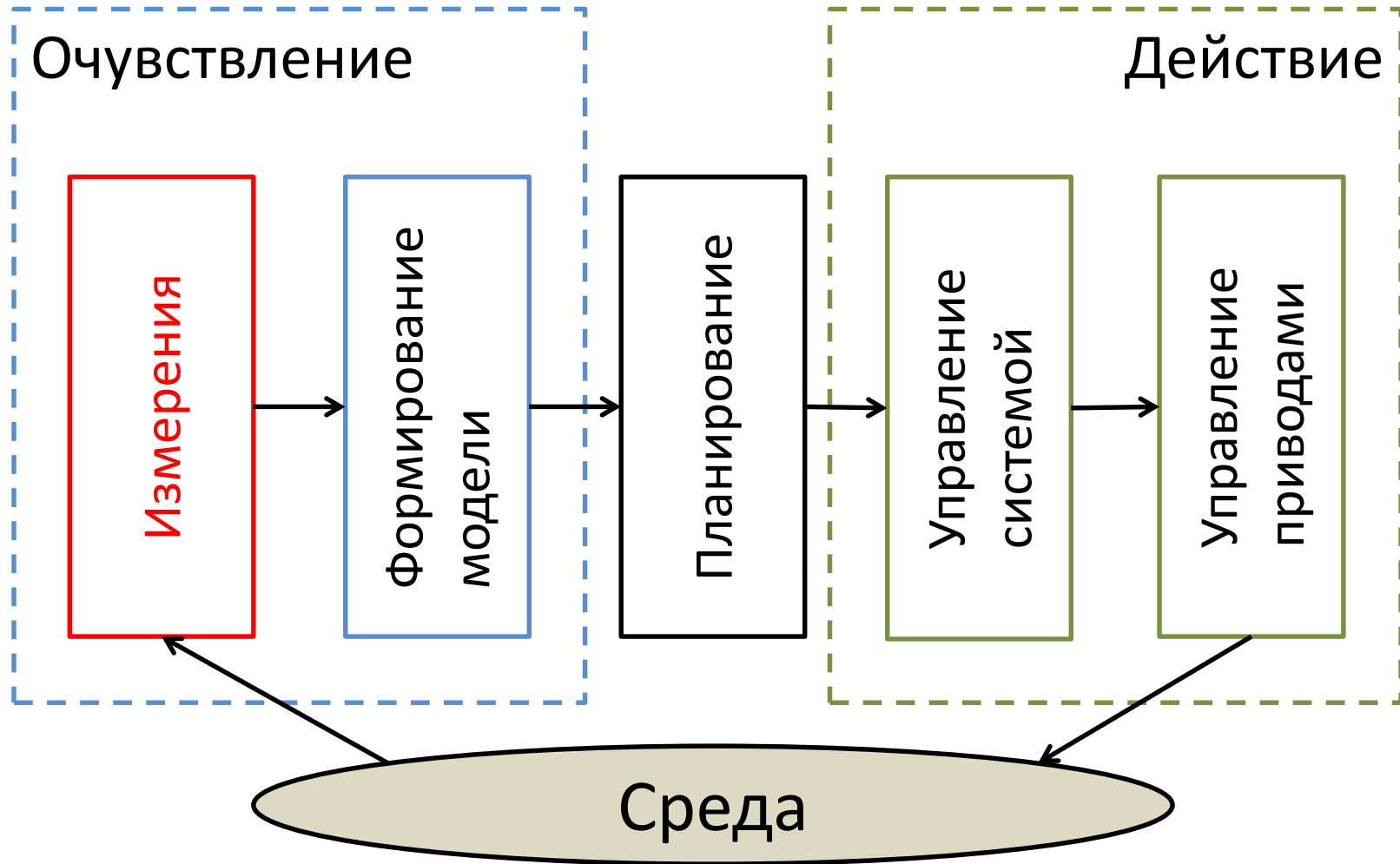


# Мобильная робототехника

## Сенсорная система



# Классический подход



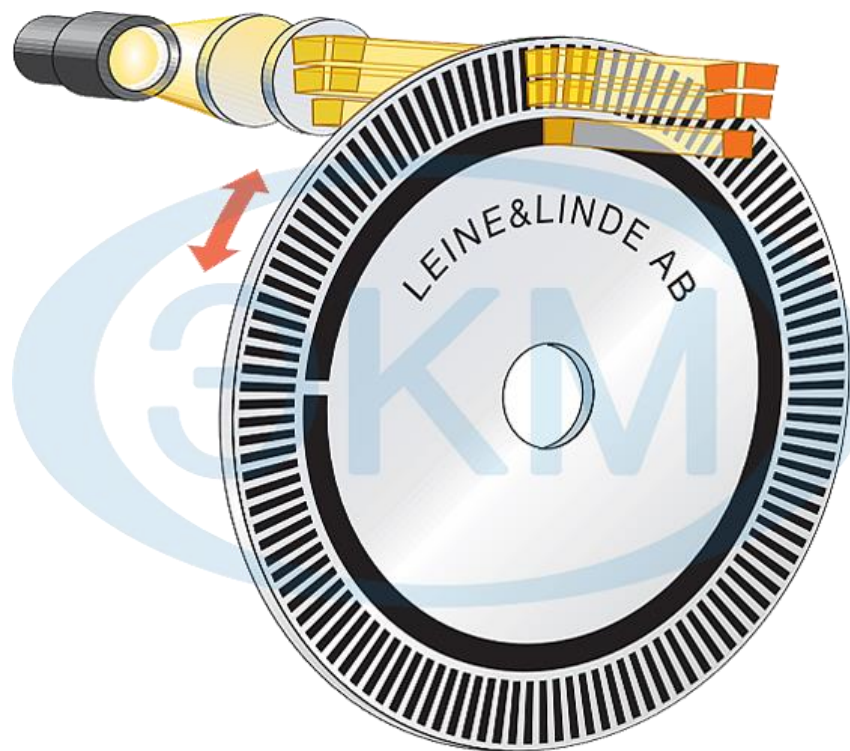
# Навигация

Навигация от лат. navigo – плыву на корабле.

