

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

DOI - 10.32743/UniTech.2021.86.5.11683

МОДЕЛЬ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ
ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ*Маммадов Афтандил Закалы**доктор философии по технике,
Национальной Академии Авиации Азербайджана,
Азербайджан, г. Баку
E-mail: aftandil855@mail.ru*

MODEL INERTIAL NAVIGATION FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

*Aftandil Mammadov**PhD.,
National Aviation Academy of Azerbaijan,
Azerbaijan, Baku*

АННОТАЦИЯ

Важнейшей частью стабилизации и навигации многороторных беспилотных летательных аппаратов является микроэлектромеханическая инерциально-измерительная система, которая состоит из трехосного акселерометра и гироскопа с одной интегральной схемой, а также трех осевой магнитометр с отдельной интегральной схемой. Навигационная информация беспилотного летательного аппарата необходима для управления его полетом. В статье определены элементная база, принцип построения, устройство, преимущества малогабаритного беспилотного летательного аппарата и рассмотрены особенности интеллектуального управления. Кроме того, в статье предлагается модель инерциальной навигационной системы с оптимизированными параметрами для беспилотных летательных аппаратов.

ABSTRACT

The most important part of the stabilization and navigation of multi-rotor UAVs is the microelectromechanical inertial measuring system (IMS), which consists of a three-axis accelerometer and a gyroscope with one integrated circuit, as well as a three-axis magnetometer with a separate integrated circuit. An unmanned aerial vehicle needs navigation information to control its flight. The article defines the element base, construction principle, device, advantages of a small-sized unmanned aerial vehicle and considers the features of intelligent control. In addition, the article proposes a model of an inertial navigation system with optimized parameters for a UAV

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, навигация, гироскоп, акселерометр, крен, тангаж.

Keywords: unmanned aerial vehicle, navigation, gyroscope, accelerometer, roll, pitch.

Введение. В последнее время создание беспилотных летательных аппаратов - одно из динамично развивающихся направлений. Особый интерес представляют многороторные беспилотных летательных аппаратов, в основном, из-за ряда параметров и областей применения. Современное техническое развитие сложно представить без навигационных систем, то есть инерциальных сенсоров, охватывающих все сферы жизни человека [1-2]. Исследования и разработки таких сенсоров привели к их использованию в современных навигационных системах, являющихся частью инерциальных навигационных систем (ИНС). В общем, решение проблемы навигации состоит в том, чтобы в более широком смысле определить координаты текущего состояния объекта и применить полученные результаты к процессу управления центром масс движущегося объекта. Эта технология, имеющая стратегическое значение, была усовершенствована,

и ее внедрение должно быть целенаправленным. Для нас этот вопрос также важен с точки зрения его применения в различных отраслях. Таким образом, используя современные технологии, можно создавать качественные летные квартиры с меньшими финансовыми затратами.

Актуальность темы. Автономные транспортные средства, рассматриваемые как будущее многих технологических разработок, стали для нас критически важным элементом перед лицом стран, которые держат в своих руках технологии с передовыми функциями и потенциалом, предоставляемыми технологическими возможностями. Следует нацеливаться на усовершенствование и производство этих стратегически важных транспортных средств. Для нас этот вопрос важен также с точки зрения возможности применения в различных отраслях промышленности.

Мы наблюдаем, как были разработаны системы, созданные в этой форме, особенно автономные системы, применяющиеся в последние годы на различных транспортных средствах, и достигнуты высокие результаты. В качестве примера можно показать автономные транспортные средства, перевозящие грузы в портах, удачное использование безлюдных транспортных средств, способных проводить подводную разведку для различных целей, а также разработку машин, способных без человека преодолевать расстояние в плотном городском и междугородном транспорте или роботов для обезвреживания бомб [2].

