

# MEMS

LINUX KERNEL UNIVERCITY COURSE

MAXIM LIPCHANSKYI

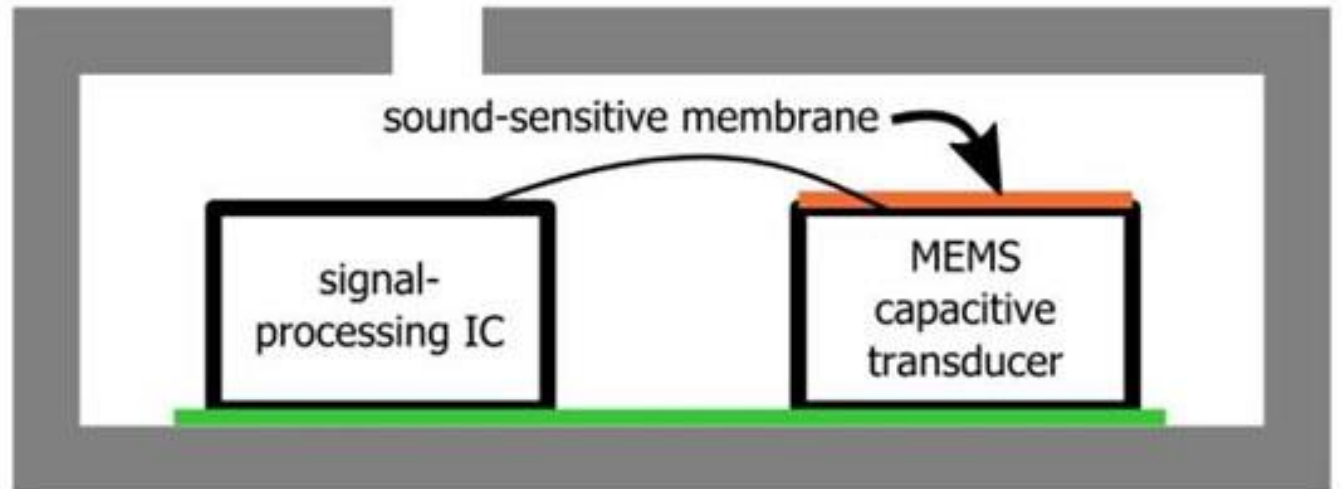
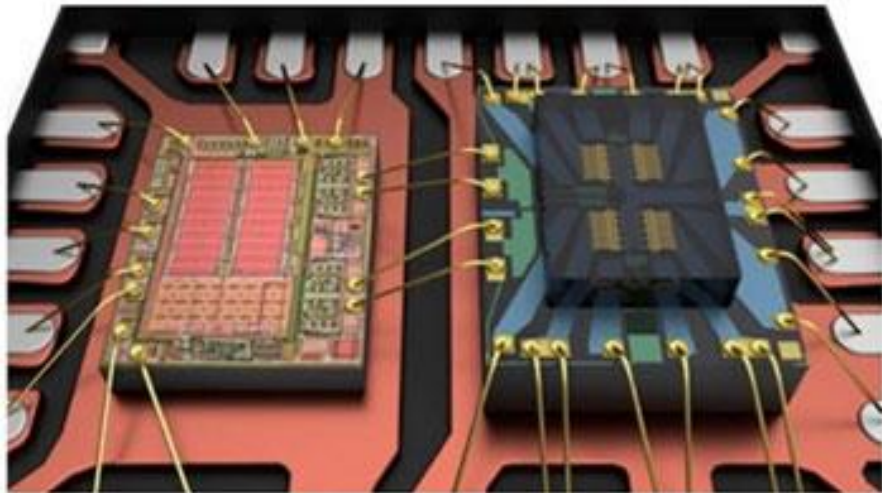
# FSM

**FSM** (Finite-state machine) - Конечный автомат — абстрактный автомат, число возможных внутренних состояний которого конечно.