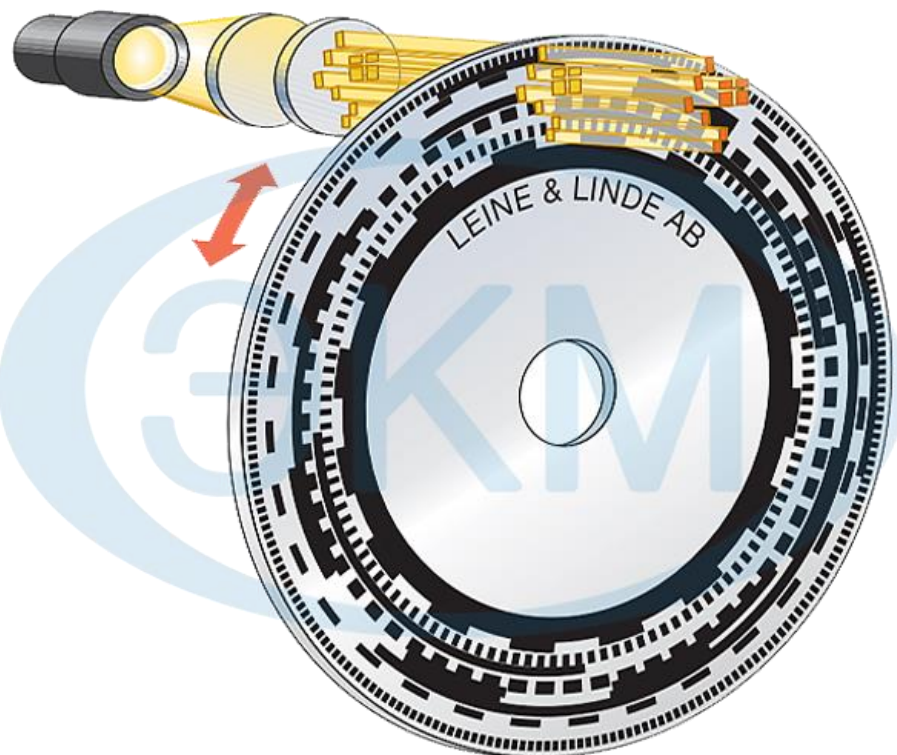
Навигация в узком смысле – решение навигационной задачи, т.е. определение текущих координат

Навигация в широком смысле – решение навигационной задачи и использование полученной информации для управления