Способы решения проблемы. Целесообразно получение измерений, являющихся основой для ИНС, из модуля инерциальных измерений (МИИ) и разработка измерительного блока, работающего вместе с инерционными сенсорами, предоставляющими данные об угловой скорости и линейном ускорении. Переход к математическому моделированию навигационной базы приводит к более сложным алгоритмам и жестким требованиям к их реализации. Кроме того, разработка таких систем требует решения задач оптимизации практически на каждом этапе. С помощью алгоритма ИНС, который будет написан в рамках данного исследования, в будущем предусмотрены оценка измерений и получение такой информации, как положение, скорость, а также построение модели ошибок этой системы на основе концептуальных понятий и минимизация ошибок с помощью фильтра Калмана [3,4]. В последнее время был создан новый тип инерциальных устройств с гироскопами и акселерометрами на основании недорогой, а также малогабаритной микроэлектромеханической технологии (MEMS). Однако с точки зрения точности пока существует необходимость корректировки информации при использовании гироскопов и акселерометров в инерциальных системах.

Широкое использование таких систем, как GPS, ГЛОНАСС, Galileo обеспечивает достаточную точность определения скорости и координат. При отсутствии кратковременных сигналов на приемнике спутниковой навигации может использоваться другая корректирующая информация [5]. Основным режимом работы комплексных навигационных систем считается интеграция инерциальных и спутниковых систем. Важность интеграции двух столь непохожих друг на друга навигационных систем объясняется принципиально разными ошибками в каждой из них. Фактически, многие навигационные задачи могут быть выполнены только с помощью GPS. А инерциальные датчики используются только для стабилизации и управления. Однако уязвимость GPS к препятствиям указывает на важность использования навигационных сенсоров; кроме того, навигационные сенсоры можно использовать в местах, для которых GPS не пригоден (например, в каком-либо объекте, туннеле или пещере).

Для выполнения долгосрочных военных задач необходимо принимать в навигационной системе периодические корректирующие меры для сведения количества ошибок, вызываемых ИНС, как можно ближе к нулю.

Кроме того, появление легких и сверхлегких летательных аппаратов резко ужесточило требования к весу и габаритам, предъявляемые к ИНС, что привело к отказу от традиционных ИНС. GPS предлагает систему навигации, известную точным функционированием во всем мире. Однако также известно, что ИНС, известная низкой стоимостью, высоким качеством и своеобразной точностью, может выполнять практически все процессы и без помощи GPS [6, 7].

Создание навигационных систем пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов считается одной из самых сложных задач, решать которую должны ученые, инженеры и специалисты, занимающиеся вопросами обеспечения полетов.

Существует ряд методов определения координат летательного аппарата и навигационных параметров, таких как скорость полета относительно Земли. Эти методы делятся на автономные и неавтономные.

Инерциальный метод, не требующий связи с посторонней системой, наилучшим образом обеспечивает автономность. Этот метод основан на известной из механики связи между координатами, скоростью и ускорением движущегося объекта.

Обычно в навигационных вычислениях собирают результаты измерений гироскопа и акселерометра по интервалу измерения, и уклонение компенсируется по производственным ошибкам, коэффициенту масштаба и температуре. Однако важно отметить, что основная точность навигационной системы зависит также от многих других факторов. Помимо скольжения, в качестве других источников ошибок, можно показать ошибку масштабного коэффициента, чувствительность к ускорению, чувствительность к угловой скорости, случайное блуждание, случайный шум и пр. [8].

Модели ИНС для беспилотных летательных аппаратов. Поддерживаемая ИНС использует внешние измерения положения и скорости БПЛА для оценки и исправления ошибок в навигационной системе. Это оценивание и коррекция могут быть выполнены с использованием фильтра Калмана и моделирования динамики распространения навигационных ошибок и ошибок во внешних вспомогательных измерениях. Для помощи работе инерциальной навигации в беспилотных летательных аппаратах (БПЛА) обычно используется внешнее радиолокационное слежение или измерения приемника GPS. Измерения гироскопов и акселерометров IMU обычно отправляются в навигационный компьютер в формате 100 Гц. Затем эти измерения корректируются оценкой ошибки устройства Калмана и используются для обновления расчетов ориентации, скорости и положения. Впоследствии эти навигационные величины сравниваются со вспомогательными сигналами для формирования толщины фильтра Калмана и последующих обновлений фильтра [9]. На рис. 1 предложена модель ИНС на основе микроэлектромеханических сенсоров для беспилотных летательных аппаратов. Здесь угловое положение самолета вычисляется из угловых скоростей, полученных с гироскопов при преобразовании кватернионов. Используя

