

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ СИСТЕМА «МИКРОКОНТРОЛЛЕР С ПОДДЕРЖКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ И ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ»

Пржелясковская В.Д., студент группы 050501

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Луцик Ю.А. – доцент, канд. технических наук

Объектом исследования являются беспилотные роботизированные системы. Предметом исследования являются технологии стабилизации и ориентации в пространстве. Цель исследования: разработать устройство с внедренной системой стабилизации положения, которая обеспечит устойчивое зависание в пространстве и эффективное управление ориентацией в различных условиях, таких как изменение направления и скорости ветра, механические воздействия на беспилотную роботизированную систему, изменение температуры и давления в окружающей среде. Для достижения поставленной задачи была разработана плата с микроконтроллером и различными датчиками для реализации возможности ориентации устройства в пространстве и создан вариант программного обеспечения для автономной стабилизации.

Основной областью применения микроконтроллеров с поддержкой стабилизации и ориентации в пространстве являются автономные роботизированные системы, которые играют важную роль в современных отраслях промышленности и научных исследований. К таким устройствам относятся, например, электронные стедикамы, которые стабилизируют камеры при съемке видео и фотографий в движении, повышая качество изображений. Также к ним относятся устройства для промышленного применения, такие как грузовые дроны и автономные роботы, где микроконтроллеры с поддержкой стабилизации и ориентации в пространстве способствуют повышению эффективности и безопасности процессов.

При изучении темы стабилизации объектов в трехмерном пространстве важной задачей является определение ориентации этих объектов относительно горизонтальной плоскости. Иными словами, цель состоит в том, чтобы в реальном времени получать информацию об углах наклона объекта относительно поверхности Земли [1]. Для решения этой задачи используются такие датчики, как гироскоп и акселерометр. Однако, при их использовании возникают некоторые сложности [2]:

– дрейф нуля гироскопа: отклонение показаний датчика от нулевого положения при отсутствии измеряемого воздействия. Данная особенность присуща микроэлектромеханическим (МЭМС) гироскопам, так как они представляют собой сложную трехслойную структуру и имеют температурную зависимость своих параметров, а именно, из-за изменения температуры при работе устройства происходит изменение размеров кремниевых элементов и давления внутри капсулы, что приводит к изменению собственной частоты гироскопов и, как следствие, их выходных показаний;

– низкочастотный шум, вызванный интегрированием угловой скорости при измерении угла с помощью гироскопа;

– постепенное накопление ошибки вычисления угла из-за ограниченной точности переменных, используемых в коде микроконтроллера;

– акселерометр чувствителен к воздействию внешних сил, таких как вибрация или тяга двигателей, что может приводить к ошибкам в измерении угла наклона.

Из вышесказанного следует, что оба этих датчика имеют недостатки и не могут использоваться напрямую в системах, требующих высокой точности оценки угла наклона. Для решения этой проблемы применяют специальные фильтры, например, такие как фильтр Калмана, фильтр Маджвика, фильтр Махони, комплементарный фильтр, которые учитывают преимущества каждого датчика и компенсируют их недостатки.

Наиболее распространенным и простым в реализации является комплементарный фильтр. Его основная идея состоит в совмещении выходов гироскопа и акселерометра. Данный фильтр является упрощенной версией фильтра Калмана для одномерного случая, в которой первый компонент функционирует как звено предсказания [3]. При этом изменение угла определяется не на основе математической модели системы и известного управляющего сигнала, а исходя из угловой скорости на предыдущем шаге:

$$\varphi_{i+1} = (1 - \delta) \cdot (\varphi_i + \omega_i \Delta t) + \delta \cdot \arctg \left(\frac{F_{y\ i+1}}{F_{x\ i+1}} \right), \quad (1)$$

где φ_{i+1} и φ_i – угол, вычисленный при помощи фильтра, на текущем и предыдущем шагах соответственно; δ – коэффициент фильтра; $F_{y\ i+1}$ и $F_{x\ i+1}$ – проекция силы реакции опоры на оси y и x соответственно; ω_i угловая скорость на предыдущем шаге; Δt шаг интегрирования.

Структурная схема комплементарного фильтра представлена на рисунке 1:

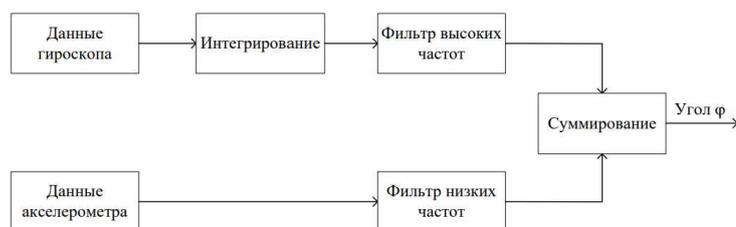


Рисунок 1 – Структурная схема комплементарного фильтра для МЭМС гироскопа и акселерометра

Существуют различные способы построения контуров управления объектом, такие как, например, использование ПИД-регуляторов, управление с прогнозирующими моделями, применение скользящего режима управления, «бэкстеппинг» управление (метод обратного обхода интегратора). Выбор был осуществлен в пользу ПИД-регулятора, так как он является наиболее распространенным и относительно простым с математической точки зрения [4].

