

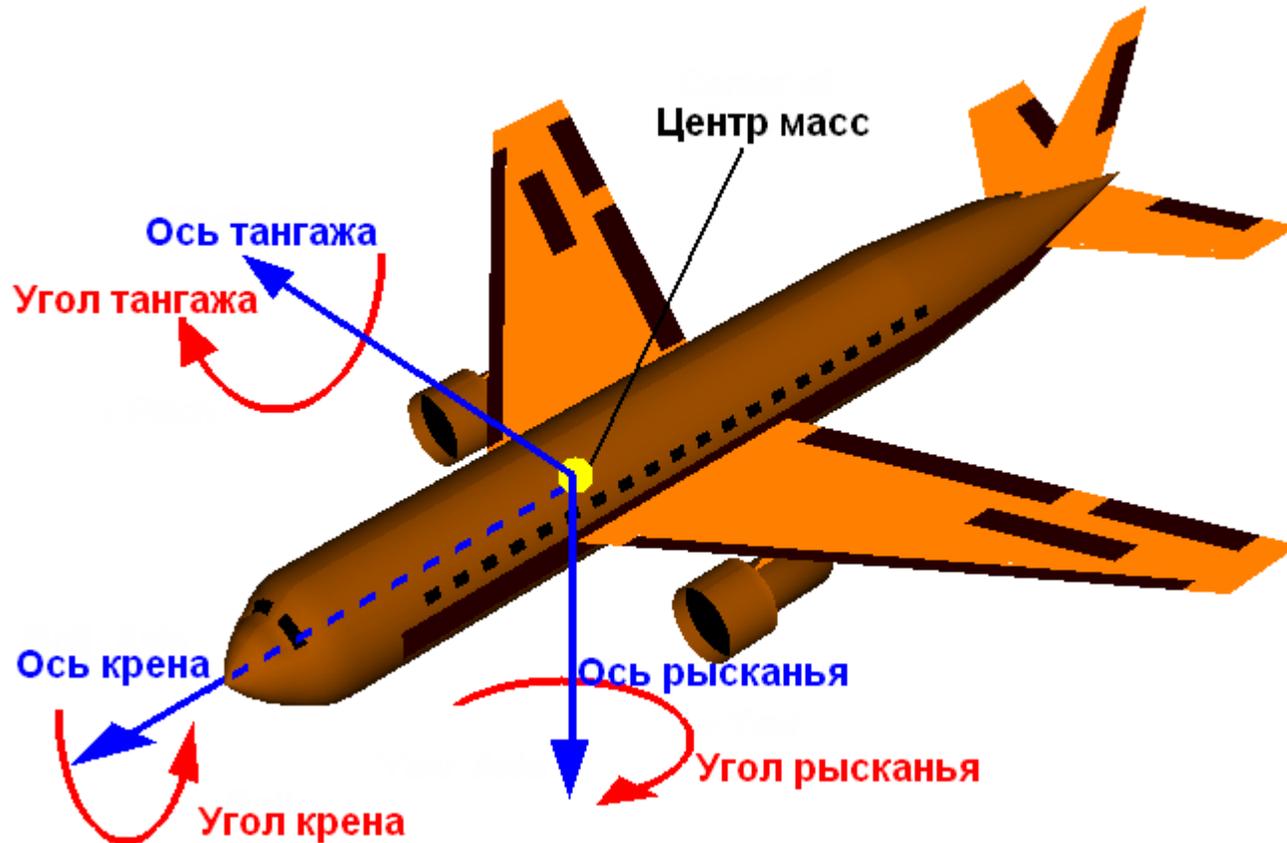
Инерциальные системы навигации беспилотных летательных аппаратов