полученную информацию об углах, находят матрицу преобразования из системы отсчета самолета в систему отсчета с мировым центром. Эта матрица умножается на ускорение, измеренное в акселерометрах. После вычета ускорения свободного падения из полученных значений получают ускорение самолета в соответствии с мировой системой отсчета. Скорость и положение самолета рассчитываются путем интегрирования ускорений в системе координат с мировым центром. Кроме того, необходимо рассчитать гравитацию в соответствии с информацией о местоположении, поскольку ускорение свободного падения меняется в зависимости от координат

и высоты. Расчет гравитации инерциальной навигационной системы по модели WGS-84 (Мировая геодезическая система 1984 г.) также является важным фактором с точки зрения точности измерений. Наиболее оптимальным вариантом является модель фильтра, созданная с использованием ускорения и угловой скорости, полученная от IMU, к которой подключен вспомогательный приемник, такой как GPS с использованием фильтра Калмана. Как известно, в фильтре Калмана имеются две модели - модель системы и модель наблюдения, и на выходе моделей ошибки минимизируются. Модель системы состоит из кинематических уравнений транспортного средства и связанных переменных положения.

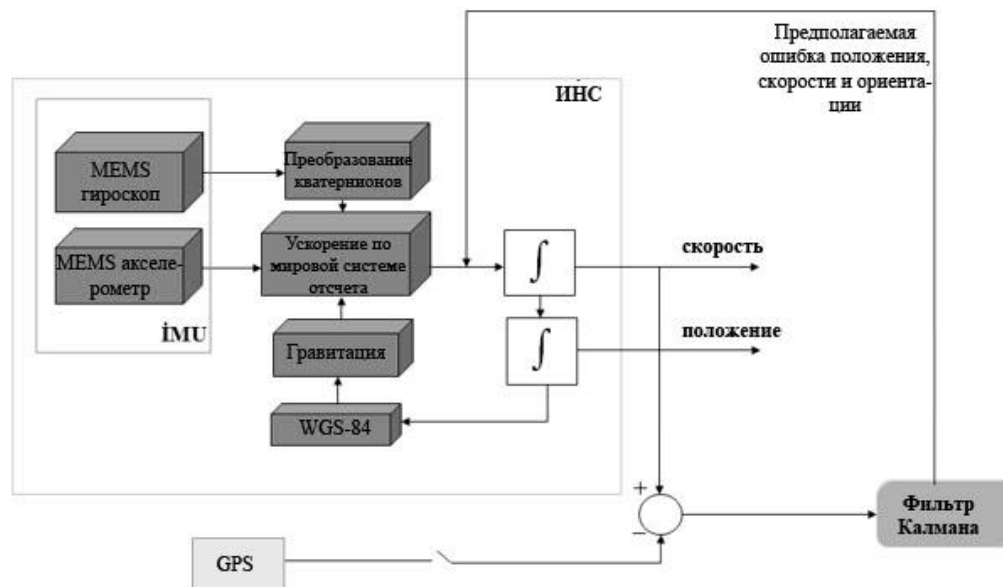


Рисунок 1. Модель ИНС для беспилотных летательных аппаратов

Поскольку GPS предоставляют дешевую и точную навигационную информацию, их использование для поддержки работы инерциальной навигации более рационально. Положение или скорость, измеренные GPS, можно сравнить с предположениями местоположения и скорости, полученными из измерений IMU. Сравнение этих данных позволяет определить положение инерциальной системы относительно системы координат GPS.

