

# Информационные технологии. Лекция 10. SLAM

Студент группы 2305 Макурин Александр

24 апреля 2023

$S = \{S_1, \dots, S_T\}$  — положение относительно того, что видит объект.

$z = \{z_1, \dots, z_T\}$  — объекты (роботы).

$M$  — общая карта.

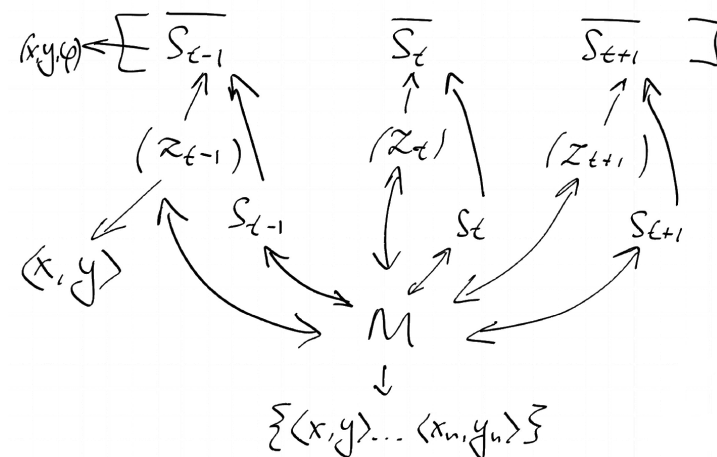
$X = \{X_1, \dots, X_T\}$  — наблюдения над посторонними объектами.

$\bar{S} = \{\bar{S}_1, \dots, \bar{S}_T\}$  — положение с учётом  $S, z, M$ .  $S_i = f(S, z, M)$ .

## 1 Полный (Full) SLAM

$[\bar{S}_{t-1}, \bar{S}_t, \bar{S}_{t+1}]$  — хотим построить.

$[z_{t-1}, z_t, z_{t+1}]$  — объекты, то, что видит объект.



$$z_j = z_j^{\text{изв.}} \cup z_j^{\text{неиз.}}$$

$$S_{t-1} \xrightarrow{U=\langle V, \phi \rangle} S_t$$

$P(\bar{S}, M | S, z)$  — вероятность нахождения в точке  $\bar{S}$ . В данном случае будет множество вероятностей для множества точек ( $|P| = |S|$ ).

$t_i$ :



$t_{i+1}$ :



## 2 Online SLAM

Определение положения в конкретный момент времени:  $P(\overline{S}_T, M|S, z) \Rightarrow \int \dots \int P(\overline{S}, M|S, z) d\overline{S}_1 \dots d\overline{S}_n$ .  
EKF — Extended Kalman Filter.

## 3 EKF-SLAM

### 3.1 Этап 1

$S_i = [x_i, y_i, \phi_i]$  — состояние системы в данный момент.

$P_S = \begin{bmatrix} \delta_{xx}^2 & \delta_{xy}^2 & \delta_{x\phi}^2 \\ \delta_{yx}^2 & \delta_{yy}^2 & \delta_{y\phi}^2 \\ \delta_{\phi x}^2 & \delta_{\phi y}^2 & \delta_{\phi\phi}^2 \end{bmatrix}$  — матрица отклонения.  $\delta_{yx}^2$  — насколько ошибается  $y$  при изменении  $x$ .

$Env = \{ \langle x_0, y_0 \rangle, \dots, \langle x_n, y_n \rangle \}$

$P_{Env} = \begin{bmatrix} \delta_{x_0x_1}^2 & \delta_{x_0y_0}^2 & & \\ & \delta_{y_0y_0}^2 & & \\ & & \delta_{x_1x_0}^2 & \\ & & & \ddots \end{bmatrix}$

$X = [S, Env]$  — где находимся относительно других объектов.

$P = \begin{bmatrix} P_S & P_{SEnv} \\ P_{SEnv}^T & P_{Env} \end{bmatrix}$

$P_{SEnv}$  —  $P_{Env}$  дополненная нашим объектом (его отклонение относительно других).

$P_{SEnv} = 2 \begin{bmatrix} \delta_{xx_0}^2 & \delta_{xy_0}^2 & \delta_{xx_1}^2 & \dots \\ \delta_{yx_0}^2 & \delta_{yy_0}^2 & \delta_{yx_1}^2 & \dots \end{bmatrix}$

$P_S \neq 0, P_{Env} \neq 0$

$U$  — управляющее воздействие. Задача — понять местоположение на основании одометрии и  $U$ .