Моховцев Кирилл

Системы навигации движущихся объектов

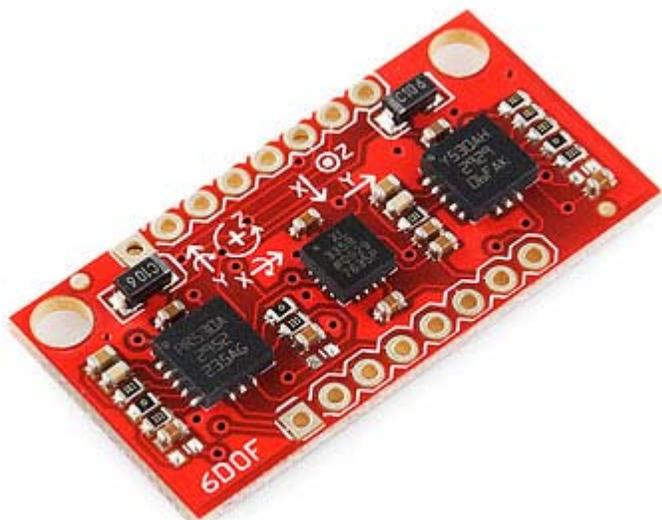
- ▶ С внешними ориентирами
 - Спутниковые
 - Астрономические
 - Радионавигационные
 - Пиро- и магнитометрические
 - Основанные на анализе видеопотока
- ▶ Инерциальные
 - Гиростабилизированные (платформенные)
 - Бесплатформенные

Углы Эйлера для летательного аппарата



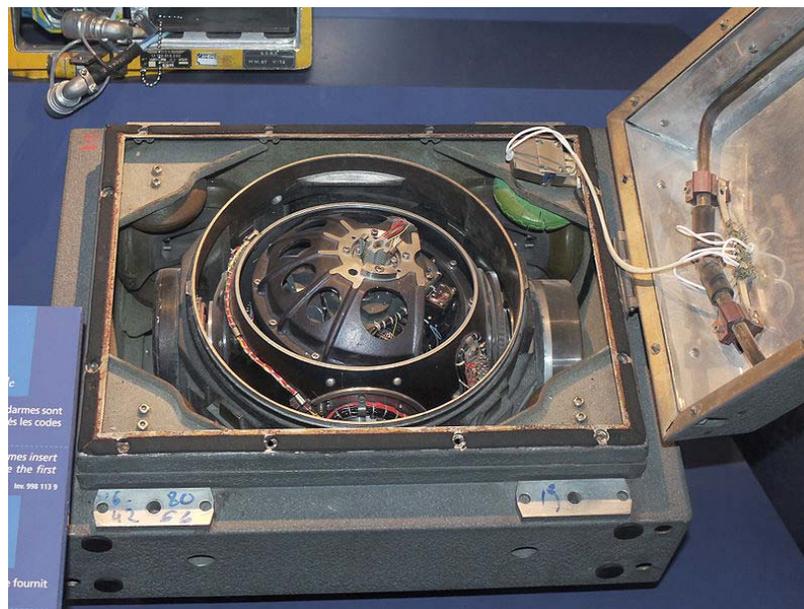
Модуль инерциальной навигации

- ▶ 6 измеряемых значений:
 - Ускорения по трем осям
 - Угловые скорости поворота вокруг трех осей