Если БПЛА в особых случаях получает указание продолжить полет без радиосвязи, то система может однозначно (микроэлектромеханически) отключить GPS и выполнить полет только на основании данных ИНС. В этом случае ИНС должна быть специально экранирована для предотвращения внешних воздействий. Разница между измерениями ИНС и вспомогательных навигационных систем используется в модели наблюдений как наблюдаемая ошибка. В том же порядке модель системы также сочетает моделирование ошибки с уравнениями инерциальной навигации. Недостатком фильтра с косвенной обратной связью является бесконечное увеличение значений ошибок. Поэтому как самый оптимальный вариант мы использовали метод прямой обратной связи.

Используя этот тип обратной связи, можно свести к минимуму увеличение наблюдаемых значений ошибок. Для управляемых ракет первоначальная установка выходного положения выполняется с использованием данных, взятых из ИНС на пусковой платформе, и знаний относительной механической ориентации между пусковой платформой и IMU ракеты. Высокая чувствительность и точность результатов измерений ИНС, используемых на многих движущихся транспортных средствах от БПЛА до подводных лодок, делают эту систему еще более полезной, особенно в случаях отсутствия сигналов GPS. Кроме того, поскольку алгоритм, используемый для нахождения положения, будет повторяться в высокой частоте выборки, то чем проще расчет, тем короче время генерации окончательных данных системой. При разработке первой версии БПЛА конструкция каскадного бокса была разработана в Fusion 360 и напечатана на 3D-принтере. Следующий раздел должен включать микроконтроллеры и другие интеллектуальные датчики, которые выполняют «мозговую» функцию двигателей. В качестве микроконтроллера Atmega 328ре должен использоваться на первом этапе, а модуль NRF должен использоваться

для дистанционного управления. Низкое энергопотребление этого модуля на частоте 2,4 ГГц дает нам преимущество. Трехмерная имитационная модель разрабатываемого самолета показана на рис. 2. Блок управления используется для управления самолетом в космосе. Контроллер будет иметь 2 джойстика управления, отключение, связь, зуммер, экран oled 0,6 дюйма, аккумулятор и другие модули. Все больше и больше языка программирования Python используется для интеллектуального управления. В настоящее время язык программирования Python хорошо зарекомендовал себя в интеллектуальной визуализации и автономных процессах управления [10].



Рисунок 2. Прототип многороторного беспилотного летательного аппарата

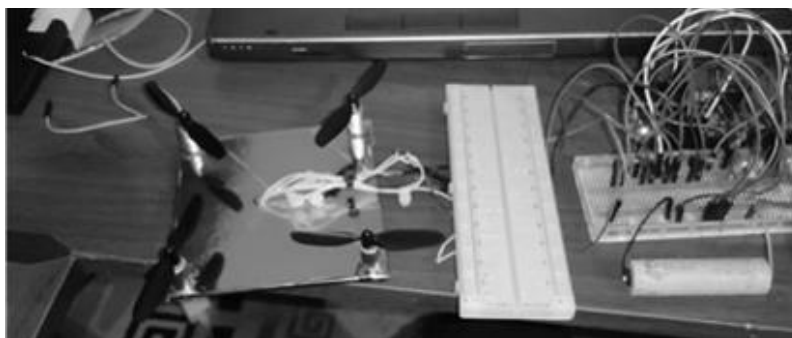


Рисунок 3. V 1.0. испытания прототипа измерения

Первоначально прототип V 1.0 выполнял расчеты, настраивал начальный каскад, управлял направлением и скоростью двигателя, создавал контроллер двигателя с нуля и управлял переменным сопротивлением с помощью микроконтроллера. Два прототипа в настоящее время оправдывают свою работу и производительность. Основная цель первоначального прототипа проекта - смоделировать и испытать реальные характеристики самолета в космосе. Основная причина этого - определение совместимости и производительности устройства с выбранными элементами и написанной программой. С развитием современных технологий мы можем достичь максимального качества, используя минимум элементов. Таким образом, с помощью программирования мы можем достичь желаемого результата, используя меньший наклон и меньшее количество элементов.

