

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ ДИСКРЕТНЫХ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОРИЕНТАЦИИ

**А.М.Афанасьева**

*(АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
Университет ИТМО, Санкт-Петербург)*

**Введение.** В теории управления движением различных объектов важное место занимает задача определения ориентации объекта в навигационной системе координат. Для определения ориентации подвижного объекта, рассматриваемого как твердое тело, в инерциальной системе координат в параметрах Эйлера необходимо осуществлять на борту объекта интегрирование в реальном масштабе времени кинематических уравнений. Однако аналитическое решение этих уравнений в общем случае неизвестно, поэтому для построения решения уравнений используются различные приближенные методы интегрирования [1,2]. Критериями при выборе метода служат требуемая точность вычисления параметров ориентации и объем необходимых вычислений.

Целью работы является исследование методических погрешностей, возникающих при решении задачи ориентации различными дискретными алгоритмами, использующих интегральный выход датчиков угловой скорости и вектор Эйлера в качестве промежуточного кинематического параметра.

**Основная часть.** Определение ориентации подвижного объекта по его известной абсолютной угловой скорости осуществляется с помощью бесплатформенных инерциальных навигационных систем. При вычислении параметров Эйлера возникают методические погрешности, обусловленные тем, что направление вектора угловой скорости меняется на шаге интегрирования, а не остается постоянным [5]. Одним из неблагоприятных движений объекта для бесплатформенных инерциальных навигационных систем, использующих алгоритмы, полагающие на шаге интегрирования вектор угловой скорости неизменным по направлению, считается коническое движение.

Для проведения практической части были созданы модели решения задачи ориентации в среде имитационного моделирования MATLAB Simulink. Определение ориентации объекта осуществлялось с использованием следующих алгоритмов численного интегрирования: метод малого параметра 4го порядка [5]; метод, использующий полиномиальное разложение вектора угловой скорости по информации гироскопов, полученной на текущем и предыдущем целом интервале интегрирования; метод кратных интегралов 4го порядка [4], использующий информацию в виде первого и второго интеграла от угловой скорости. Шаг интегрирования  $h$  выбирался равным 0,001 с, 0,01 с или 0,1 с. Интервал движения – 100с.

При моделирование, в качестве движения, задавалась трехосная качка. Амплитуды крена, дифферента и рыскания составляли  $15^\circ$ ,  $5^\circ$  и  $15^\circ$  соответственно. При этом рассматривалось два режима: конусное движение (частоты изменения углов совпадали) и регулярная качка.

**Основные результаты.** Анализ результатов моделирования изменения во времени накопленных методических погрешностей определения углов ориентации объекта показывает, что погрешность вычисления каждого из углов ориентации имеет две составляющие: медленно изменяющуюся составляющую, монотонно возрастающую во времени, и быстро изменяющуюся периодическую составляющую, период изменения которой определяется периодом гармонических колебаний объекта. Рассматривается только накопленная методическая погрешность.

По результатам моделирования наименьшую погрешность вычисления углов ориентации из рассмотренных дискретных алгоритмов дает метод малого параметра.

Стоит отметить, что методы малого параметра и кратных интегралов дают методическую погрешность практически постоянную во времени. Методическая погрешность метода, использующего полиномиальное разложение угловой скорости, в свою очередь монотонно возрастает во времени, что может приводить к значительному снижению точности определения углов на длительных промежутках работы.

**Заключение.** Рассмотрены дискретные алгоритмы определения ориентации движущихся объектов. Разработана модель, которая позволяет оценить методические погрешности определения углов ориентации исходя из используемого метода численного интегрирования, а также динамики объекта. Показано, что наиболее эффективным средством повышения точности алгоритмов ориентации является уменьшение шага интегрирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бранец В.Н., Шмылевский И.П. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем.-М.:Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит.,1992.-280с..
2. Емельянцев Г.И., Степанов А.П. Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации. СПб.: Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2016. 394 с.
3. Лесючевский В.М., Литманович Ю.А. Новые подходы к разработке дискретных алгоритмов выработки параметров поступательного движения объекта в инерциальных навигационных системах//Гироскопия и навигация
4. Литманович Ю.А., Лесючевский В.М., Гусинский В.З. Исследование алгоритмов преобразования информации акселерометров в БИНС, использующих кратные интегралы от измеряемого ускорения//Гироскопия и Навигация.-1997.-№ 4.-С. 34-38.
5. Челноков Ю.Н. Кватернионные и бикватернионные модели и методы механики твердого тела и их приложения. Геометрия и кинематика движения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 512 с.
6. Слюсарь В.М. Актуальные вопросы проектирования алгоритмов ориентации БИНС Часть 3. Анализ-синтез алгоритмов с учетом влияния частотных характеристик гироскопов//Гироскопия и навигация.-2006.-№ 4. –С. 21-36.

**Автор:**

**А. М. Афанасьева**

**Научный руководитель:**

**Е.В. Драницына**

**Заведующий кафедрой:**

**В.Г. Пешехонов**