# Энкодеры

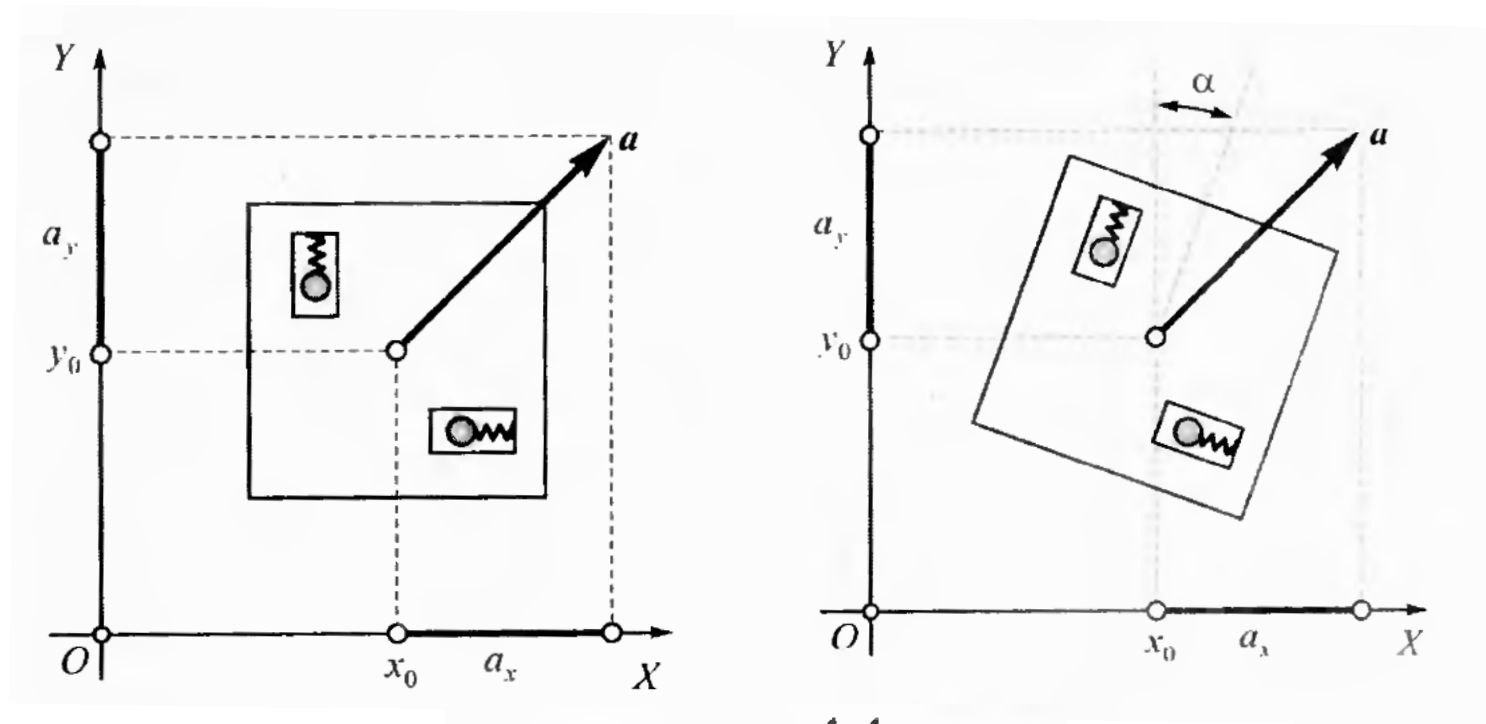


Инкрементальный



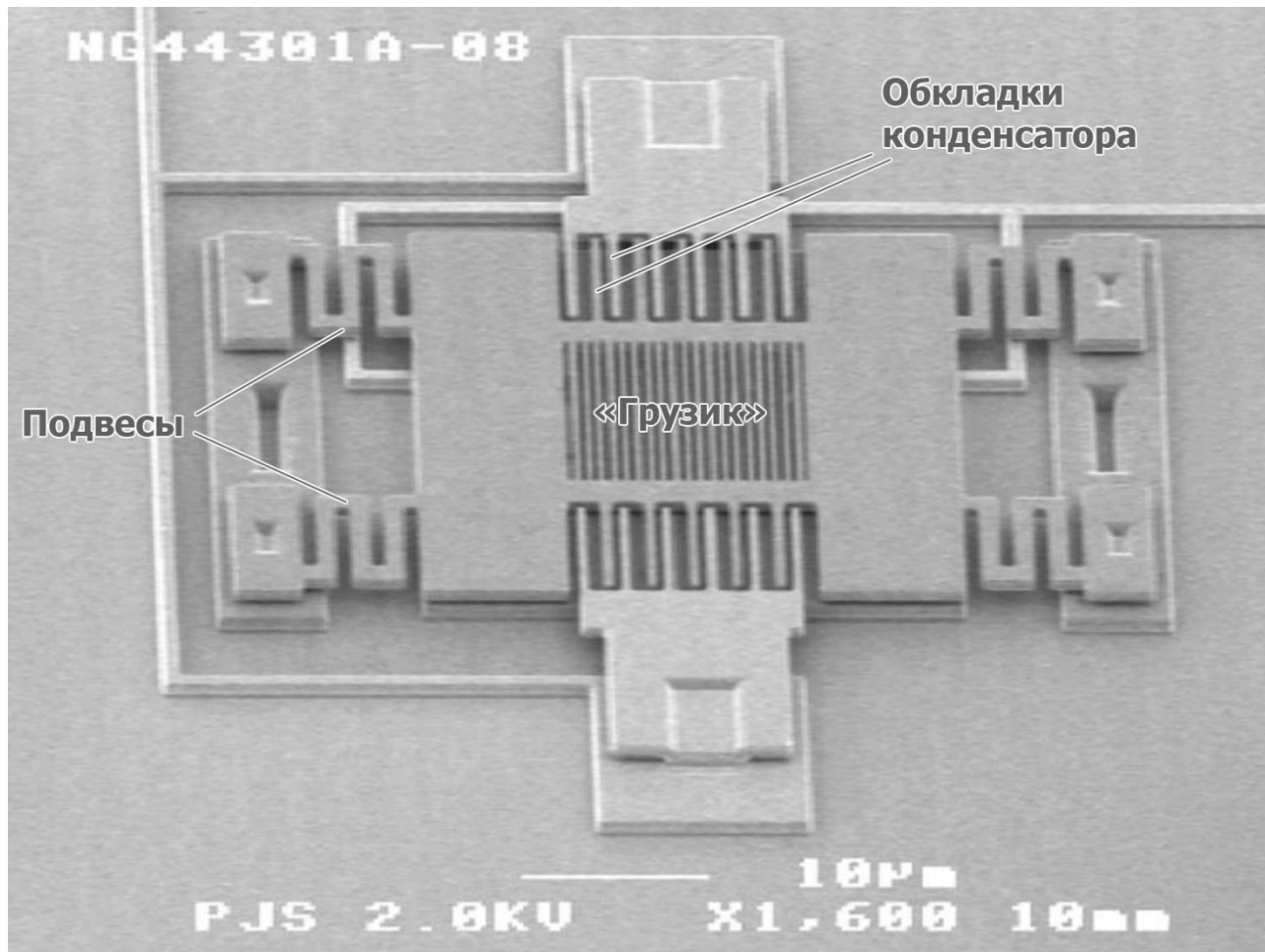
Абсолютный

# Инерциальная навигация

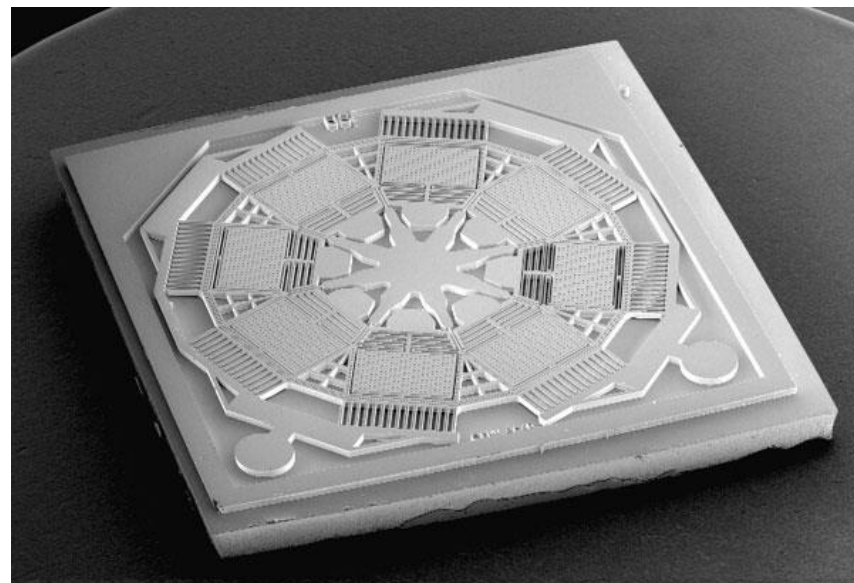
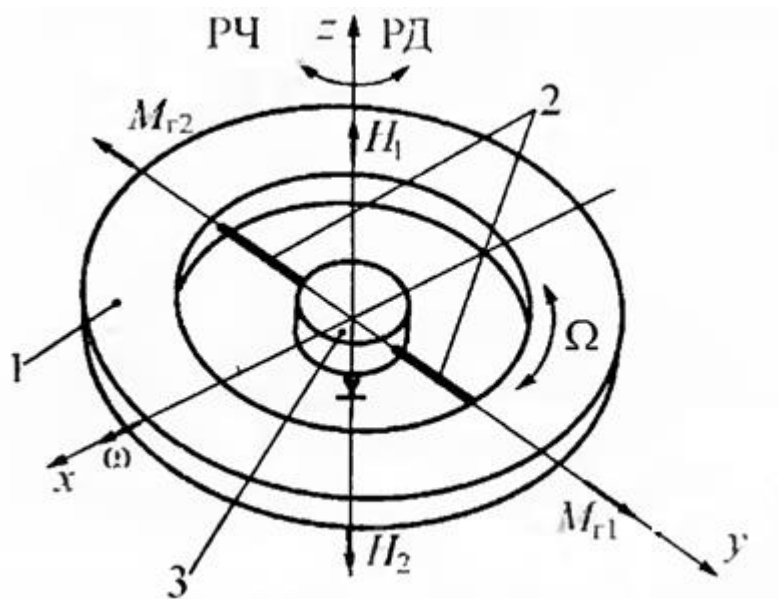


$$x = x_0 + v_{0x}t + \int_0^t \int_0^t a_x dt dt$$
$$y = y_0 + v_{0y}t + \int_0^t \int_0^t a_y dt dt$$

# Микромеханический акселерометр



# Микромеханический гироскоп

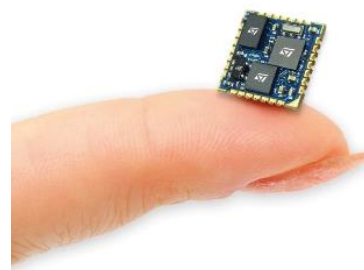
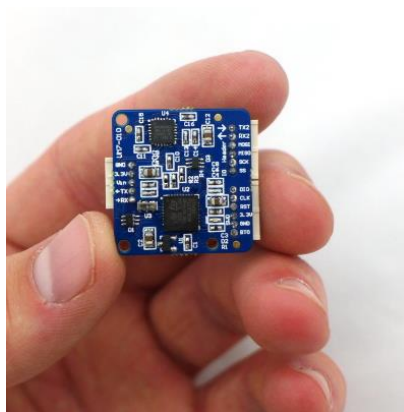




# БИНС на МЭМС



Стабильность нуля до  $\sim 1^\circ/\text{час}$



