

*Двенадцатая национальная конференция по искусственному  
интеллекту с международным участием*

# АДАПТАЦИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С ЛОКАЛЬНОЙ И ГЛОБАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ НАВИГАЦИИ

***А.Н. Забегаев, В.Е. Павловский***

*Институт прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН  
2010*

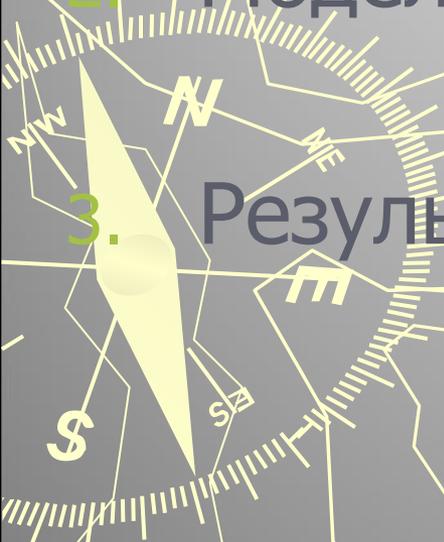


# Содержание

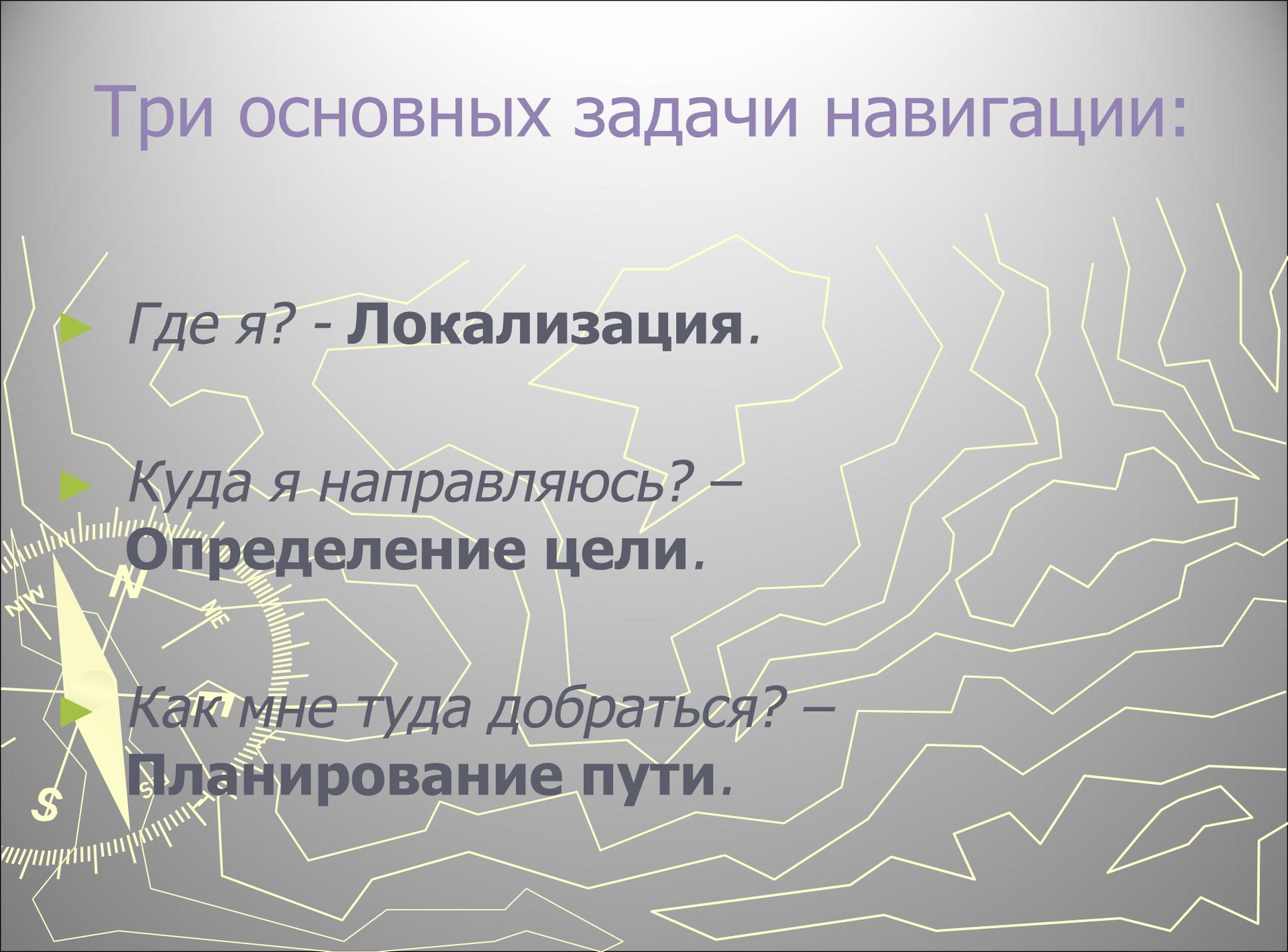
1. Идея построения фильтра

2. Моделирование работы фильтра

3. Результаты моделирования



# Три основных задачи навигации:

- 
- The background features a stylized map with yellow contour lines. A compass rose is visible on the left side, with a yellow arrow pointing towards the top-left. The compass rose includes directional labels: 'NW', 'N', and 'NE'. A yellow dollar sign (\$) is also present near the compass.