Способы описания:

- ▶ Диаграмма состояний (граф переходов) — графическое представление множества состояний и функции переходов
- ▶ Таблица переходов — табличное представление (строки – состояния, столбцы — один допустимый входной символ, ячейки - состояние, в которое должен перейти автомат, если в данном состоянии он считал данный входной символ)

# MEMS



# LSM9DS1

Тип датчика:9-axis

Ось измерения:X, Y, Z

Чувствительность:0.061 mg/LSB, 0.122 mg/LSB, 0.244 mg/LSB

Ускорение:2 g, 4 g, 8 g, 16 g

Тип выхода:Digital

Тип интерфейса:SPI, I2C

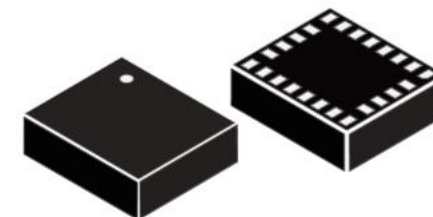
Разрешение:16 bit

Рабочий ток источника питания: 1.9 mA

Напряжение питания - 1.9 - 3.6 VDC

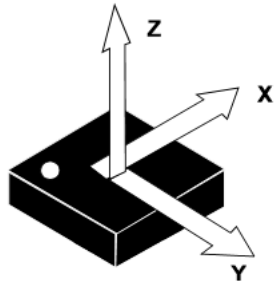
Рабочая температура: -40 - +85 C

Особенности:Temperature Sensor

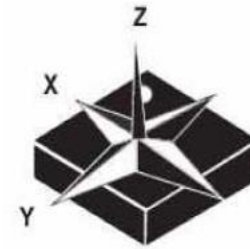


LGA-24L (3.5x3x1.0 mm)