**INEMO-M1**

Стабильность нуля до  $\sim 10^\circ/\text{час}$



# Инерциальная навигация

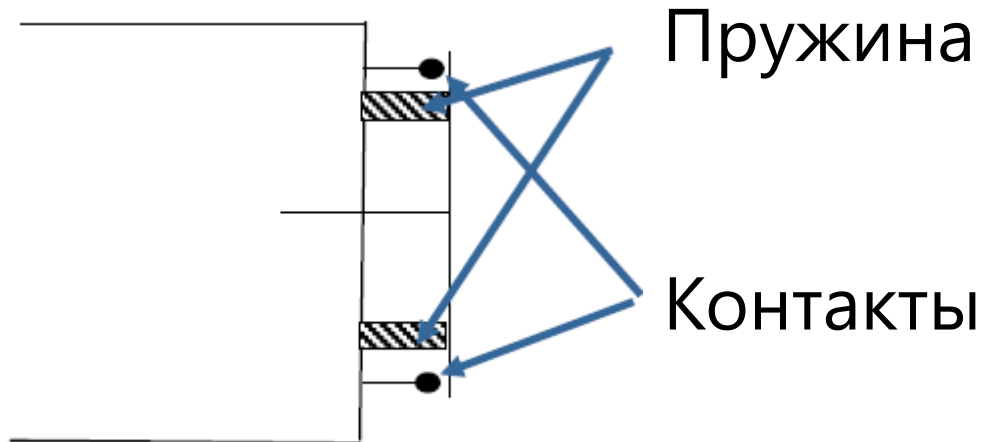
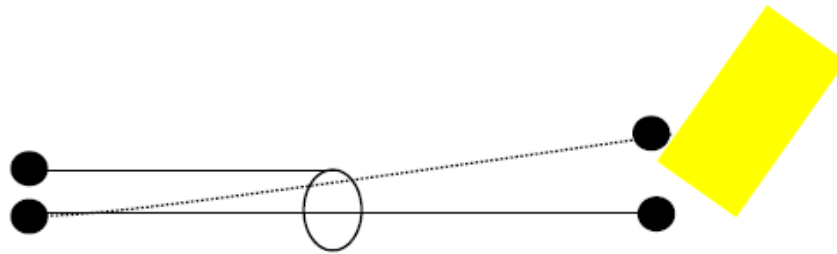
- Автономная
- Двухкратное интегрирование
- Необходимо знать начальные значения координат
- Непрерывное определение ориентации акселерометров
- Непрерывное измерение ускорения
- Нарастающая ошибка

# Виды дальнометрических систем

- Активные:
  - Ультразвуковые
  - Электромагнитные
    - Лазерные
    - Радары
    - Инфракрасные
- Пассивные:
  - Камеры
  - Тактильные