Управляющие сигналы вычисляются по формуле (2), а затем после прохождения через микшер посылаются на соответствующие актуаторы:

$$u(t) = P + I + D = K_p \cdot e(t) + K_I \cdot \int_0^t e(t) + K_D \cdot \frac{de(t)}{dt}, \quad (2)$$

где $u(t)$ – выходная величина регулятора; $e(t)$ – ошибка регулирования; K_p , K_I , K_D – пропорциональный, интегральный и дифференциальные коэффициенты регулятора.

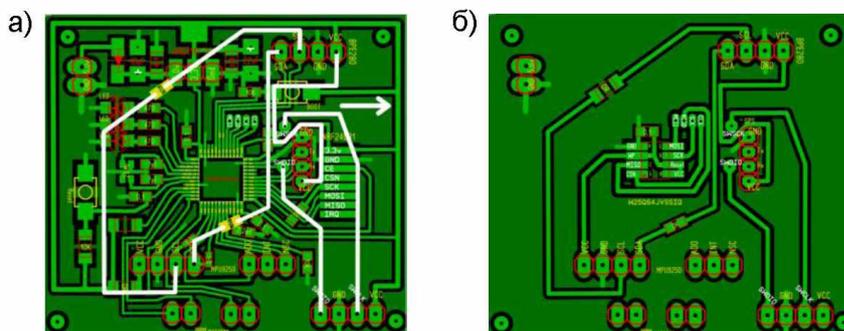


Рисунок 2 – Печатная плата разработанного устройства: а – вид спереди; б – вид сзади

В ходе исследования было разработано устройство, которое базируется на устройстве, описанном в источнике [5]. Настоящее устройство представляет собой печатную плату (см. рисунок 2), «сердцем» которой является микроконтроллер STM32F411CEU6, имеющий ядро ARM Cortex-M4, способный работать на частоте до 100 МГц. В качестве датчика для определения ориентации объекта в пространстве был использован модуль MPU-9250, который представляет из себя систему в корпусе, объединяющую два чипа: MPU-6500, который содержит в себе 3-осевой гироскоп, 3-осевой акселерометр и встроенный цифровой процессор движения, способный обрабатывать сложные алгоритмы MotionFusion; и AK8963 – 3-осевой цифровой магнитометр. Также были внесены дополнения в конструкцию платы, обеспечивающие её более широкую совместимость с различными модулями, такими как BNO055 для измерения угловых скоростей и ускорений. Для определения высоты используется датчик BME280, который помимо барометра может выполнять функцию термометра и гигрометра, что позволяет дополнительно снимать параметры окружающей среды и может использоваться в дальнейшем для обработки данных. За определение координат объекта отвечает датчик GPS Veitian BN-220, отличающийся малыми габаритами и возможностью ориентирования по таким системам навигации, как GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, QZSS и SBAS. Также на плату добавлен модуль радиосвязи NRF24L01 для обеспечения возможности получения заданных пользователем углов ориентации (крен, тангаж, рысканье) и подбора коэффициентов ПИД-регулятора и комплементарного фильтра непосредственно во время работы устройства. Для сохранения телеметрии установлена карта FLASH-памяти W25Q64JVSSIQ на 64МБит.

Список использованных источников:

1. Федеров Д. С., Ивойлов А. Ю., Жмудь В.А, Трубин В.Г. Разработка системы стабилизации угла отклонения балансирующего робота // Автоматика и Программная Инженерия, 2015, №2(12), 2005, с. 16-34.
2. Крылов А.А., Кузнецов П.С. Устранение смещения нуля МЭМС-гироскопов при различной температурной динамике. Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2019;(2):34-39.
3. Зо Мью Наин, Шагин А.В., Ле Винь Тханг, Хтин Линн У. Комплементарный фильтр для оценки угла с использованием микроэлектромеханической системы гироскопа и акселерометра // Инженерный вестник Дона. 2020. № 3.
4. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. СТА, №4, 2006, С. 66- 74
5. Пржелясовская В.Д. Программно-аппаратная система стабилизации полета беспилотного летательного аппарата: 59-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов // БГУИР 2023. – С. 44-45.