Заключение. Разработка и исследование модели стойкой к препятствиям ИНС на основе микромеханических сенсоров может позволить разработать

Модуль микроэлектромеханических инерциальных измерений используется для определения угловых положений и координат самолета в воздухе. Трехмерный гироскоп InvenSense 3x3x1 мм, MPU-9255 с акселерометром и магнитометром, а также трехмерный гироскоп и акселерометр 4x4x0,9 мм, в настоящее время производимые InvenSense, подходят для создания высокоточных инерциальных измерительных систем, которые могут использоваться в БПЛА. Целесообразнее использовать MEMS-модули MPU-6000 [11]. Используя эти модули, мы можем определить, как самолет управляет собой в космосе и автоматически спускается и поднимается. С помощью другого используемого модуля GPRS мы можем получить координаты самолета со спутников. Фактически, многие навигационные задачи могут быть выполнены только с помощью GPS. Инерционные устройства используются только для стабилизации и управления. Однако слабость GPS над препятствиями указывает на важность использования инерциальных датчиков, а также на тот факт, что навигационные датчики могут использоваться в местах, где GPS не подходит. В результате развития электроники и микропроцессорной техники высокоскоростные измерения позволяют нам создавать эту технологию.

пригодные для использования высокотехнологичные системы защиты, а также минимизировать зависимость от внешних воздействий. Проведенные исследования показывают, что при использовании ИНС без дополнительной поддержки уровень ошибки в системе очень высок, и в этом случае влияние ошибки на вычисленную скорость, положение и состояние варьируются в зависимости от погрешности инерциальных датчиков, ошибки запуска и динамики летательного аппарата. Эти ошибки можно в некоторой степени исправить, используя внешние измерения положения и скорости, а также фильтр Калмана. Такая коррекция может выполняться с использованием фильтра Калмана и моделирования динамики распространения навигационных ошибок и ошибок во внешних вспомогательных измерениях. За счет использования в модели GPS и фильтра Калмана увеличение значений ошибок будет сведено к минимуму и, построенная в результате модель ИНС, будет более устойчивой к помехам и более точной.

Список литературы:

1. Р.Н. Набиев, А.З. Маммадов. Сравнительный анализ параметров микроэлектромеханических акселерометров и гироскопов // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. Баку-2018, №3, Vol. 10. с. 7-20.
2. Тимошенко С.П. Применение МЭМС - сенсоров в системах навигации и ориентации подвижных объектов / С.П. Тимошенко, А.П. Кульчицкий // Известия вузов. Электроника. 2012. - №6. – с. 51-56.
3. Özçelik A.E. İnersiyal navigasyon sistemleri // Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu UZAL-CBS 2008, Kayseri. Seh. 585-594.
4. Степанов О.А. Особенности построения и перспективы развития навигационных инерциально-спутниковых систем // Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации. Сб. статей докл. СПб. 2001.
5. Mammadov A.Z. The model of inertial navigation system on base of MEMS sensors for unmanned aerial vehicles // "Chronos" Мультидисциплинарный сборник научных публикаций, «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы». Выпуск 10(36), г. Москва-2019, 13 октября, стр. 24-29.
6. Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В.Я. Распопов, В.В. Матвеев. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», 2009. – 280с.
7. Матвеев В.В. Инерциальные навигационные системы: Учебное пособие. Изд –во ТулГУ, 2012.-199 с.
8. Р.Н. Набиев, А.З. Маммадов, Модели построения инерциальной навигационной системы для беспилотных летательных аппаратов // Авиакосмическое приборостроение, №1, 2021, стр. 12-22.
9. Электронный ресурс <https://pypi.org/project/e-drone/>
10. Электронный ресурс <https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>.