АННОТАЦИЯ

диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D071900 – «Радиотехника электроника и телекоммуникация»

НҰРҒИЗАТ ЕРКЕБҰЛАН САМЕТҰЛЫ

РАЗРАБОТКА БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКА НА БАЗЕ ПЛИС

Актуальность темы.

С развитием технологий миниатюризации компонентов и повышением их производительности, открываются новые горизонты для создания наноспутников с широким спектром возможностей. Эти миссии включают в себя задачи связи, научных исследований и многие другие. В данной работе эффективная разработка бортового комплекса управления системы ориентации наноспутника на базе ПЛИС становится неотъемлемой составляющей успешной реализации задач.

В данной работе, программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) в бортовом комплексе управления становится ключевым элементом, обеспечивающим высокую гибкость и производительность. ПЛИС в БКУ способствует реализации сложных алгоритмов управления ориентацией. Её высокая вычислительная мощность и энергоэффективность особенно ценны для наноспутников с ограниченными ресурсами. Даже при ограниченных вычислительных ресурсах, ПЛИС в БКУ позволяет эффективно воплощать алгоритмы управления в реальном времени, обеспечивая устойчивую ориентацию наноспутника.

Отличительной чертой наноспутников являются их компактные размеры и небольшая масса по сравнению с традиционными спутниками. Это способствует снижению стоимости их запуска. Оптимальное управление ориентацией позволяет максимально эффективно использовать датчики и механизмы управления, что в свою очередь способствует дополнительному снижению затрат.

Исходя из вышеизложенного, настоятельно актуальной становится тема исследований, направленных на разработку, моделирование и анализ системы управления ориентацией наноспутника на базе ПЛИС в БКУ.

Целью исследования является разработка программы нового алгоритма для системы ориентации бортового комплекса управления наноспутником (БКУ).

Идея работы состоит в том, чтобы повысить эффективность системы наведения и снизить затраты на ее разработку и эксплуатацию, сделав такие системы доступными и привлекательными для космических миссий наноспутников.

Задачи исследования:

В соответствии с поставленной целью в диссертации сформулированы следующие задачи:

1. Разработка математической модели системы ориентации наноспутника с использованием солнечного света и магнитных указателей.
2. Моделирование и исследование наноспутника с динамикой тренда математической модели, предложенной системой ориентирования.
3. Экспериментальная верификация его работы на основе методики синтеза и имитационного моделирования бортового комплекса управления на основе платы.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель ориентации наноспутника, основанная на комбинированном методе, отражающем динамику системы ориентации.
2. Моделирование системы ориентации наноспутника в программах VTS, Matlab с использованием разработанной математической модели.
3. Лабораторная модель бортового комплекса управления, использующая Arduino, Quartus Prime для тестирования и верификации работы системы ориентации.

Основные результаты исследования:

1. Построена математическая модель системы ориентации наноспутника с использованием солнечных и магнитных показаний.
2. Была смоделирована и исследована наноспутниковая динамика математической модели, предложенной системой ориентирования.
3. Экспериментально проверена его работа и обработаны полученные результаты, основанные на методике синтеза и имитационного моделирования бортового комплекса управления на основе платы.

Объектами исследования являются комплекс бортового управления наноспутником.

Предметом исследования являются методы и системы определения ориентации наноспутников на основе данных, полученных от солнечных и магнитных датчиков, а также имитационное моделирование бортовых комплексов управления на основе ПЛИС для проверки предложенных методик.

Методологическая база научных исследований:

При выполнении научных исследований для обработки экспериментальных данных и технико-экономического обоснования различных вариантов технологий использовались методы комплексного анализа, включая анализ и обобщение научно-технической информации, теоретические исследования, методы математического моделирования, методы математической статистики, корреляционно-регрессионного анализа при создании программных модулей, а также методы эмпирического и объектно-ориентированного программирования.

Новизна темы:

1. Разработка и исследование алгоритма определения направления наноспутника по солнечному и магнитному показаниям комбинированным методом.

2. Представить лабораторную модель бортового комплекса управления с программно-математическим алгоритмом.