# Тактильный датчик

- Контакт с объектом

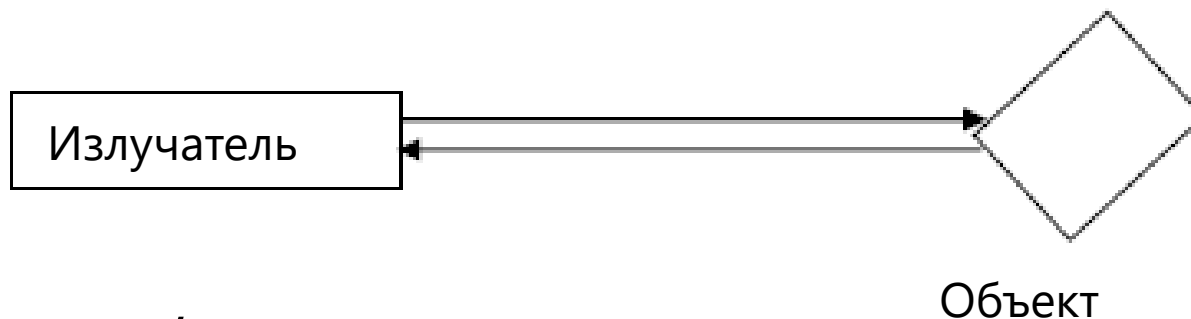


# Ультразвуковые датчики

- Инициация ультразвукового сигнала
- Ожидание отраженного сигнала
- Вычисление расстояния на основании пройденного времени



# Вычисление расстояния



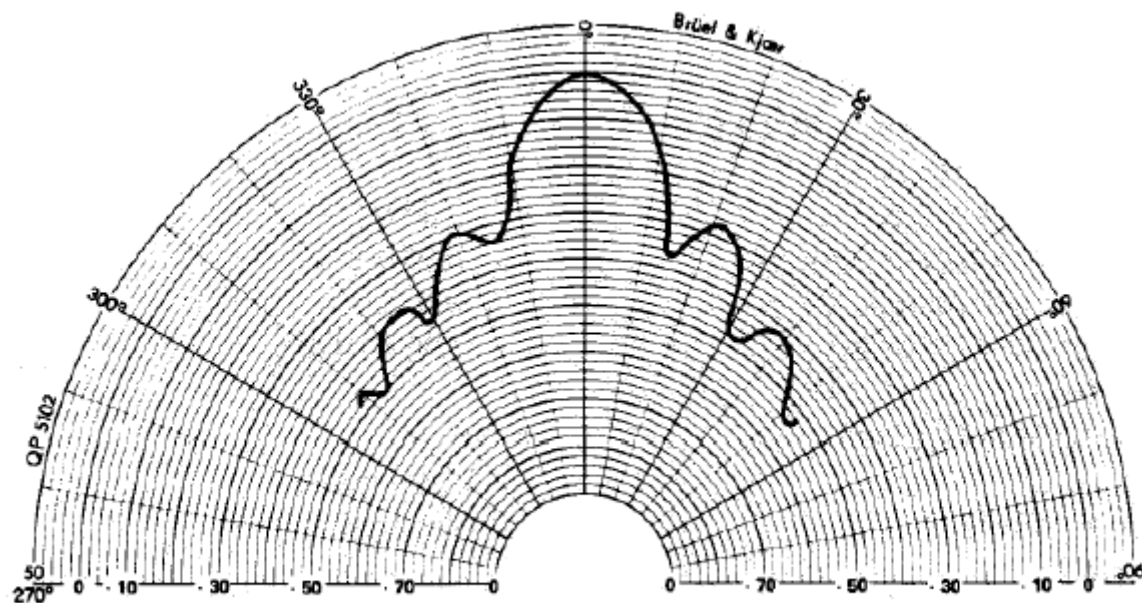
$$d = v * \frac{t}{2}$$

$V$  – скорость сигнала

$t$  – время между отправкой сигнала и получением эха

# Ультразвуковые датчики

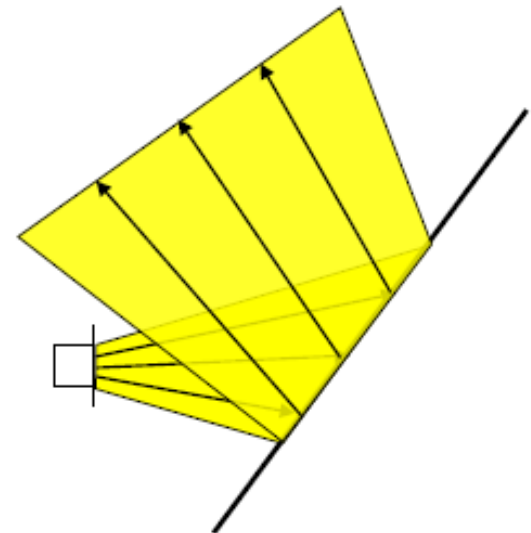
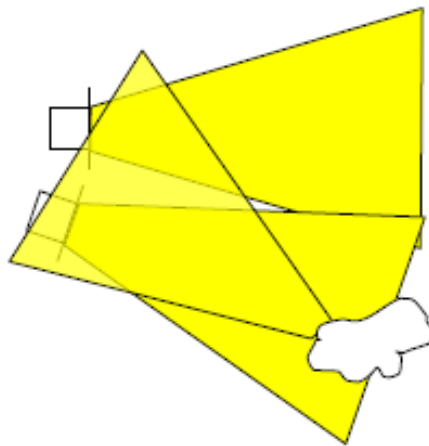
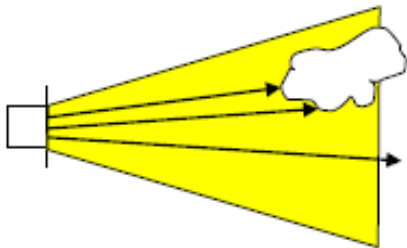
## Диаграмма направленности



# Ультразвуковые датчики

Источники ошибок:

