

# Особенности построения полетного контроллера БВС при проведении дистанционного зондирования земли

Д.А. Ворох

Самарский национальный  
исследовательский университет  
им. академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
vorokh.da@ssau.ru

Д.Н. Овакимян

Самарский национальный  
исследовательский университет  
им. академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
ovakimyan.dn@ssau.ru

В.С. Кириллов

Самарский национальный  
исследовательский университет  
им. академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
kirillov.vs.1@ssau.ru

**Аннотация** — В статье рассмотрены основные особенности построения полетного контроллера беспилотного воздушного судна (БВС), позволяющие существенно расширить его функциональные возможности и повысить точность позиционирования судна в пространстве. Предложен вариант технической реализации вычислительного модуля, который позволит улучшить характеристики системы автопилотирования судна.

**Ключевые слова** — Глонасс, GPS, автопилотирование, беспилотное воздушное судно, вычислительный модуль, точность.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Дистанционное зондирование земли при помощи беспилотных воздушных судов (БВС) обладает множеством достоинств, одно из которых – высокая детализация наблюдаемых объектов. При этом присутствует существенный недостаток, который подразумевает маленькую зону наблюдения, которую сложно расширить за счет увеличения апертуры и разрешения применяемых систем зондирования. Одним из способов расширения зоны наблюдения является облет заданного участка земли, однако такой метод подразумевает высокую точность поддержания курса БВС в соответствии с полетным заданием в режиме автоматического пилотирования. В связи с этим существует потребность создания интеллектуальных полетных контроллеров (ИПК) для БВС, способных достаточно точно поддерживать свой курс или местоположение в пространстве и имеющих возможность работы в автономном режиме.

## II. СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Одним из наиболее важных источников информации о местоположении БВС является спутниковая навигационная система (СНС) Глонасс/GPS. Наличие и устойчивый прием СНС Глонасс/GPS, как правило, является обязательным условием успешного выполнения задачи БВС. Выход из строя бортовых приемников сигналов СНС, намеренное подавление сигналов СНС, иные технические сбои приводят, в большинстве случаев, к авиационным происшествиям. В связи с этим, разработка ИПК способные выполнять свои задачи в отсутствии сигналов СНС представляет собой важную и актуальную научно-техническую задачу.

Основными структурными элементами интеллектуального полетного контроллера являются:

- датчики инерциальной навигационной системы;

- видеокамеры и модуль обработки видеоданных;
- приемник СНС Глонасс/GPS;
- вычислительное устройство;
- разнообразные интерфейсы связи.

К датчикам инерциальной навигационной системы относятся: гироскоп, акселерометр, магнитный компас, которые выполнены по МЭМС-технологии. Информация от этих датчиков позволяет выполнять стабилизацию положения БВС в пространстве, определять направление полета (как в абсолютных значениях модуля и угла вектора ускорения, так и в привязке к магнитным полюсам земли), корректировать курс после внешних воздействий (например, ветра) и т.д. Выполняя обработку (в сущности, интегрирование) во времени, по специальным методикам, данных от акселерометра становится возможным вычисление скорости движения БВС, пройденного пути и составление маршрута пройденного БВС от момента начала полета. При этом стоит сказать, что точность вычислений пути и маршрута невелика. Это связано с низкой тонностью определения ускорения датчиком, к примеру, датчик MPU-9250 обладает точностью порядка 3%, а максимальная ошибка определения крена и тангажа может достигать 30 и 10 градусов соответственно. При обработке показаний акселерометра, для вычисления пути маршрута, ошибка еще сильнее возрастает в виду ее накопления. Эти утверждения подтверждаются экспериментальными данными, в рамках которых БВС вертикального взлета, при использовании микросхемы акселерометра LSM303D, на дистанции полета в 300 метров ушел с маршрута и приземлился на 5 метров раньше запланированной точки. Отсюда следует вывод, что необходимо использовать акселерометры высокой точности и необходимо периодически уточнять местоположение БВС при помощи СНС Глонасс/GPS или альтернативных систем (например, систем технического зрения, видеонавигации) для снижения накопленной ошибки.

Для определения высоты полета используются барометр и ультразвуковой высотомер. Необходимость использования, как высотомера, так и барометра определяется низкой точностью барометра при определении текущей высоты в области малых высот.