Практическая значимость работы заключается в улучшении навигации и ориентации, т. разработанный метод позволяет наноспутникам с высокой точностью определять свою ориентацию с использованием данных с солнечных и магнитных датчиков, что позволяет снизить риски и сэкономить на космических миссиях. Благодаря использованию кватернионов и получению данных с различных датчиков повышает точность и надежность даже в случае возможных ошибок и шумов. Также разработанный метод может быть внедрен в различные системы управления и навигации наноспутников, что создает условия для развития космической промышленности в целом.

Публикации и апробация работы.

Основные моменты диссертационной работы на 28-й Международной конференции IEEE по электронике, схемам и системам (ICECS) (г. Дубай, ОАЭ, 2021 г.), Международной научно-практической конференции «Journal of Engineering Science and Technology Review, Special Issue on Telecommunications, Informatics, Energy and Management 2019» (г. Кавала., Греция 2019 г.), на международной научно-практической конференции International Society for Technology, Education, and Science, Paper presented at the International Conference on Education in Mathematics, Science and Technology (ICEMST) (Antalya, Turkey, Apr 1-4, 2021) и на XI Международной научно-технической конференции «Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование» (г. Алматы, НАО «АУЭС», 2020).

По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ. Из них одна работа опубликована в журнале, входящем в 1-й квартиль, по данным базы

данных Scopus (Скопус), одна работа – в журнале, входящем в 3-й квартиль, по данным базы данных Scopus (Скопус), три работы - в журнале, рекомендованном ККСОН МОН РК, четыре работы - в материалах конференции. Докторант внес достойный вклад в каждую публикуемую статью. В них отражены мысли, выносимые на защиту, результаты, полученные докторантом в ходе проведенных исследований.

Объем и структура работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации составляет список литературы, включающий 129 страницы машинописного текста, 19 таблиц, 71 рисунков, 46 наименований и 1 приложение.

Основное содержание работы

Работа состоит из пяти глав.

В главе I сделан полный анализ и синтез наноспутников в конструкции CubeSat. Исследовано движение аэродинамический стабилизированных наноспутников. Особенности тенденции наноспутников на низких орбитах обусловлены как атмосферными воздействиями, так и их массовыми и инерционными характеристиками. На сегодняшний день проанализированы запуски наноспутников. Было обнаружено следующее: По сравнению с более крупными спутниками с большей массой наноспутники имеют более короткий срок службы, а угловое ускорение, создаваемое аэродинамическим моментом, значительно выше. Рассмотрены основные особенности наноспутника как продукта.

Во II главе разработана математическая модель системы определения ориентации наноспутника на основе солнечного света и магнитных индикаторов. Подробно описана математическая модель пассивной ориентации наноспутника, а также модель орбиты.

В главе III рассматривается использование аппаратной и программно реконфигурируемой архитектуры на основе ПЛИС Arduino MKR Vidor 4000 SoC в контексте наноспутников. Описано стратегически важное решение, сочетающее гибкость логического программирования с вычислительной мощностью и интеграцией в одно устройство, позволяющее эффективно согласовывать обработку данных с требованиями эффективности и надежности в космической среде. Кроме того, представлены результаты эксперимента, оценивающего эффективность различных типов солнечных панелей при использовании солнечного трекера в разные дни. Наконец, рассматривается архитектура бортового комплекса управления наноспутниками, описывающая основные компоненты и принципы предлагаемой архитектуры.

В главе IV подробно рассматривается архитектура бортового комплекса управления наноспутником, являющегося ключевым элементом в создании и функционировании космических аппаратов. Глава разделена на несколько частей, включая обзор алгоритма работы бортового комплекса, описание основных компонентов и принципов, а также подробное исследование процесса моделирования и анализа орбитального движения.

В главе V дается подробное описание архитектуры системы ориентации наноспутника, включая подключение к датчику и интеграцию с микроконтроллером. Описаны основные компоненты системы, такие как солнечные панели, магнитометр и SD-карта для хранения данных, а также обсуждаются вопросы питания устройства и разработки электронных схем. Глава заканчивается представлением результатов лабораторных экспериментов, проведенных для проверки системы ориентации наноспутника.

В заключении представлены полученные результаты и выводы диссертационного исследования, отражены планы дальнейшей работы по выбранному направлению.