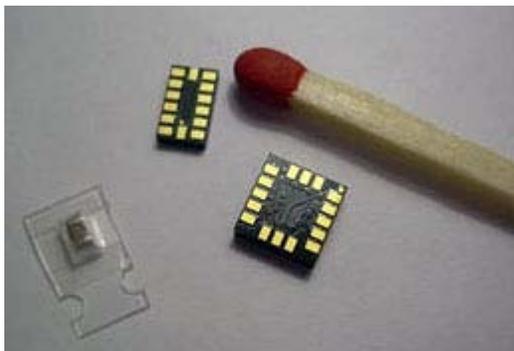


Любительский модуль, основанный на МЭМС-датчиках

Гиростабилизированный навигационный модуль баллистической ракеты S3

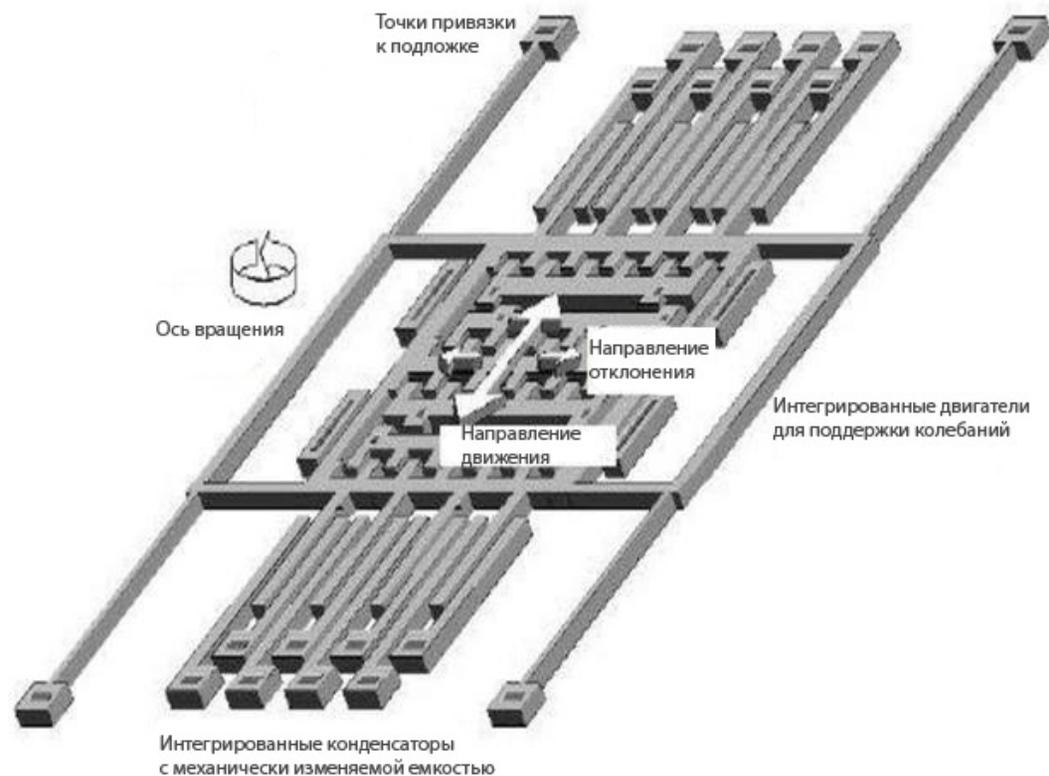


Микромеханические датчики



Трёхосевой МЭМС-акселерометр
и одноосевой гироскоп
ST Microelectronics

Устройство микромеханического гироскопа



Проблемы, возникающие при использовании МЭМС-датчиков

- ▶ Зашумленность получаемых данных
- ▶ Высокая чувствительность к внешним факторам (вибрация, ЭМ-волны)
- ▶ Дрейф гироскопов
- ▶ Невозможность получить «чистые» значения ускорений по осям

Решение – комплементация данных при помощи фильтра Калмана

Фильтр Калмана

Этап экстраполяции:

- оценка вектора состояния
- расчет ковариационной матрицы

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \mathbf{F}_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1} + \mathbf{B}_k \mathbf{u}_{k-1}$$

$$\mathbf{P}_{k|k-1} = \mathbf{F}_k \mathbf{P}_{k-1|k-1} \mathbf{F}_k^T + \mathbf{Q}_{k-1}$$

Этап коррекции:

- отклонение от экстраполяции
- ковариационная матрица вектора ошибки
- коэффициенты усиления

