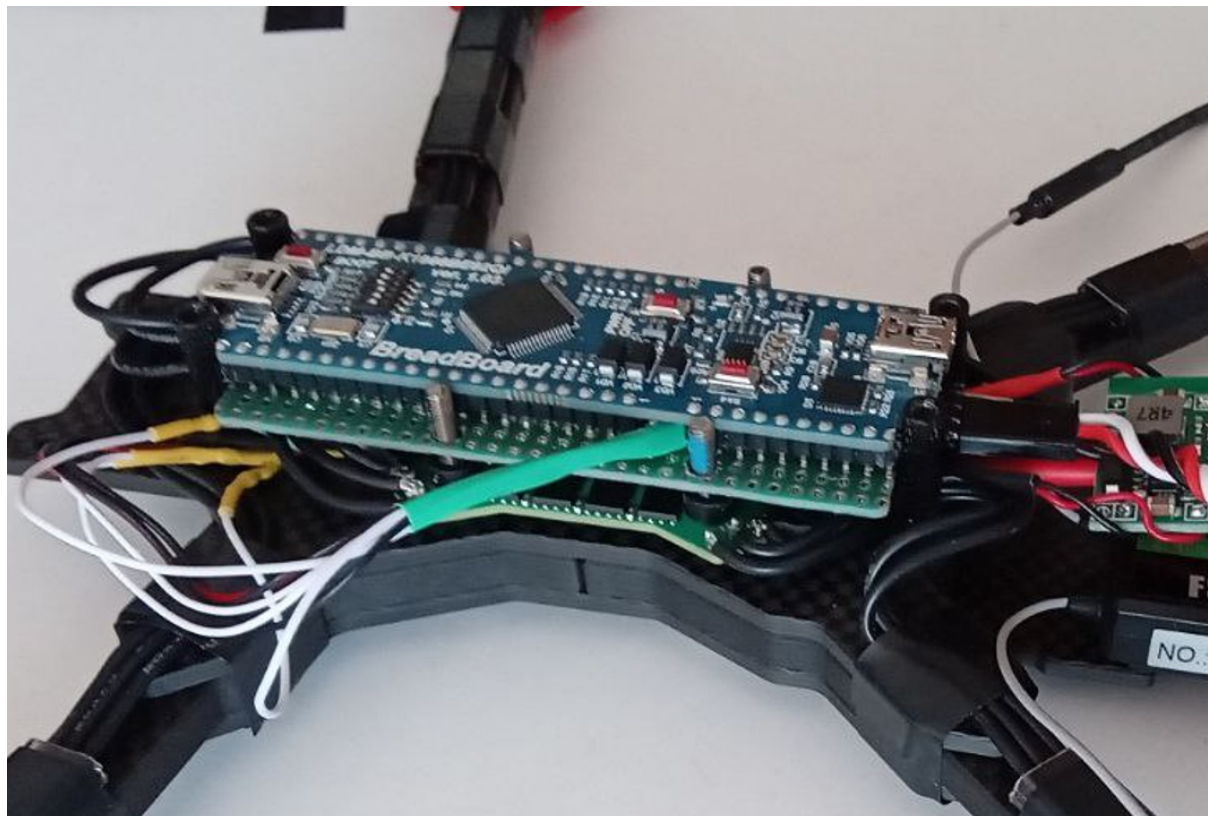


Рис. 1. Опытный образец разрабатываемого полетного контролера на борту FPV рамы iFlight Chimera7 Pro V2.

3. Основные и сопутствующие процессы в задаче управления квадрокоптером

Процесс управления БПЛА начинается с задания оператором уставок – требуемых значений для ориентации, высоты и скорости полета. Затем регулятор на основе этих данных и текущей информации о полете формирует управляющие сигналы для полетного контроллера. Полетный контроллер, в свою очередь, генерирует сигналы управления для двигателей. Датчики на борту БПЛА собирают данные об ускорении, угловой скорости, давлении и магнитной ориентации, которые обрабатываются контроллером для расчета параметров управления и стабилизации полета. Затем процесс управления повторяется с учетом обновленных данных, и БПЛА продолжает

выполнение задания с учетом уставок оператора. Таким образом, процессы в полетном контроллере можно разделить на следующие этапы:

- 1) Получение задающего воздействия: оператор задает уставки (требуемые значения ориентации, высоты, скорости и т. д.);
- 2) Управление на основе регулятора: контроллер обрабатывает уставки и текущую информацию о полете для генерации управляющих сигналов;
- 3) Сигналы управления двигателями: полетный контроллер передает управляющие сигналы на двигатели;
- 4) Сбор данных: датчики на борту БПЛА измеряют ускорение, угловую скорость, давление и магнитные данные;
- 5) Обработка данных: контроллер обрабатывает полученные данные для расчета параметров управления;
- 6) Стабилизация полета: регулятор контроллера использует рассчитанные параметры для стабилизации БПЛА в полете.

Таким образом, процессы, которые протекают в полетном контроллере в задаче управления БПЛА можно описать следующим образом (рисунок 2):

Состояние 1: получение задающего воздействия. Оператор БПЛА задает уставку (требуемые значения тангажа, крена, рысканья и газа).

Состояние 2: управление на основе регулятора. На основе полученных уставок и текущих данных (измеренных угловых скоростей, ускорений и других параметров) регулятор формирует управляющие сигналы для контроллера полета. В текущей реализации полетного контроллера осуществляется управление на основе ПИД регулятора (однако в дальнейшем при необходимости пользователя может быть использован другой вариант на основе: нейронной сети, программного управления или других методов). Регулятор использует входные данные для определения необходимого управляющего воздействия, которое затем обрабатывается в третьем состоянии.

