

УДК 629.7

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИНС
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Ю. В. ГРИДНЕВ, А. И. МЕЛЬНИК, А. Н. ПАЛЬЦЕВ

Государственное научное учреждение
«ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Интенсификация работ в области робототехнических (беспилотных) авиационных комплексов (РТАК) связана с резким увеличением интереса видеомониторинга земной поверхности для решения определенных задач различных министерств и ведомств. Робототехнический авиационный комплекс объединяет как минимум две пространственно-разнесенные системы – беспилотный летательный аппарат (БЛА) и наземный пункт управления (НПУ), взаимосвязанные линией радиоуправления. БЛА в составе РТАК должен лететь по заданной пространственно-временной траектории согласно программы заложенной в бортовую ЦВМ с целью передачи по линии радиоуправления на НПУ телевизионного и теплого изображения местности, наземных (надводных) объектов в реальном времени днем и ночью. Для пространственной ориентации и навигации на борту БЛА имеется БИНС (бесплатформенная инерциальная навигационная система), в состав которой входят чувствительные датчики (ДУС – датчики угловой скорости, ДЛУ – датчики линейных ускорений) и бортовая ЦВМ. Чувствительные датчики как источники первичной информации непосредственно связаны с корпусом БЛА. Информация от этих источников перерабатывается бортовой ЦВМ, которая путем решения кинематических уравнений пространственного движения летательного аппарата формирует данные о местоположении, скорости и угловой ориентации БЛА.

С целью исследования точности (ошибки) преобразования угловых скоростей, для определения пространственной ориентации и ошибки преобразования линейных ускорений в задаче навигации, была разработана в программе MATLAB-SIMULINK компьютерная модель БИНС с углами Эйлера-Крылова.

Вышеуказанная модель БИНС построена на основе кинематических уравнений связи взаимного положения связанной системы координат (БЛА) и географической системой координат Земли, которые имеют невысокий порядок и содержат тригонометрические функции от углов курса, крена, тангажа. Такие уравнения допускают вырождение при угле тангажа 90° , что ограничивает их применение для ориентации вообще и обуславливает непригодность в БИНС.

Следующим шагом в повышении точности пространственной ориентации была разработка компьютерной модели БИНС в программе MATLAB-SIMULINK с уравнениями Пуассона. Введение матрицы преобразования параметров из связанной системы координат в географическую и обратно, а также кососимметричной матрицы позволило найти широту и долготу БЛА на основе алгоритма БИНС с уравнениями Пуассона, связывающих производную от матрицы направляющих косинусов с самой матрицей и вектором угловой скорости.

Взаимное положение двух связанных систем координат БЛА и географической помимо трех углов Эйлера-Крылова, девяти направляющих косинусов, можно также определить с помощью четырех параметров Родрига-Гамильтона. Математические вычисления параметров Родрига-Гамильтона и сложение конечных поворотов двух систем координат дают кватернионы-гиперкомплексные числа, которые образуют кватернионное (гиперкомплексное) пространство. При описании ортогонального преобразования координат в данном случае используются собственные кватернионы, элементами которых являются параметры Родрига-Гамильтона. Для гиперкомплексного отображения связанной системы на четырехмерное пространство используют кватернионные матрицы 4×4 и столбцевые матрицы размера 4×1 (четырёхмерные векторы). При этом кинематические уравнения связи в параметрах Родрига-Гамильтона линейные, имеют четвертый порядок и определены для любых углов рысканья, тангажа и крена, что делает их одними из самых удобных для применения в БИНС.

При построении компьютерных моделей БИНС с углами Эйлера-Крылова и БИНС с направляющими косинусами (уравнением Пуассона) использовались блоки алгоритма ориентации, пересчета и навигационный алгоритм. Компьютерная модель БИНС с использованием кватернионов требует в каждый момент времени иметь информацию о положении связанной системы относительно географической. Можно выбрать схему модели БИНС с решением двух кинематических уравнений в кватернионах, однако модель БИНС, основанная на решении одного кинематического уравнения в кватернионах, предпочтительнее за счет упрощения алгоритма математических вычислений.

В разработанных моделях БИНС чувствительные элементы ДУСы и ДЛУ одновременно с полезным сигналом формируют «окрашенные» шумы путем прохождения «белого» шума через линейные фильтры. Обработка моделями БИНС полезных сигналов ДУСов и ДЛУ с «окрашенными» шумами позволяет определить динамические и флуктуационные ошибки алгоритмов ориентации и навигации и сравнить точностные характеристики моделей между собой. По этим показателям предпочтительнее является БИНС с одним кинематическим уравнением в кватернионах.