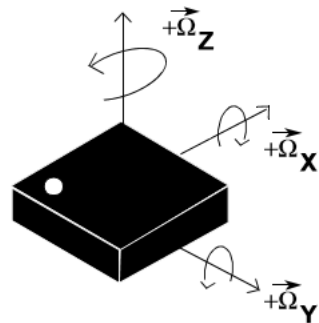
# LSM9DS1



(TOP VIEW)  
DIRECTIONS OF THE  
DETECTABLE  
ACCELERATIONS

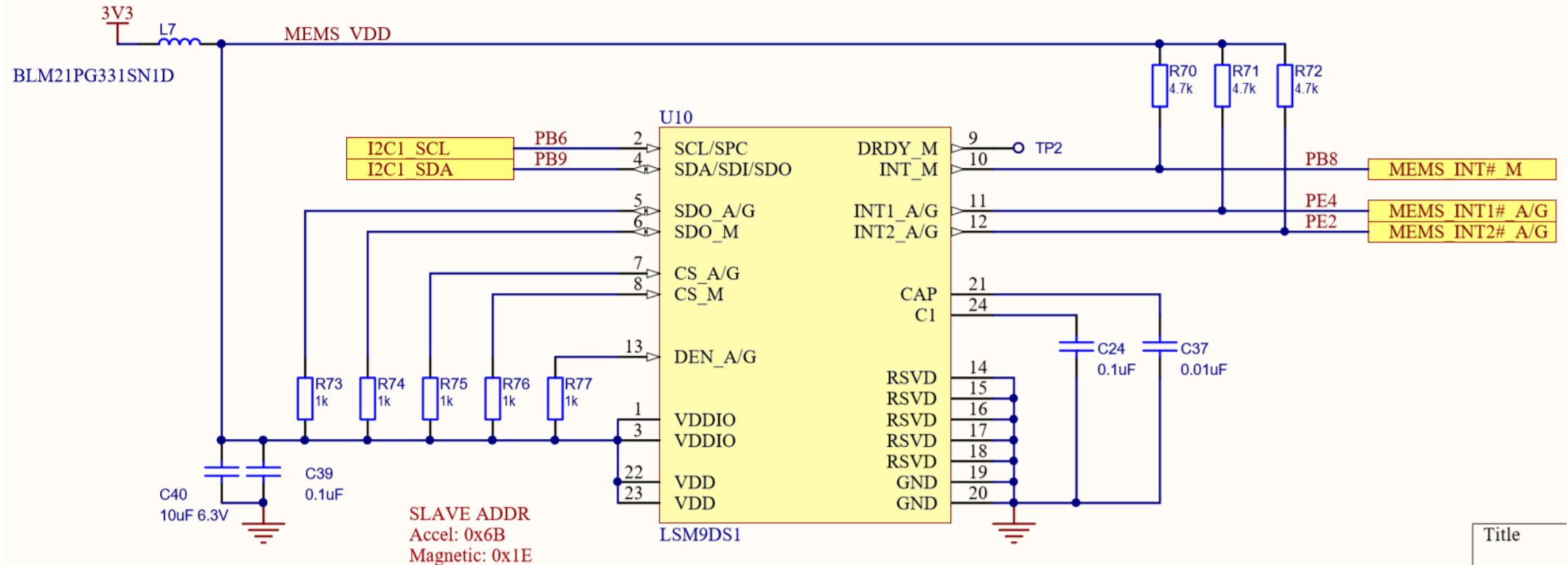


(TOP VIEW)  
DIRECTIONS OF THE  
DETECTABLE  
MAGNETIC FIELDS



(TOP VIEW)  
DIRECTIONS OF THE  
DETECTABLE  
ANGULAR RATES

# LSM9DS1



# LSM9DS1

58	C7	92	136	B6	164	<u>PB6</u>	I/O	FT	-	I2C1_SCL/ TIM4_CH1 / <u>CAN2_TX</u> / DCMI_D5/USART1_TX/ EVENTOUT	-
62	C8	96	140	B4	168	<u>PB9</u>	I/O	FT	-	SPI2_NSS/ I2S2_WS / TIM4_CH4/ TIM11_CH1/ SDIO_D5 / DCMI_D7 / <u>I2C1_SDA</u> / CAN1_TX/ EVENTOUT	-

# LSM9DS1

## Конфигурация LSM9DS1

Accelerometer and gyroscope

CTRL\_REG1\_G [0x10] = 0x40

CTRL\_REG3\_G [0x12] = 0x41

CTRL\_REG4 [0x1E] = 0x38

CTRL\_REG5\_XL [0x1F] = 0x38

CTRL\_REG6\_XL [0x20] = 0x38

CTRL\_REG7\_XL [0x21] = 0x00



# LSM9DS1

## Конфигурация LSM9DS1

Magnetic sensor

CTRL\_REG1\_M [0x20] = 0x74  
CTRL\_REG2\_M [0x21] = 0x40  
CTRL\_REG3\_M [0x22] = 0x00  
CTRL\_REG4\_M [0x23] = 0x0C  
CTRL\_REG5\_M [0x24] = 0x00

# LSM9DS1

## Конфигурация LSM9DS1

I2C address for accelerometer and gyroscope:

Read 11010111 (D7h)

Write 11010110 (D6h)

I2C address for magnetic sensor:

Read 00111101 (3Dh)

Write 00111100 (3Ch)