$$\tilde{\mathbf{y}}_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}$$

$$\mathbf{S}_k = \mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k$$

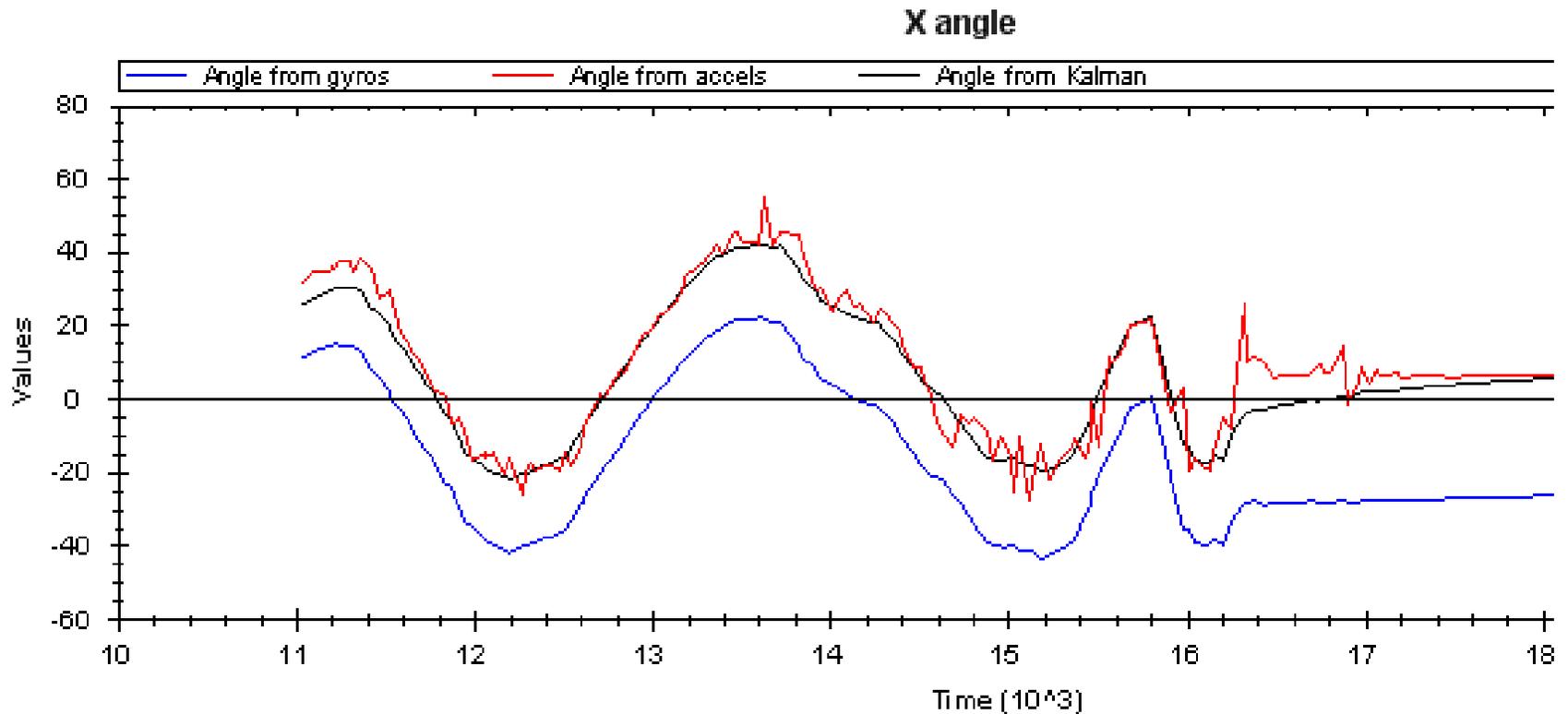
$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T \mathbf{S}_k^{-1}$$

- коррекция вектора состояния
- перерасчет матрицы ковариации

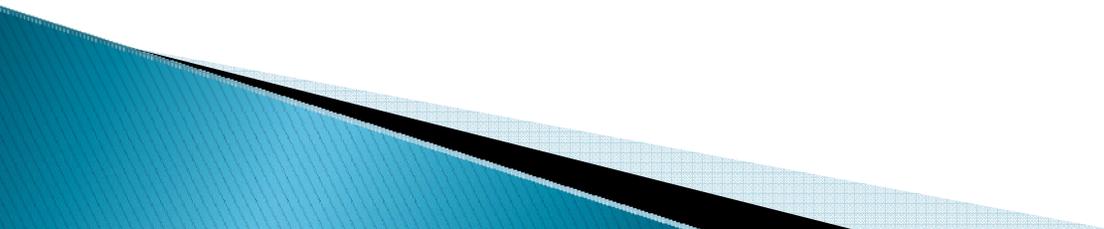
$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k} = \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k \tilde{\mathbf{y}}_k$$

