

2. Моделирование и настройка систем с нелинейной динамикой / Д. А Гринюк [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2021. № 2 (248). С. 65–71.

3. Оптимизация параметров фильтра с управляемым ограничителем для слабых сигналов / Д. А Гринюк [и др.] // Наука и Техника. 2003. № 5. С. 32-34. DOI: 10.21122/2227-1031-2003-0-5-32-34.

4. Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г. Использование алгоритмов аппроксимации для сглаживания трендов измерительных преобразователей // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2017. № 2 (200). С. 82–87.

УДК 53.083

## **ВЫБОР ЭЛЕМЕНТОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ**

Д.А. ГРИНЮК, Н.М. ОЛИФЕРОВИЧ,  
Т.А. ДЕЙНЕКА, Г.А. КУСТОВ

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

При построении беспилотных аппаратов информационные потоки обусловлены тремя типа данных: видеопоток, телеметрия и вспомогательная информация [1]. Основной задачей обработки видеосистемы БЛПА является кодирование исходной картинки в более плотный объем информации для передачи операторам или сохранение на носителях для последующего анализа [2]. Телеметрические данные – это данные с датчиков GPS или IMU (ИНС, инерциальной навигационной системы). Эти данные участвуют или в автономном управлении или опять же предоставляются оператору. Они отображаются с помощью специальной опорной схемы с формальным оформлением. Очень часто для повышения качества пилотирования используются опорные изображения USGS DEM (цифровая высотная сетка) и USGS DOQQ (цифровой ортофотоплан Quarter Quadrangle). Они различаются как по структуре, так и по определению должны быть совместно зарегистрированы, чтобы можно было выполнить интеллектуальную оценку 3D GCPS (глобальной климатической системы).

Каждый из этих датчиков выполняет свою уникальную роль и в совокупности они обеспечивают надежную работу БЛПА в различных условиях и для различных задач.

Для управления БПЛА применяют большой класс датчиков:

- Гироскопы нужны для измерения угловую скорость, контроля ориентации БПЛА и стабилизации аппарата во время полета;

- Акселометры измеряют линейное ускорение и помогают определить положение БПЛА относительно земли. В сочетании с гироскопами они обеспечивают более точную навигацию;

- GPS-датчики (или IMU) используются для определения местоположения БПЛА и навигации;

- Барометры еще один датчик для навигации, который по давлению позволяет определять высоту полета БПЛА;

- Магнитометры используются для определения направления относительно магнитного поля Земли;

- Ультразвуковые датчики предназначены для измерения расстояние до поверхности земли или других объектов. Полезны для предотвращения столкновений и обеспечения безопасного приземления.

- Датчики скорости измеряют скорость БПЛА относительно воздуха или земли. Это важно для управления полетом и поддержания стабильности.

- LIDAR (лазерные дальномеры) используются для создания трехмерных карт местности и определения расстояний до объектов с высокой точностью.

- Датчики колебаний необходимы для измерения вибраций и колебаний, что может помочь в диагностике состояния БПЛА и его компонентов.

- Датчики столкновений используют различные технологии (например, инфракрасные или радиочастотные) для обнаружения препятствий и предотвращения столкновений.

Для сбора полезной информации можно выделить следующие источники и технические устройства.

**Видеокамеры или RGB-датчик.** Существует множество серий RGB-камер, доступных в продаже, и они используются для различных применений. Существует несколько общих параметров для выбора RGB-камер:

- *Разрешение.* Чем выше разрешение камеры, тем более детализированное изображение она будет передавать. Для большинства задач оптимальными являются камеры с разрешением от 1080p до 4K;

- *Частота кадров.* Высокая частота кадров (например, 60 fps и выше) обеспечивает плавность видео;

- *Тип сенсора;*

- *Угол обзора;*

- *Стабилизация изображения.* Оптическая или электронная стабилизация поможет уменьшить дрожание и размытость изображения,

особенно при полетах на высокой скорости или в ветреную погоду;

- *Вес и размер.* Камера должна быть легкой и компактной, чтобы не перегружать БПЛА и не снижать его маневренность;

- *Энергетическая эффективность.* Важно учитывать, сколько энергии потребляет камера, чтобы не сокращать время полета БПЛА;

- *Внешние условия.* При эксплуатации в условиях низких температур температурный диапазон работы может повлиять на выбор;

- *Качество записи в условиях низкой освещенности.* Если планируется использование в условиях плохого освещения, стоит обратить внимание;

- *Наличие дополнительных функций.* Некоторые камеры могут иметь функции, такие как Wi-Fi или Bluetooth для передачи данных, возможность записи в разных форматах, наличие встроенного микрофона и т.д;

- *Совместимость с БПЛА.* Убедитесь, что выбранная камера совместима с вашим БПЛА по креплению и интерфейсу подключения.

- *Цена.* Определите бюджет и найдите оптимальное соотношение цены и качества, учитывая все вышеуказанные параметры.

- *Отзывы и репутация производителя.* Изучите отзывы пользователей и репутацию производителя, чтобы убедиться в надежности и качестве камеры.