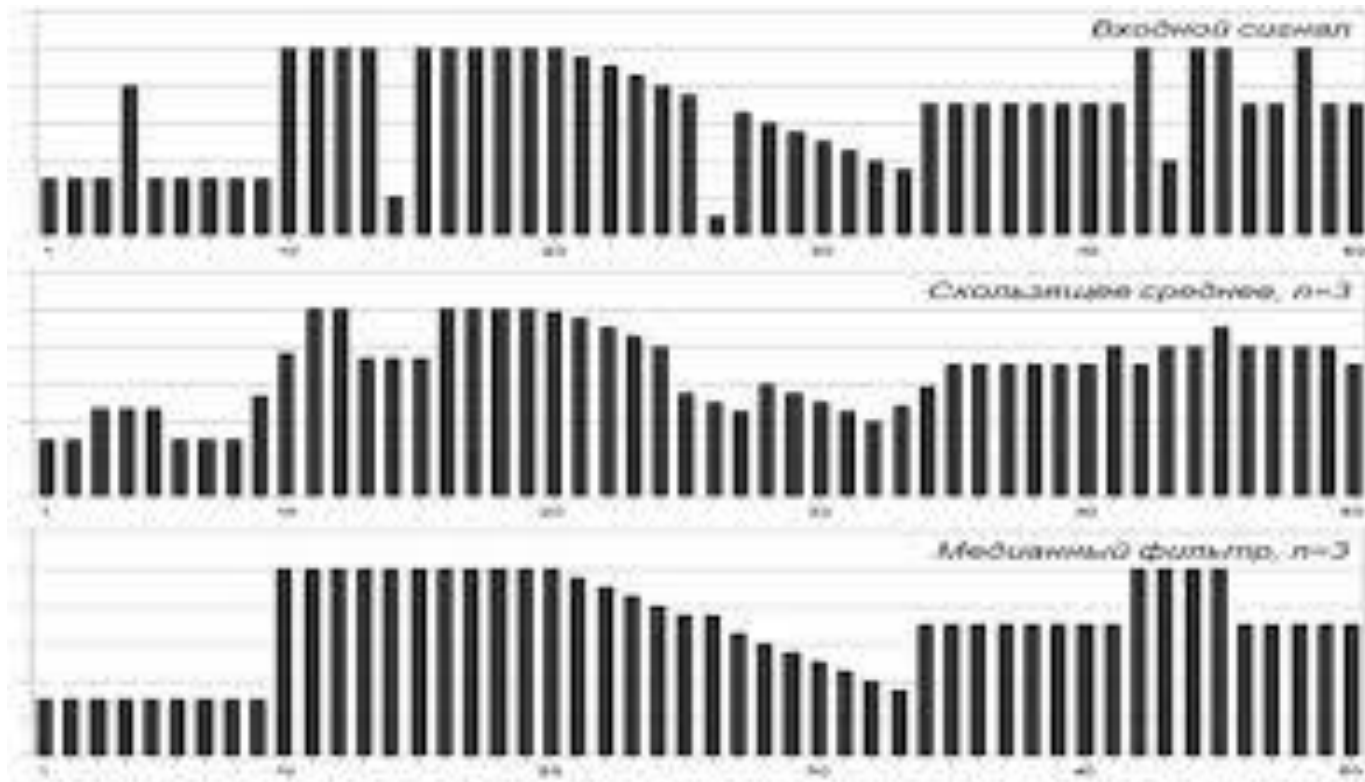
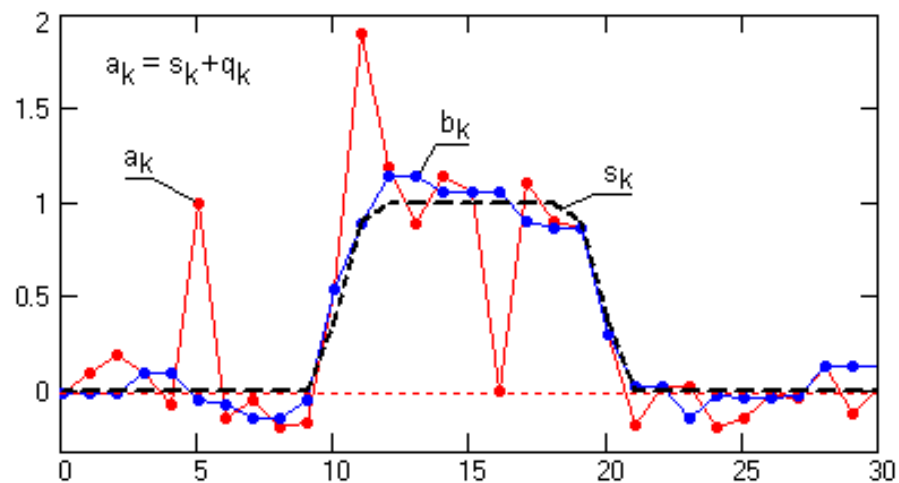
```
int res = HAL_I2C_Mem_Write(&hi2c1, 0x3C, 0x24, I2C_MEMADD_SIZE_8BIT,  
    i2cBuffer, 1, 1000);
```

```
int res = HAL_I2C_Mem_Read(&hi2c1, 0x3D, 0x28,  
    I2C_MEMADD_SIZE_8BIT, i2cBuffer, 6, 1000);
```