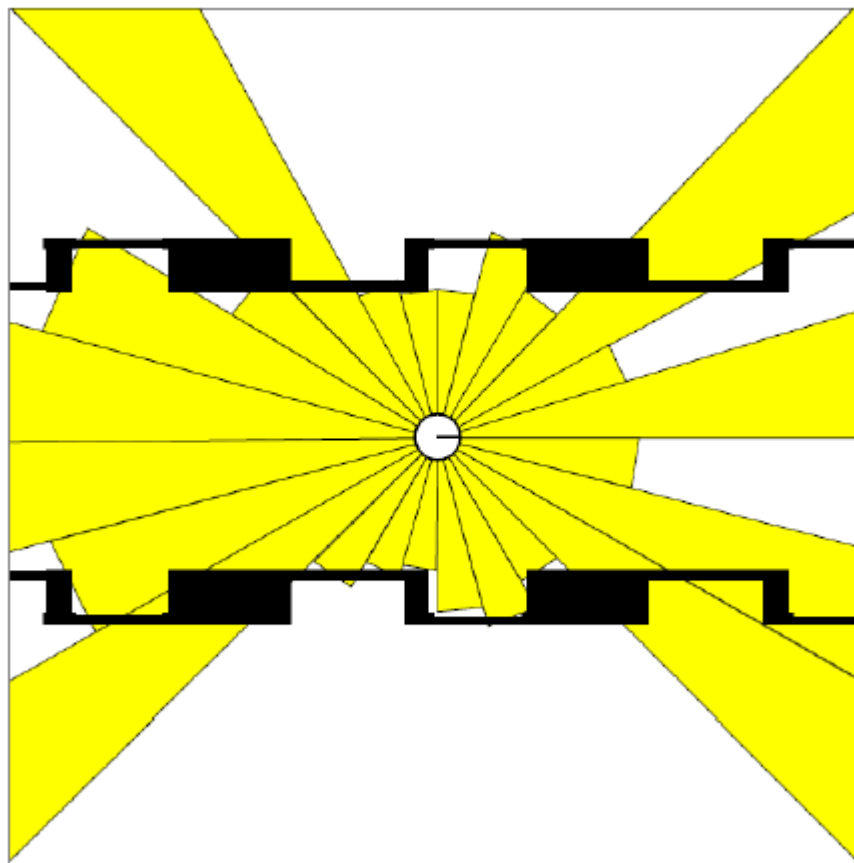
- Диаграмма направленности
- Перекрестное эхо
- Полное отражение





# Ультразвуковые датчики

Типичный скан



# Ультразвуковые датчики

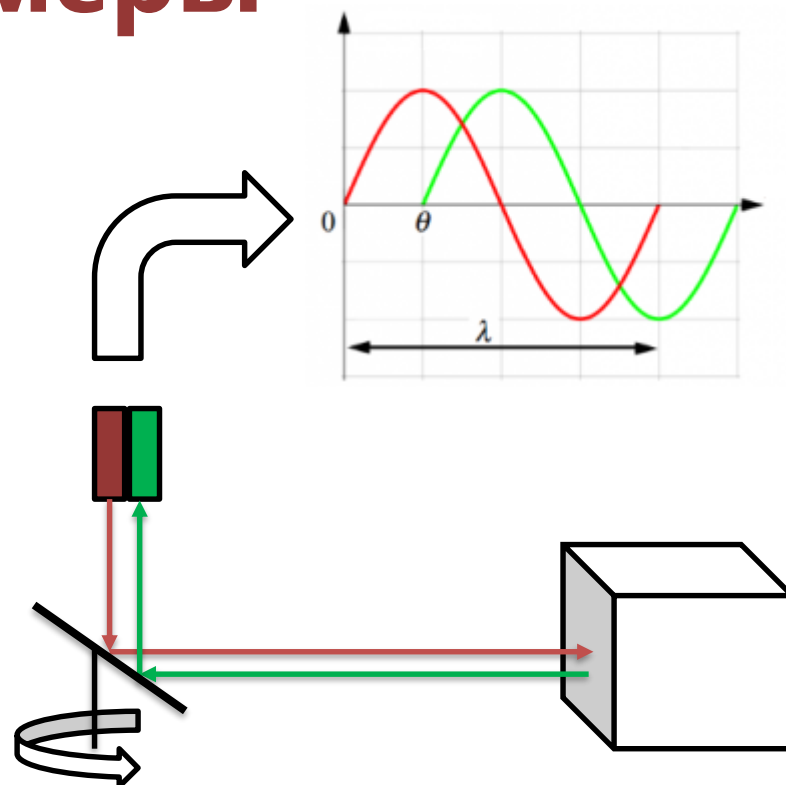
Параллельная работа:

- Для перекрытия пространства вокруг робота ( $360^\circ$ ) необходимо 24 сонара с углом обзора  $15^\circ$
- Пусть максимальная дальность сонаров 10 м
- Тогда максимальное время одного измерения  $2 \cdot 10 / 330 = 0.06$  с
- Полный скан при последовательной работе  $0.06 \cdot 24 = 1.45$  с
- Для быстрого перемещения необходима параллельная работа сонаров
- Это увеличивает вероятность появления перекрестного эха

