

## СРАВНЕНИЕ ДИСКРЕТНЫХ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРА ЭЙЛЕРА И БИКВАТЕРНИОНА

Афанасьева А.М. (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,  
Университет ИТМО, С.-Петербург)

Рассматриваются уравнения и алгоритмы определения параметров инерциальной ориентации и кажущейся скорости движущегося объекта для бесплатформенных инерциальных навигационных систем. Для построения уравнений и алгоритмов используются вектор Эйлера, кватернион, бикватернион и принцип перенесения Котельникова–Штуди.

**Введение.** Бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС) используется в современных системах управления движением различного рода движущихся объектов для определения координат местоположения объекта и его ориентации в пространстве. Инерциальные навигационные системы бесплатформенного типа отличаются от платформенных систем гораздо большим объемом проводимых вычислений, поскольку функции платформы, физически моделирующей на борту движущегося объекта тот или иной координатный трехгранник, в БИНС возлагаются на бортовой вычислитель. Поэтому одной из основных проблем, возникающих при разработке БИНС, является построение алгоритмов работы бортового вычислителя, оптимальных по точности, объему вычислений, требуемой памяти центрального бортового вычислителя и другим критериям. Вид и сложность алгоритмов работы БИНС существенно зависят от тех задач, которые надлежит решать с помощью БИНС, от состава измерительных систем, возможностей бортового вычислителя, класса движущихся объектов и ряда других факторов. Поэтому актуальным вопросом является разработка эффективных дискретных алгоритмов решения задач ориентации и навигации БИНС.

**Основная часть.** Алгоритмы функционирования БИНС, позволяющие вычислять параметры ориентации и навигации по приращению интегралов от проекций векторов кажущегося ускорения и абсолютной угловой скорости объекта на связанные с ним оси строятся на основе дифференциальных и функциональных соотношений, связывающих между собой ускорения и угловые скорости, измеряемые чувствительными элементами БИНС, с навигационными параметрами и параметрами ориентации. Возможны различные варианты уравнений идеальной работы БИНС, решающей вышеуказанные задачи. Они отличаются друг от друга видом используемых кинематических параметров, выбором систем координат, в которых производится интегрирование дифференциальных уравнений навигации и ориентации.

При решении задач навигации и определения ориентации объекта с помощью БИНС необходимо производить интегрирование кинематических уравнений ориентации в той или иной их форме и осуществлять преобразования координат посредством различных кинематических параметров.

Ориентация объекта в инерциальной системе координат может быть определена в результате непрерывного интегрирования дифференциальных кинематических уравнений в параметрах Родрига–Гамильтона с использованием вектора Эйлера. Такой подход имеет ряд преимуществ перед системой нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений, так как данные уравнения не вырождаются из-за отсутствия тригонометрических функций.

В алгоритмах БИНС приращение кажущейся скорости могут быть представлены дискретным алгоритмом, определяющим результат решения задачи преобразования информации акселерометров из связанных с измерительных блоков осей в навигационном базисе.

Благодаря приближению уравнения, алгоритм ориентации, основанный на векторе Эйлера, неизбежно вызывает ошибки, которые имеют тенденцию к накоплению при движении объекта с высокой динамикой.

В последние годы стали рассматриваться кинематические задачи управления общим пространственным движением свободного твердого тела в бикватернионной постановке. В них в качестве математической модели движения используется бикватернионное кинематическое уравнение движения свободного твердого тела. Алгоритмы вычисления дуальных параметров Родрига-Гамильтона и алгоритмы вычисления параметров винтового движения для вычисления декартовых координат местоположения объекта через параметры винтового движения объекта, образуют алгоритмы решения задачи определения ориентации и местоположения объекта по мгновенной или интегральной информации об угловом и поступательном движениях объекта. Для построения кинематических уравнений движения свободного твердого тела с использованием бикватерниона используется принцип перенесения Котельникова–Штуди, который применяется к ранее построенным матричным и кватернионным кинематическим уравнениям вращательного движения твердого тела.

Бикватернионное уравнение имеет наглядную компактную форму и эквивалентно четырём уравнениям в дуальных параметрах Родрига-Гамильтона, или восьми скалярным вещественным дифференциальным уравнениям.

Использование бикватерниона в качестве кинематического параметра при решении задач ориентации и навигации позволяет сократить вычислительную сложность. При использовании вектора Эйлера определение

**Выводы.** В работе были рассмотрены дискретные алгоритмы решения задач ориентации и навигации для бесплатформенных инерциальных навигационных систем. Задача нахождения параметров инерциальной ориентации и кажущейся скорости объекта может быть решена с помощью интегрирования одного дифференциального бикватернионного уравнения.

Афанасьева А.М. (автор)

Подпись