- ▶ *Где я? - Локализация.*
  - ▶ *Куда я направляюсь? –  
Определение цели.*
  - ▶ *Как мне туда добраться? –  
Планирование пути.*

# Модель

- ▶ Локальная система навигации

$$x_{k+1} = x_k + (\Delta x + \omega_k)$$

- ▶ Глобальная система навигации

$$z_k = H_k x_k + v_k$$

# Фильтр

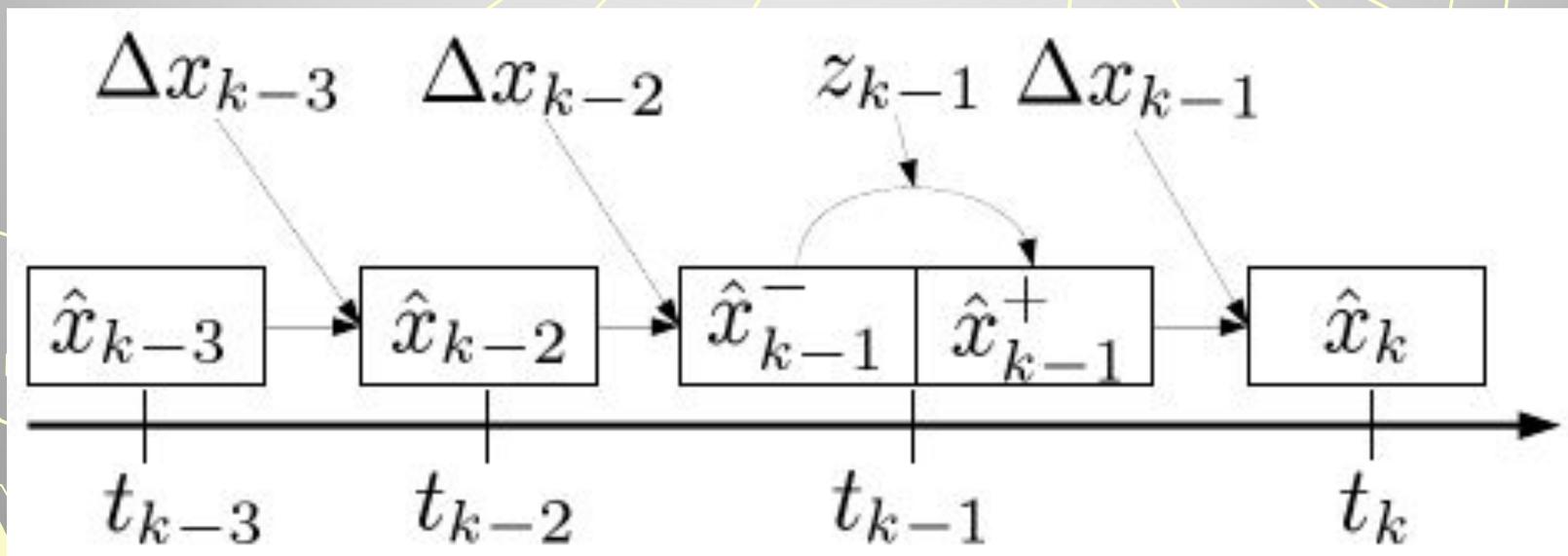
- ▶ Этап локальной коррекции

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_k + \Delta x_k + W_k$$
$$P_{k+1} = P_k + Q_k$$

- ▶ Этап глобальной коррекции

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1}$$
$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H_k \hat{x}_k^-)$$
$$P_k^+ = (I - K_k H_k) P_k^-$$