# Ультразвуковые датчики



# Лазерные сканирующие дальномеры



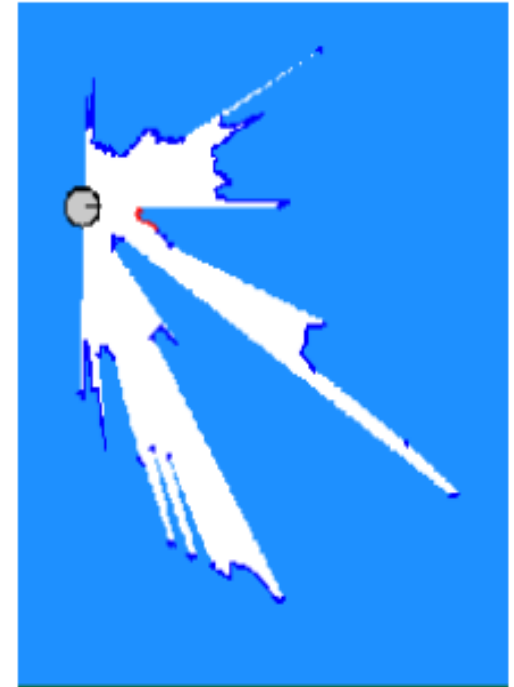
- Высокая точность
- Широкий угол обзора
- Высокая скорость

# Лазерные сканирующие дальномеры

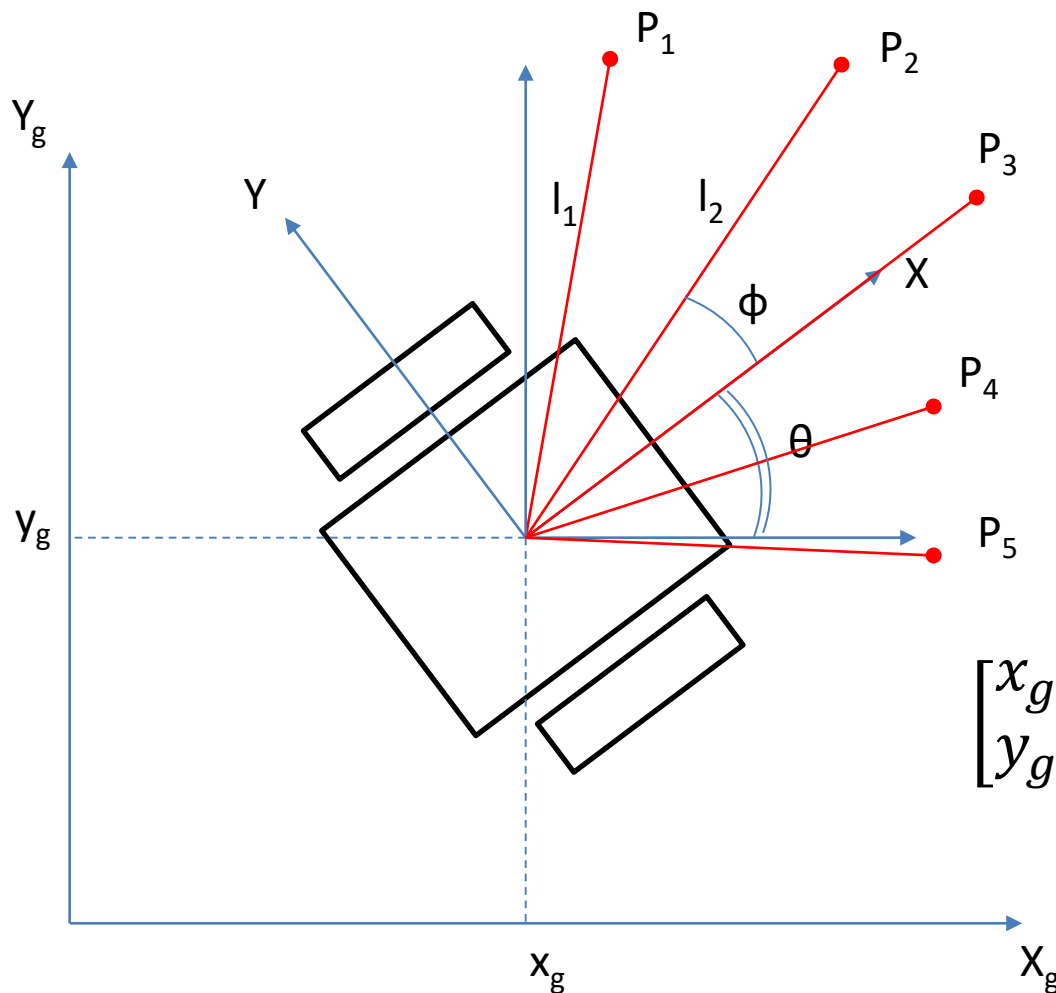
- Данные лидара представляют собой массив дальностей [1; 0.4; 0; ...]
- Предположим угол измерения  $180^\circ$
- С угловым разрешением  $5^\circ$

Найти:

- Координаты препятствия относительно робота (лидара)?
- Координаты препятствия в глобальной системе координат?



