

# **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА РФФИ 16-37-00010**

**«Помехоустойчивые алгоритмы идентификации звезд для ориентации малых космических аппаратов**

»

**Руководитель проекта Кружилов Иван Сергеевич**

**Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы 07-925, 08-606, 01-224**

## **РЕФЕРАТ**

**ЗВЕЗДНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ, КВАТЕРНИОН. КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ, АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНОВАНИЯ, ПЭТТЕРН, ВАХБА, НЕБЕСНАЯ СФЕРА**

Объектом исследования являются алгоритмов идентификации звезд для малых космических аппаратов.

Целью проекта является разработка и анализ помехоустойчивых алгоритмов идентификации звезд для малых космических аппаратов. В рамках проекта была разработана и программно реализована математическая модель вращения космического аппарата по орбите для последующего тестирования алгоритмов идентификации.

В результате проделанной работы были достигнуты следующие **основные результаты:**

1. Разработана и программно реализована математическая модель функционирования системы ориентации по звездам на малых спутниках. Создана система трехмерной визуализации с использованием библиотеки OpenGL для повышения эффективности тестирования и анализа алгоритмов определения ориентации по звездам.
2. Разработана и программно реализована на языках C# и Matlab методика формирования звездного бортового каталога.
3. Предложено решение задачи Вахба с линейной скоростью сходимости на основании решения системы линейных уравнений методом Холецкого. Предложенный метод обладает вычислительной устойчивостью при реализации в числах с плавающей точкой с одинарной точностью. Проведено математическое моделирование с целью оценки параметров сходимости и устойчивости метода.

Предлагаемые в результате работы методы позволяют разрабатывать эффективные алгоритмы для звездной ориентации малых спутников. Алгоритм решения задачи Вахба с линейной сходимостью может быть эффективно реализован даже на слабых бортовых процессорах. Варьирования количества итераций метода позволяет оптимизировать соотношение время выполнения/точность. Впервые была произведена оценка обусловленности решения задачи Вахба от максимального углового расстояния между звездами. На основе математического моделирования эта

зависимость была оценена как квадрат котангенса максимального угла между звездами в поле зрения прибора.

Для удобства верификации разрабатываемых алгоритмов идентификации звезд разработана интерактивная система трехмерной визуализации с использованием библиотеки OpenGL. Интерактивная система представляет собой визуализацию небесной сферы. Система позволяет изменять как положение небесной сферы относительно наблюдателя, так и положение поля зрения прибора на небесной сфере. В ходе визуализации используется ортогональная проекция. Текущее положение поля зрения задается ортогональной матрицей, хотя на экране выводится в виде кватерниона. Для матричной алгебры используются стандартные функции библиотеки OpenGL.

Решение задачи Вахба с помощью метода малого поворота с линейной сходимостью требует время сопоставимое с аналогичными алгоритмами – QUEST, SVD и прочими. Его преимуществом перед аналогами является простота реализации. Для максимальной эффективности использования бортового оборудования алгоритмы для звездных датчиков реализуются на языках низкого уровня, что значительно усложняет их тестирование и отладку. Преимуществом разработанного метода малого поворота является простота его реализации. Решение задачи сводится к последовательному решению системы линейных уравнений, что значительно проще, чем поиск собственных чисел матрицы или ее сингулярное разложение.

Математическое моделирование подтвердило, что метод сходится с линейной скоростью.

Полученные за отчетный период результаты прошли апробацию на различных научно-практических конференциях, в том числе международных.

**Библиографический список всех публикаций по проекту за весь период выполнения проекта:**

1. Kruzhilov I. Chernetsov A., Optical sensors for spacecraft attitude estimation, *Proceedings of the international academic forum AMO-SPITSE-NESEF*, Universum, Smolensk, 2016, pp 82.
2. Кружилов И.С., Чернецов А.М., Шамаева О.Ю., Метод малого поворота для ориентации звездных датчиков, *Системы управления и информационные технологии*, 3(35), 2016, с. 79-82.
3. Чернецов А.М., Возможности параллельного программирования в математических пакетах, *Программные продукты и системы*, №2(144), 2016, с. 5-9.
4. Князев В.О., Поздняков А.А., Кружилов И.С., Современные и перспективные приборы ориентации по звездам АО «НПП «Геофизика-Космос». Труды 7-й научн.-техн. конф./ФГУП «КБ «Арсенал»; Балт. Гос. Техн. ун-т. –СПб.: Инфо-да 2016, с.120-124.