# Схема фильтра



# Адаптивность фильтра

## Характеристика

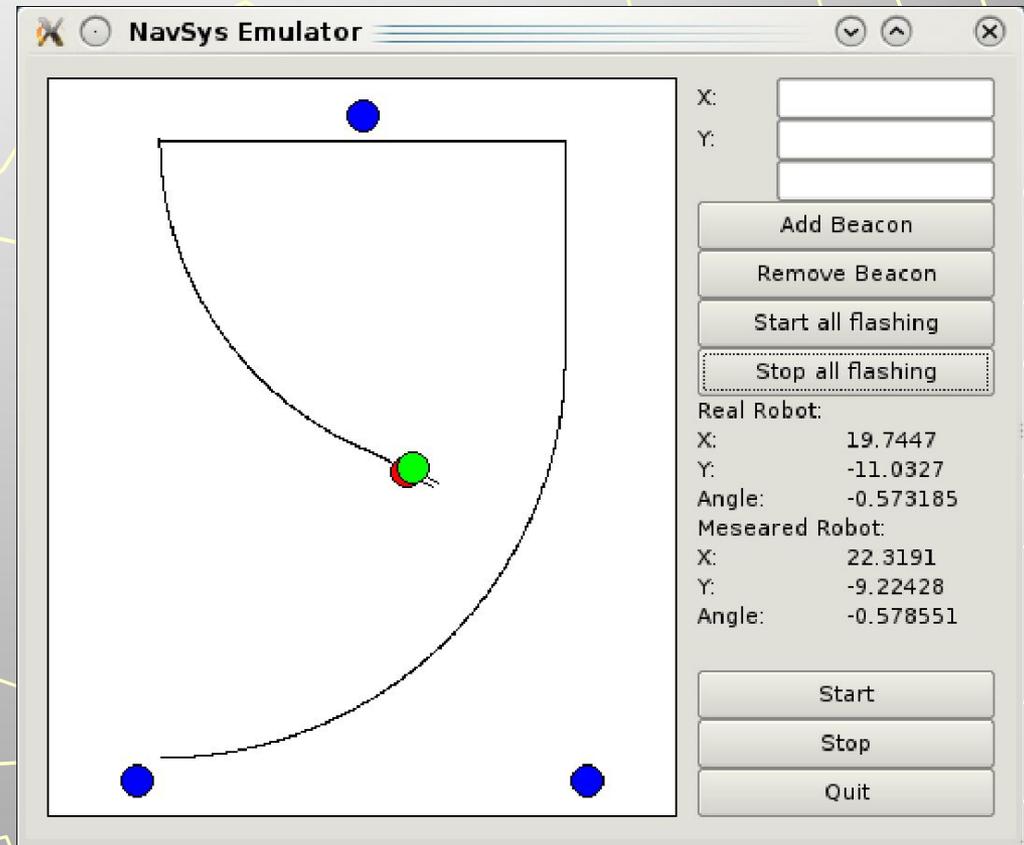
$$\Delta \hat{x}_k = \hat{x}_k^+ - \hat{x}_k^- = K_k(z_k - H_k \hat{x}_k^-)$$

## Оценка

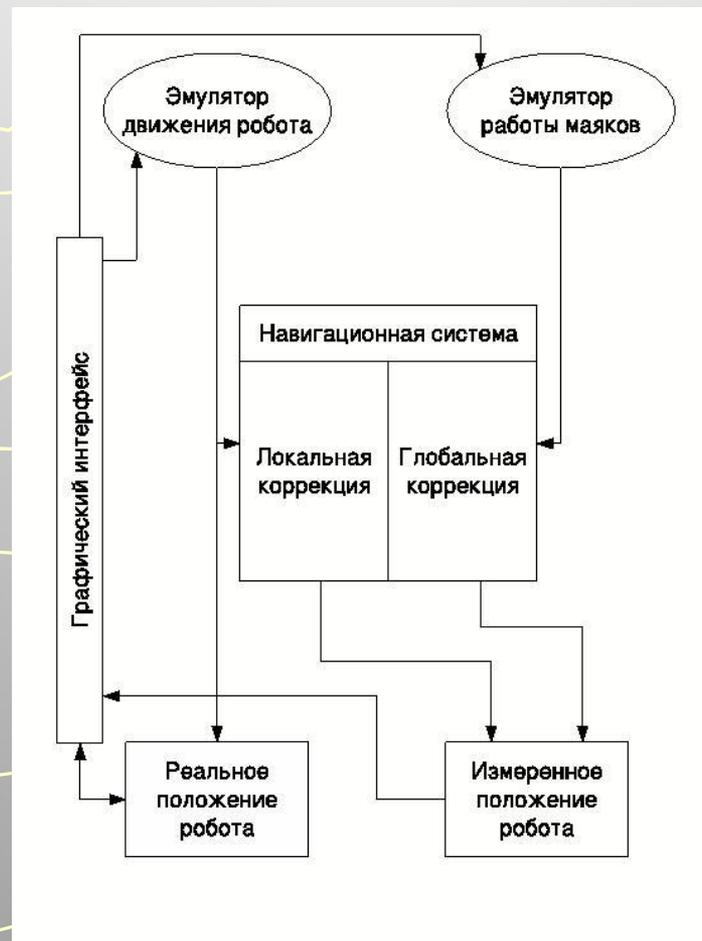
$$\hat{W}_k = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{1}{N_i} K_i (z_i - H_i \hat{x}_i^-) \right)$$