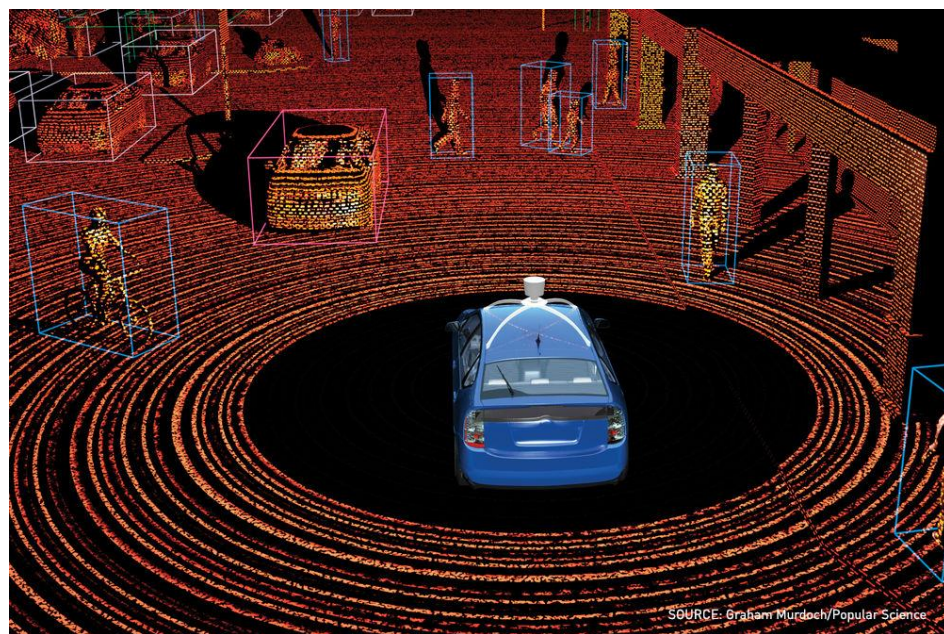
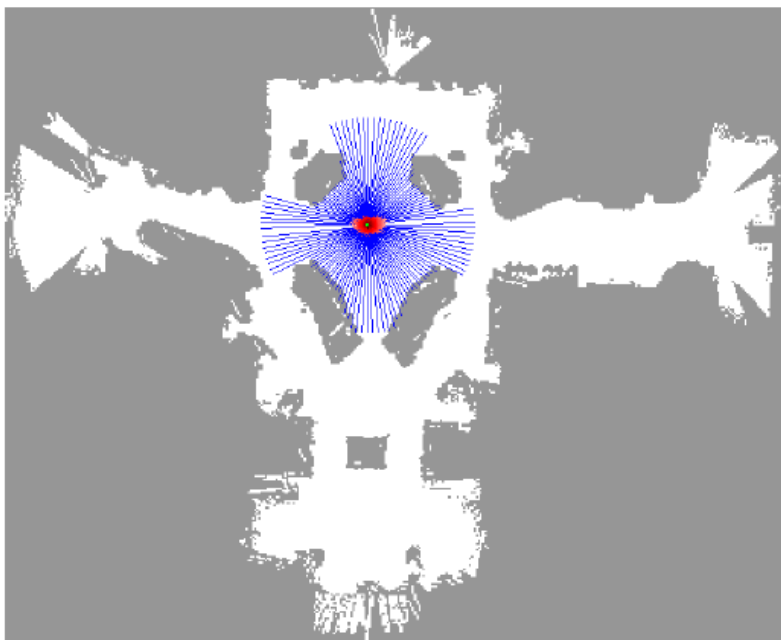
# Лазерные сканирующие дальномеры



$$\begin{bmatrix} x_{pi} \\ y_{pi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_i \cos \varphi_i \\ l_i \sin \varphi_i \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_{gi} \\ y_{gi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & x_g \\ \sin \theta & \cos \theta & y_g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{pi} \\ y_{pi} \\ 1 \end{bmatrix}$$

# Лазерные сканирующие дальномеры





# Лазерные сканирующие дальномеры

Двухмерные



HOKUYO UTM-30LX



SICK LMS-200

Трёхмерные



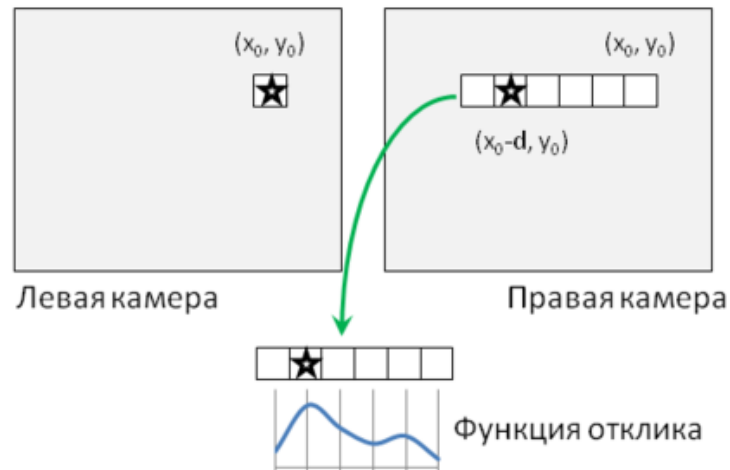
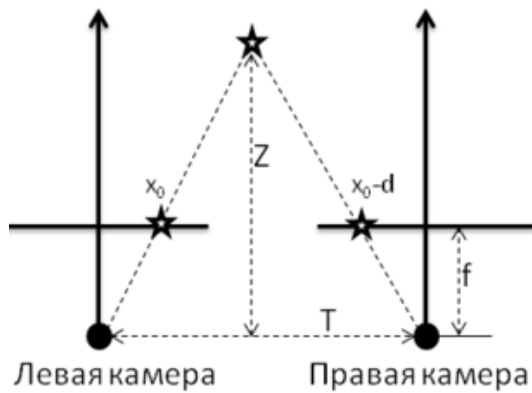
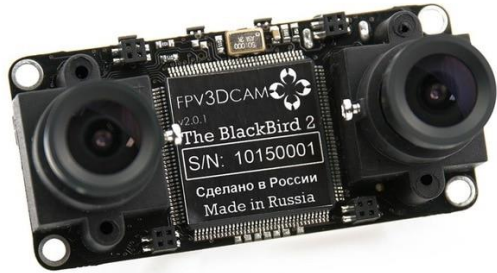
Velodyne HDL-64E



Velodyne VLP-16

Параметр	SICK LMS-200	HOKUYO UTM-30LX	Velodyne Lidar HDL -64E	Velodyne Lidar VLP-16
Максимальная дальность измерений, м	80	30	120	100
Угол измерения, °	180	270	360 / 26,8	360 / 30
Угловое разрешение, °	0.25	0.25	0,08 / 0,4	0,4 / 2
Масса, кг	4.5	2.1	13	0,830
Размеры, мм	156 × 155 × 210	60 × 60 × 87	D223 × 283	D103 × 72

# Стереокамера



$$\frac{T - d}{Z - f} = \frac{T}{Z},$$

$$Z = \frac{fT}{d}.$$

# RGB-D камеры



# Следующая лекция

- Вероятностные методы в робототехнике