**Мультиспектральные датчики или камеры.** Мультиспектральные камеры являются одними из важнейших датчиков, обычно используемых в качестве дополнения к RGB-камерам в семействе датчиков БПЛА. Работа этого датчика предназначена для экспертов по растительности и сельском и лесном хозяйстве. Эта камера используется для наблюдения за уровнем воды на фермах, например, для оценки заболеваний на уровне листьев. Невероятно хорошая особенность мультиспектрального датчика заключается в том, что он собирает данные с высоким разрешением (намного лучше, чем 30 см Ground Testing Separate (GCD)), что часто не осуществимо в обычных мультиспектральных камерах. Это отличается от RGB-камер тем, что, как правило, мультиспектральные камеры поставляются с более высокой скоростью выборки из-за дополнительного оборудования, необходимого для подключения дополнительных групп к группам RGB.

**Гиперспектральные датчики.** Гиперспектральные датчики используются для получения изображений с сотнями предельных групп (пропускная способность 5–10 нм). Большинство гиперспектральных датчиков представляют собой прямые кластерные камеры. Гиперспектральные датчики собирают большие объемы данных, которые чрезвычайно ценны для многочисленных приложений. Чаще всего легкие гиперспектральные камеры имеют полумногомерные диапазоны (от 400 нм

до 1100 нм или от 1100 нм до 2500 нм) по сравнению с воздушными гиперспектральными камерами. Это не проблема для гиперспектральных датчиков на базе БПЛА, поскольку требует небольших усилий в плане полета и ценой ограниченного наземного обзора. Разрешение полученных изображений может достигать уровней от 2 см до 5 см или ниже.

**Тепловой инфракрасный датчик.** Тепловой инфракрасный датчик – это один из пассивных датчиков среднего класса с длиной волны от 3 до 35 мкм. Они в основном используются для измерения температуры поверхности и оценки тепловых потоков. Основной проблемой обеспечения температуры и излучательной способности двигателя является концентрация и её передача. Тепловые датчики часто используются для получения данных в режиме реального времени с предварительным выбором необходимой частоты захвата. Тепловые данные могут быть использованы для различных сельскохозяйственных и природных применений, а также для других применений с использованием тепловизионной камеры.

**Лидары.** Датчики LIDAR (обнаружение света и определение дальности) также известны как один из самых точных способов сбора геометрических данных. Эти датчики широко используются в службах рейнджеров, социальном наследии и моделировании данных зданий. Портативные, научные и наземные LIDAR в настоящее время производятся как в промышленности, так и в научном сообществе. Датчики GPS или IMU (инерциальный измерительный блок) в беспилотных летательных аппаратах часто ошибаются в определении датчика, поэтому платформа также более нестабильна во время полета. Высокоточные системы LIDAR, которые устанавливаются на БПЛА, как правило, поставляются с дифференциальными станциями GPS.

**Датчики LiDAR для обнаружения криминалистических улик.** Беспилотные летательные аппараты используются для сбора данных с высокой точностью обнаружения криминалистических улик с использованием подхода LiDAR. Системы LiDAR в беспилотных летательных аппаратах помогают улучшить понимание и планирование для управления городской инфраструктурой и позволяют производить геометрическое извлечение и спектральное обнаружение.

**Датчики температуры и влажности.** Могут использоваться для мониторинга окружающей среды, что полезно в сельском хозяйстве или метеорологии.

Здесь представлены только основные датчики для БПЛА. Разделение на два класса достаточно условное. Некоторые, как например LiDAR, могут применять как для управления, так и для сбора информации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Laghari A. A., Jumanı A. K., Laghari R. A., Nawaz H. Unmanned aerial vehicles: A review // Cognitive Robotics, Vol. 3, 2023, P. 8-22.
2. Гринюк Д. А. , Жарский С. Е. , Оробей И.О., Бирюкова Н.Н. Решение задач обнаружения, сопровождения и построения их траекторий //Химическая технология и техника: тезисы 82-й науч.-техн. конф. – Минск: БГТУ, 2018. с. 112-113.

УДК 62.52

## АЛГОРИТМЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

Д.А. ГРИНЮК, Н.М. ОЛИФЕРОВИЧ,  
И.О. ОРОБЕЙ, Д.Ю. ЕЖИКОВ

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

Динамика БПЛА очень часто характеризуется большой сложностью, и по этой причине в системах управления можно встретить различные алгоритмы. Нельзя сказать, что описанные прикладные алгоритмы являются единственными для применения в том или ином случае. На выбор влияет много факторов: качество управления, сложность, устойчивость, наследственность и т.д. Каждый принцип регулирования имеет свои преимущества и недостатки. Традиционно их делят на линейные и нелинейные алгоритмы.

Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) ПИД-регулятор является самым традиционным и изученным применяется в широком спектре задач стабилизации [1]. Классический линейный ПИД-регулятор обладает преимуществом в виде простоты настройки коэффициентов усиления параметров, простоты проектирования и высокой надежности. В тоже время имеются ряд ограничений по качеству, динамике, особенно если БПЛА характеризуются существенными нелинейными свойствами и нестационарностью. В литературе указываются недостатки применения ПИД-регулятора для квадрокоптеров, которые характеризуются относятся нелинейностью. Поэтому применение ПИД-регулятора к квадрокоптеру ограничивает его возможностями. Одна даже для таких объектов они находят свое ограниченное применение. Например, для управления положением квадрокоптера