# Обработка результатов измерений

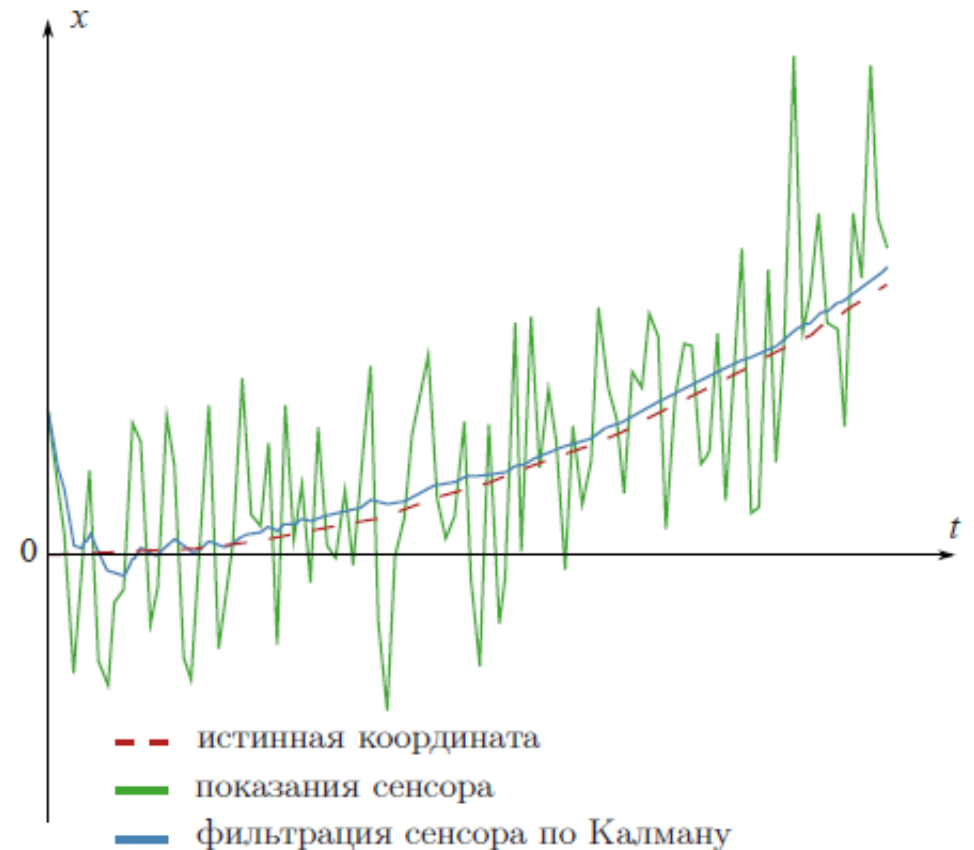
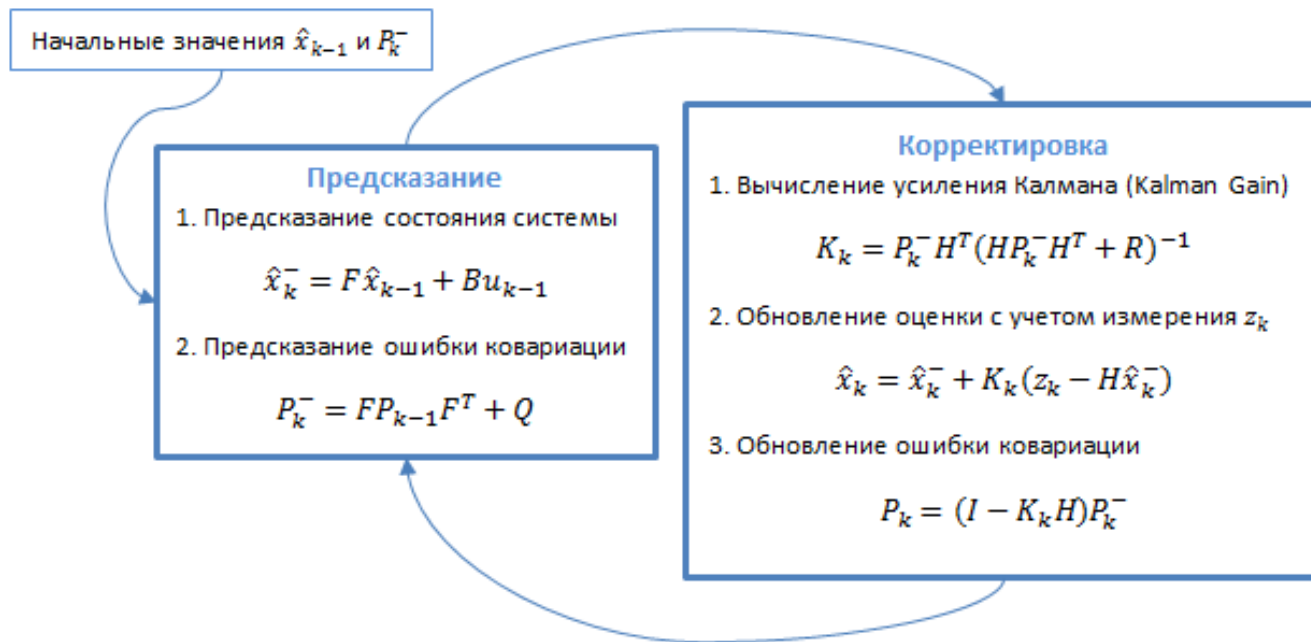
- Медианный фильтр