$$\mathbf{P}_{k|k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_{k|k-1}$$

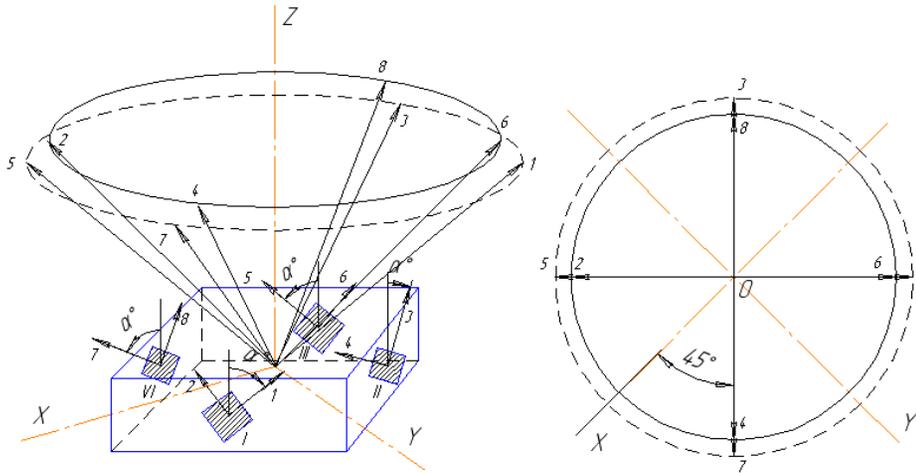
Результат обработки данных



Методы дальнейшего уменьшения погрешностей инерциального модуля

- ▶ Дополнение данными от датчиков других типов
 - Спутниковых (GPS, ГЛОНАСС)
 - Пирометрических
 - Магнитных
 - Видео
 - ▶ Введение избыточного количества датчиков
- 

Модуль с избыточным количеством датчиков

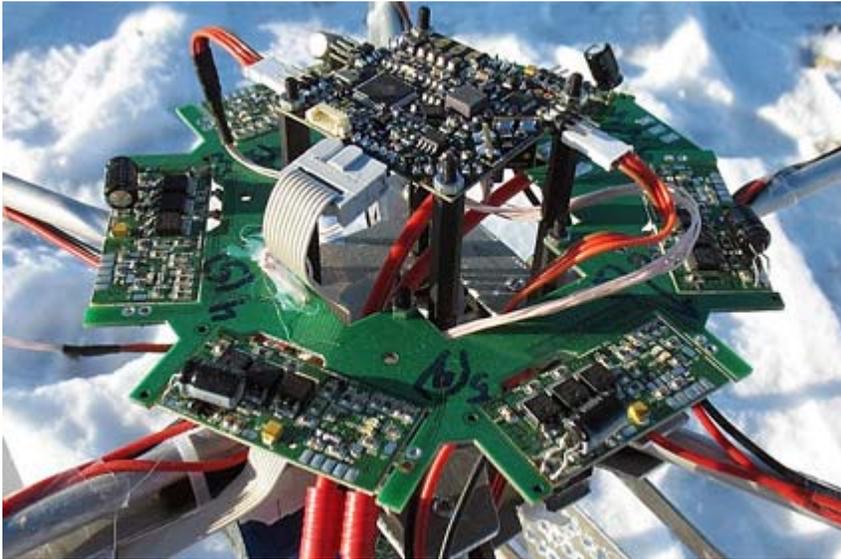


Преимущества:

- Уменьшение погрешности за счет объединения избыточных данных
- Возможность создать алгоритм, адаптирующийся к отказу одного, или нескольких датчиков

Схема неортогонального расположения датчиков

Использование фильтра Калмана в навигационной системе любительского БПЛА



Бортовой компьютер с модулем инерциальной навигации

Общий вид летательного аппарата



Выводы

- ▶ **Преимущества использования МЭМС–датчиков:**
 - Исключительно малый размер и вес
 - Относительная дешевизна
 - Простота в эксплуатации
- ▶ **Недостатки:**
 - Случайный дрейф гироскопов и шум акселерометров
 - Необходимость использования относительно сложного математического аппарата
- ▶ **Предложения по улучшению НМ:**
 - Использование избыточного количества датчиков
 - Использование других типов датчиков
 - Разработка более сложных методов фильтрации
 - Реализация математического аппарата на ПЛИС

Спасибо за внимание.

Моховцев К.А.
НТУУ «КПИ»
2011