Состояние 3: задание режима работы двигателям. Контроллер полета формирует управляющие сигналы ШИМ для каждого двигателя, обеспечивая требуемые значения углов и скоростей.

Состояние 4: измерение. Сенсорной системой производится измерение угловых скоростей, линейных ускорений, атмосферного давления и магнитной ориентации – осуществляется с помощью датчиков, поддерживаемых полетным контроллером.

Состояние 5: предобработка и вычисление вспомогательных величин. Контроллер проводит обработку полученных данных, вычисляя необходимые величины (углы, скорости и т. д.) для управления БПЛА. После этого процесс повторяется, осуществляется переход к первому состоянию, и контроллер продолжает управлять аппаратом на основе новых входных данных и рассчитанных параметров.

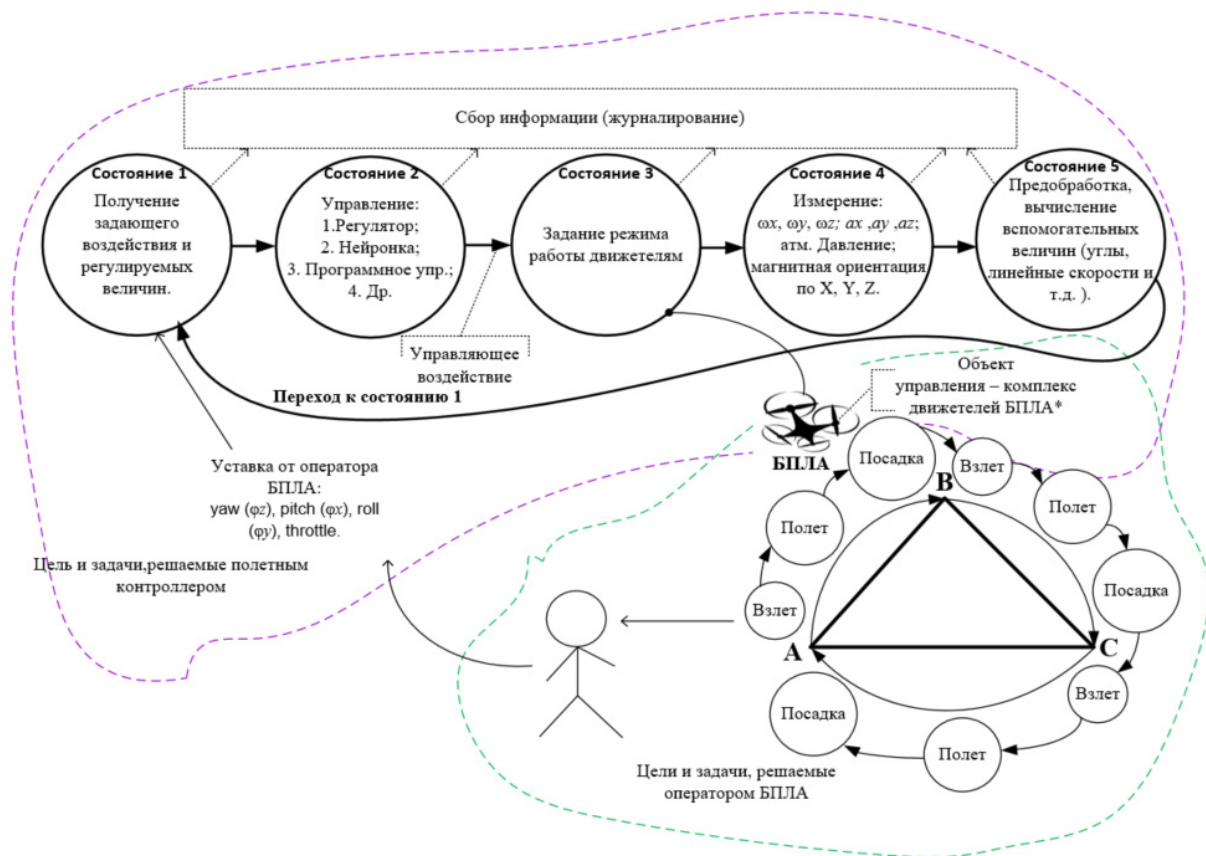


Рис. 2. Схема основных и сопутствующих процессов в задаче управления полетом квадрокоптерной системой.

4. Заключение

Разработка полетного контроллера является важным шагом в развитии отечественной беспилотной авиации и расширении возможностей применения БПЛА в различных областях. Разработанный контроллер обладает рядом преимуществ перед зарубежными аналогами, такими как: «прозрачность» платформы (заменяемая элементная база и открытость программной прошивки); возможностью интеграции различных видов систем управления и алгоритмов фильтрации; получении различных вариантов архитектур (собственных реализаций) программных прошивок полетного контроллера. И таким образом, обеспечивается независимый и полный контроль всех этапов разработки полетного контроллера.

В работе представлена архитектура полученного полетного контроллера и процесс управления БПЛА, оснащенного таким контроллером.

Список литературы

1. Вольф Д.А., Александров В.А., Резков И.Г. Автоматизация поведения пилота БПЛА с применением отечественного микроконтроллера // Промышленные АСУ и контроллеры. 2023. № 3. С. 9-16.
2. Wolf D.A., Alexandrov V.A., Shatov D., Rezkov I.G., Trefilov P.M., Meshcheryakov R.V. Development of a Firmware for Multirotor UAV Flight Controller Implemented on MCU MDR 32 // Ronzhin A., Sadigov A., Meshcheryakov R. (Eds.) Interactive Collaborative Robotics. ICR 2023. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2023. Vol. 14214. P. 345-356. DOI: 10.1007/978-3-031-43111-1_31.