$\overline{S}_i = \begin{bmatrix} f(\overline{S}_{i-1}, U) \\ S_i \end{bmatrix}$ , где  $S_i$  — собственный анализ происходящего.

$P_i = \begin{bmatrix} \nabla g P_{i-1} \nabla g^T + Q & \nabla g P_{i-1}^0 \\ (\nabla g \cdot P_{i-1}^0)^T & P_{i-1}^0 \end{bmatrix}$  — ошибка измерений относительно объекта

$\nabla g = \frac{\delta f}{\delta x}$  — динамики относительно координат

$Q = \nabla g_U U \nabla g_U^T$  — шум процесса (динамика относительно управляющего воздействия)

$\nabla g_U = \frac{\delta f}{\delta V}$

$\nabla g P_{i-1} \nabla g^T$  — шум позиции

$\nabla g P_{i-1}^0$  — оценка положения ориентиров с учётом шума положения робота

$U = \begin{bmatrix} \delta_x^2 & 0 \\ 0 & \delta_U^2 \end{bmatrix}$

Новые координаты основаны на известных старых и расчёте нового шума с учётом старого.

#### 3.1.1 EKF. Общие алгоритмы

0. Инициализация

1. Оценка собственного местоположения (мп) ( $S$ )

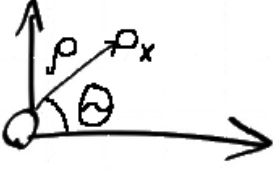
2. Оценка мп ориентиров ( $\tilde{S}$ )

3. Оценка мп новых объектов ( $\overline{S}$ )

4. Конец ( $M$ )

### 3.2 Этап 2

$$x_i = [\rho, \theta]$$



$$h_i = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_i - x^S)^2 - (y_i - y^S)^2} \\ \arctan(\frac{y_i - y}{x_i - x} - \phi^S) \end{bmatrix}$$

$$\nu_i = h_i - x_i$$

$$H = \nabla h P_i \nabla h^T + R$$

$$\nabla h = \frac{\delta h}{\delta S}$$

$$R = \begin{bmatrix} \delta_\rho^2 & 0 \\ 0 & \delta_\theta^2 \end{bmatrix} - \text{матрица ошибок относительно } \rho. \delta_\rho^2 - \text{насколько неверно оценено мп объектов}$$

$$X \xrightarrow{\text{Уточнение на основе } H} \bar{X}$$

$\omega = P \nabla h^T H^{-1} + R$  — коэффициент усиления Калмана. Показывает насколько должны учитываться отклонения.

$$\bar{S}_i = S_i + \omega_i \nu_i$$

$$\bar{P}_i = P_i - \omega_i H \omega_i^T$$

В результате имеем информацию о мп ориентиров.

### 3.3 Этап 3

$$x_i^0 = \begin{bmatrix} \bar{S}_i \\ f(S_i, z_i) \end{bmatrix}$$

$$P_i = \begin{bmatrix} P_i & P_{i0} \\ P_{i0}^T & P_i^0 \end{bmatrix} - \text{шум, } P_{i0} - \text{шум положения робота относительно объекта.}$$

$$P_i = \begin{bmatrix} P_i & P_{i0} & P_i \nabla g_x \\ P_{i0}^T & P_i^0 & P_i^0 \nabla g_x \\ \nabla g_x P_i & \nabla g_x P_i^0 & \nabla g_x P_i \nabla g_x^T + \nabla g_x^0 R \nabla g_x^T \end{bmatrix}$$

$$\nabla g_x = \frac{\delta f}{\delta x} - \text{динамика изменения состояния объекта}$$

$$\nabla g_x^0 = \frac{\delta f}{\delta x^0} \quad \nabla g_x = \frac{\delta f}{\delta x}$$

В итоге формируем новый  $\bar{z}_i$  и составляем карту  $M$ .

В Fast SLAM пропадает  $\nabla g_x^0, P_i^0 = 0. x^0 = x + \rho(z_i)$ .

Сложность растёт очень сильно при росте количества взаимозависимых в пространстве объектов.

$$P(S|U, z) = P(V|U, z) \cdot \prod P(M|U, z, V)$$

### 3.4 Требования к ориентирам:

1. Уникальность
2. Возможность получить информацию о нём из нескольких точек
3. Статичность
4. Изобильность — ориентиров должно быть достаточно