

# ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА БПЛА

## ЕКАТЕРИНА КОВЫЛОВА

РАЗРАБОТЧИК АВТОПИЛОТА, ПРОГРАММИСТ

## ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА БПЛА. КОМПОНЕНТЫ

Инерциальная система является важнейшей частью любого беспилотного летательного аппарата. Она ответственна за определение положения аппарата в пространстве и состоит из аппаратной и программной частей.

Аппаратная часть:

- Акселерометры (датчики линейных ускорений)
- Гироскопы (датчики угловых скоростей)
- Магнитометры (датчики магнитного поля)

Программная часть:

- Драйвера датчиков
- Модуль определения положения (AHRS, Attitude and Heading Reference System)

## ИНЕРЦИАЛЬНАЯ СИСТЕМА БПЛА. НЕГАТИВНЫЕ ФАКТОРЫ

Аппаратная часть:

- Вибрации
- Температурное смещение
- Старение
- Точность установки ИНС в корпусе

Программная часть:

- Способ представления поворотов

## СПОСОБ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОВ. ФОРМА ЗАПИСИ

При разработке автопилотов обычно используются 3 основных представления поворотов.

### УГЛЫ ЭЙЛЕРА

Представление при помощи углов Эйлера базируется на том факте, что любое положение тела в пространстве может быть задано при помощи 3-х последовательных поворотов относительно 3-х ортогональных осей:

#### •Углы Эйлера

$$(\alpha, \beta, \gamma)$$

$\alpha$  – крен,  $\beta$  – тангаж,  $\gamma$  – курс

Недостатки:

- Проблема «складывания рамок»
- Повороты некоммутативны
- Наибольшее количество операций при полезных вычислениях

### КВАТЕРНИОНЫ

Этот подход базируется на том факте, что любое положение тела в пространстве может быть получено путем вращения вокруг некоторой фиксированной оси. В таком случае, при описании положения тела нам нужно 4 параметра. Кватернионы удобны при планировании маршрута:

#### •Кватернионы

$$w + xi + yj + zk$$

Недостатки:

- Наибольшая сложность в понимании
- Требуется ренормализация

## МАТРИЦЫ ПОВОРОТА

Они представляет собой матрицы размером 3 x 3, элементы которых представляют собой косинусы между осями неподвижной системы координат и системы координат, связанной с телом:

•Матрицы поворота

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$$

Недостатки:

- Задается с помощью 9 значений
- Требуется ренормализация

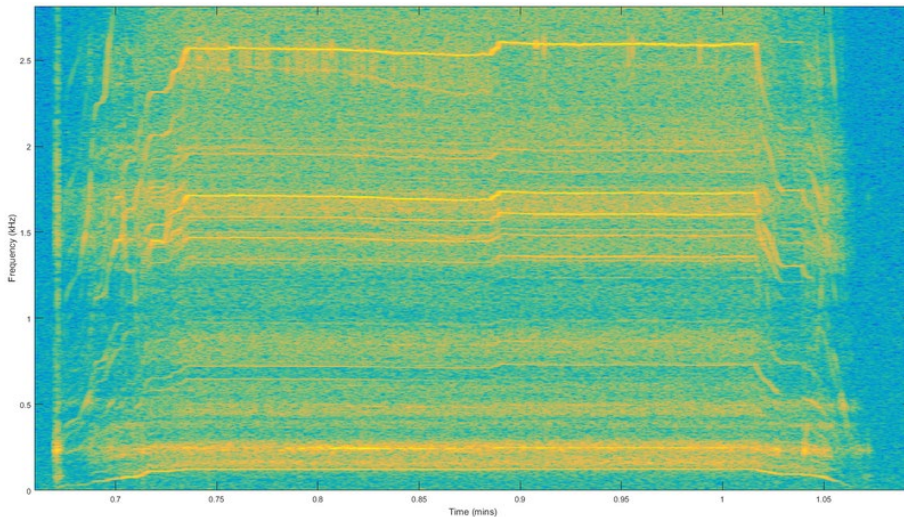
Сравним между собой все 3 представления. При сравнении мы будем обращать внимание на 3 основных параметра:

- Количество занимаемой памяти (лидируют углы Эйлера)
- Количество операций при вычислениях (лидируют матрицы поворота)
- Простота понимания (лидируют углы Эйлера)

Таким образом, мы видим, что ни одно представление не лишено недостатков. Когда мы работаем с полетным заданием, то нам удобнее использовать кватернионы, а когда с логированием — то с углами Эйлера.

## ВИБРАЦИИ. ВИДЫ ВОЗДЕЙСТВИЙ

- Насыщение
- Алиасинг



Спектрограмма данных с акселерометра при включенном двигателе

Насыщение:

- Возникает из-за недостаточного диапазона измерений
- Приводит к смещению усредненного уровня сигнала
- Искажает показания модуля AHRS

Алиасинг:

- Возникает из-за недостаточной частоты дискретизации
- Приводит к наложению сигналов кратной частоты
- Искажает показания модуля AHRS

## **ВИБРАЦИИ. МЕТОДЫ БОРЬБЫ**

1. Программная фильтрация данных
2. Повышение частоты дискретизации
3. Демпфирование источников вибраций
4. Демпфирование компонентов, чувствительных к вибрациям

Борьба с вибрациями является важнейшей частью в разработке автопилотов.