$$y_k = Me(x_{k-(n-1)/2}, \dots, x_k, \dots, x_{k+(n-1)/2}),$$



# Обработка результатов измерений

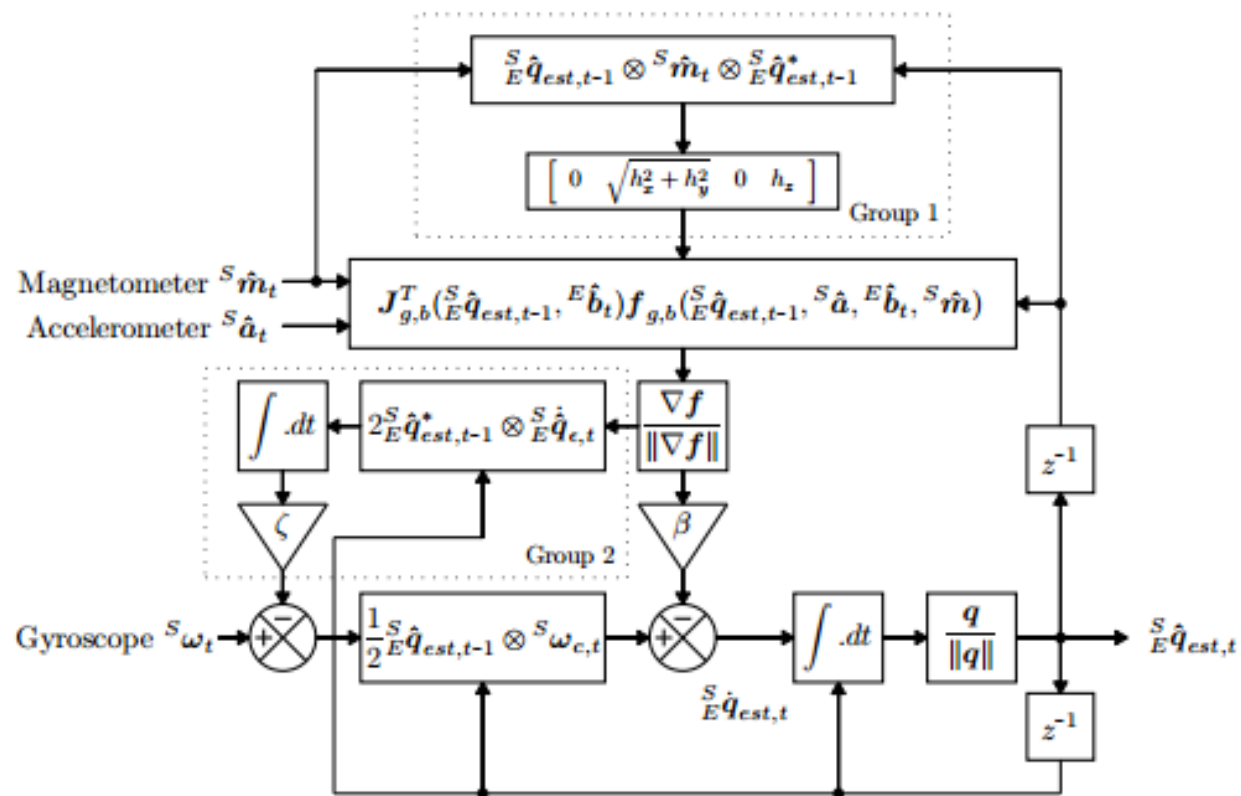
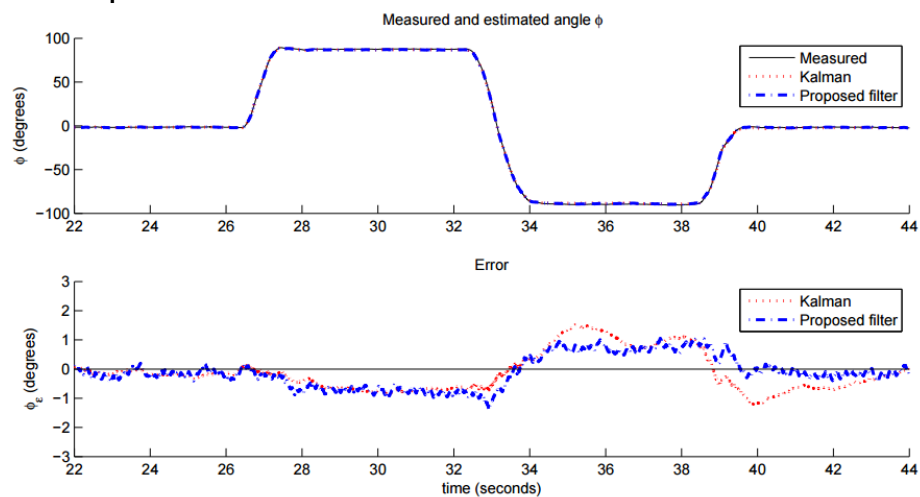
- **Фильтр Калмана**