Интерфейс датчиков и приборов связывает первичные преобразователи информации с шиной модуля управления. Вследствие больших объемов видеоданных в состав ИПК введен специальный модуль обработки видеоданных. Данное решение позволяет разгрузить модуль управления, освободить его от задач, связанных с обработкой видеoinформации. Интерфейс телеметрии предназначен для подключения приемника

сигналов управления от пульта внешнего пилота (оператора) БВС. Интерфейс устройств управления движением связывает модуль управления с двигателями БВС, частота вращения которых определяет скорость и направление полета. Устройство содержит также интерфейс настройки, позволяющий подключать ноутбук, смартфон или другое устройство с помощью стандартных интерфейсов - USB, WiFi, Bluetooth. Принцип работы интеллектуального полетного контроллера заключается в получении информации от систем спутниковой связи, систем технического зрения, инерциальной навигационной системы и формировании управляющих сигналов после комплексирования полученных данных [1].

Особенностью данного варианта полетного контроллера является разнесение вычислительных операций между модулями обработки видеоданных и управляющим модулем. Это позволяет управляющему модулю ИПК абстрагироваться от громоздких операций по обработке данных, получаемых с четырех видеокамер.

Рассмотрим подробнее реализацию модуля обработки видеоданных, позволяющего обрабатывать большие массивы информации, поступающие с четырех видеокамер и формировать управляющие сигналы для ИПК с целью коррекции текущего курса и местоположения БВС.

Видеокамеры по протоколу ICS соединены с вычислительным модулем, сам модуль по протоколу UART через буфер соединен с ПК. Для применений, в которых не критичны большие объемы видеоданных, возможно использование изделия с умеренными характеристиками (изделие 1). Сравнительная характеристика основных параметров используемых модулей представлена в таблице 1. Из данных в таблице 1 следует, что габариты и краевой разъем для подключения сравниваемых типов вычислительных модулей идентичны. Это позволяет упростить процесс разработки ИПК с конструктивной и программной точки зрения.

Таблица 1. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Параметр	Параметр	
	Изделие 1	Изделие 2
Графический процессор	128 Core Maxwell 0.5 TFLOPs	384 Core Volta 21 TFLOPs
Центральный процессор	4 core ARM A57	6 core Carmel ARM V8
Память	4 GB 64-bit LPDDR4	8 Gb 128-bit LPDDR4
Габаритные размеры	69,6 mm x 45 mm	69,6 mm x 45 mm
Подключение	260 pin edge connector	260 pin edge connector

Использование систем технического зрения, видеонавигации предполагает, что БВС имеет карданный подвес, позволяющий камерам быть нацеленными на определенные объекты, при этом возможно использование данных камер с целью определения текущих координат, а также вычисление

последующих с использованием определенного алгоритма сопоставления текущего изображения с предыдущим. При этом предполагается, что исходное положение БВС является точкой отсчета, которая может быть определена СНС. При обработке изображений может быть использован алгоритм ASIFT. Алгоритм ASIFT при трансформировании фотоизображений БВС состоит из следующих этапов:

- 1) каждое изображение преобразуется путем имитации всех возможных аффинных искажений, вызванных изменением оптической ориентации оси камеры (долготы  $\phi$  и широты  $\theta$ ) относительно фронтальной позиции. Изображения поворачиваются на угол  $\phi$ , после чего следуют наклоны с параметром  $t$ . Для цифровых изображений наклон осуществляется созданием  $t$ -подвыборки. На этом этапе применяется сглаживающий фильтр;
- 2) все смоделированные изображения сравниваются алгоритмом SIFT;
- 3) отсеивание неправильных совпадений, где критерием отбора является то, что совпадения должны быть совместимы с эпистолярной геометрией.

Производя анализ вычислительной сложности алгоритма суммарное время этапа выделения характерных точек и этапа поиска соответствующих точек значительно превышает суммарное время всех этапов алгоритма. Поэтому их отношение примерно равно единице. Следовательно, если требуется сократить время обработки фотоизображений БВС, то необходимо распараллеливать только этапы выделения характерных точек и поиск. Таким образом, разработанное программно-алгоритмическое обеспечение позволяет мультиплексировать данные с разных навигационных систем, повышая тем самым надежность и универсальность системы управления БВС.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря использованию четырех камер и внешнего вычислительного модуля удалось расширить функциональные возможности БВС:

- производить обзор земной поверхности, и использовать этот поток информации для стереоскопического дистанционного зондирования земли и для построения системы автопилотирования;
- ввести дополнительный информационный (оптический) канал, формирующий данные о местоположении БВС;
- повысить отказоустойчивость БВС в случае потери информации от СНС Глонасс/GPS;
- повысить точность определения местоположения БВС при совместном использовании инерциальной системы навигации и информации с камер.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Интеллектуальная система автоматического управления беспилотным летательным аппаратом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://yandex.ru/patents/doc/RU164139U1\\_20160820?ysclid=lp46dxwjif600778762](https://yandex.ru/patents/doc/RU164139U1_20160820?ysclid=lp46dxwjif600778762) (01.09.2023).
- [2] МЭМС акселерометры, магнитометры и углы ориентации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/491476/> (01.09.2023)