# Обработка результатов измерений

- **Фильтр Маджвика**

Фильтр массивов данных инерционных и инерционно-магнитных датчиков для определения ориентации



# Обработка результатов измерений

- **Фильтр Махони**

используется для определения углового положения в пространстве и фильтрации ускорений в земной связанной системе координат

занимается обработкой массивов данных, поступающих с датчиков и снимает проблемы точности и настройки параметров фильтра Калмана

Снижена вычислительная сложность алгоритма



# Обработка результатов измерений

- **Определение угла поворота (инклинометр)**

Одноосевой акселерометр

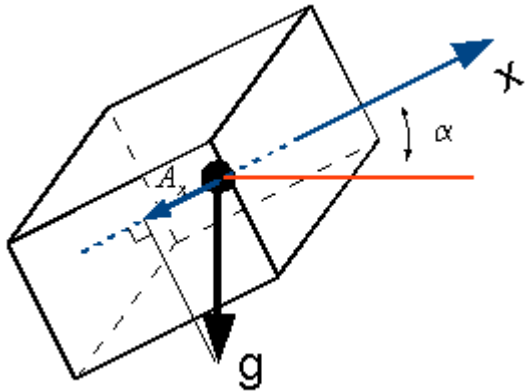


Рисунок 1: Одноосевой случай

$$A_x = g \cdot \sin(\alpha)$$

Двухосевой акселерометр

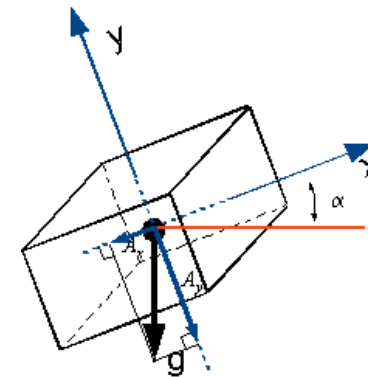


Рисунок 3: Двухосевой случай

$$\tan(\alpha) = \frac{A_x}{A_y}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{A_x}{A_y}\right)$$

# Обработка результатов измерений

- **Определение угла поворота (инклинометр)**

Трехосевой акселерометр

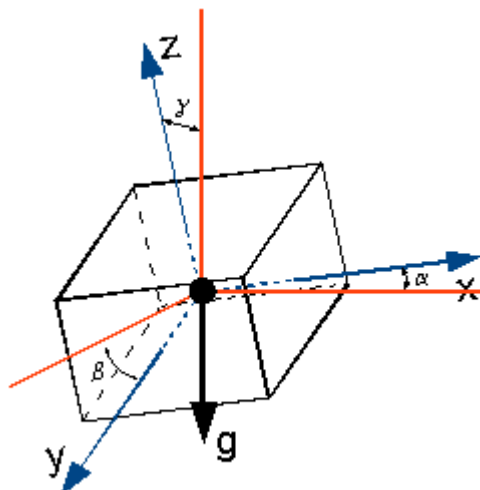


Рисунок 4: Трехосевой случай

$$\alpha = \arctan\left(\frac{A_x}{\sqrt{A_y^2 + A_z^2}}\right)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}\right)$$

$$\gamma = \arctan\left(\frac{A_z}{\sqrt{A_x^2 + A_y^2}}\right)$$

Float pitch = `atan2(-ax, sqrt(ay * ay + az * az));`