# Эмулятор

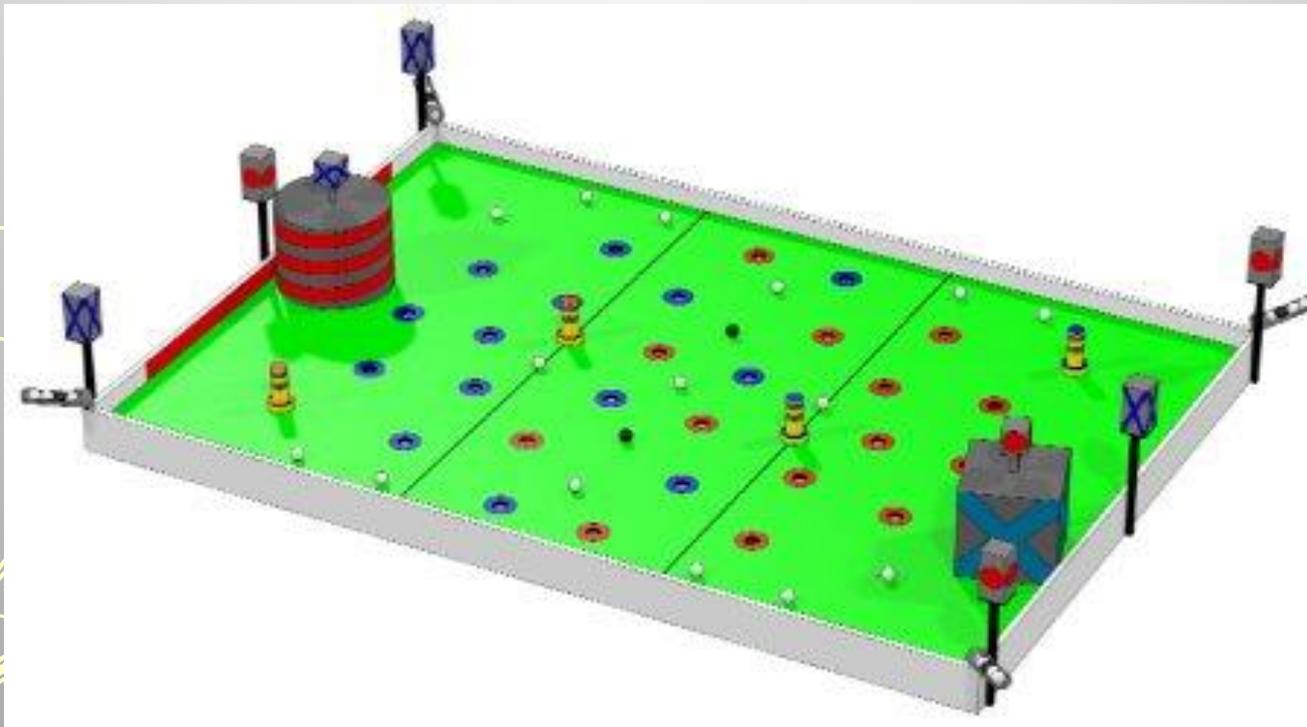
- ▶ Конфигурирование поля
- ▶ Задание движения робота
- ▶ Вывод реального и измеренного положения
- ▶ Выбор ошибки обеих навигационных систем



# Схема работы эмулятора



# Применение - Eurobot



$$z_k = \alpha_i$$

$$\alpha_i = \pi \pm \left( \pi - \arccos \frac{x_i^B - x}{\sqrt{(x_i^B - x)^2 + (y_i^B - y)^2}} \right) - \alpha + v_{i,\alpha}$$

$$H_k = \begin{pmatrix} \frac{(y_i^B - y)}{(x_i^B - x)^2 + (y_i^B - y)^2} & \frac{-(x_i^B - x)}{(x_i^B - x)^2 + (y_i^B - y)^2} & -1 \end{pmatrix}$$

# Применение – Гусеничный робот

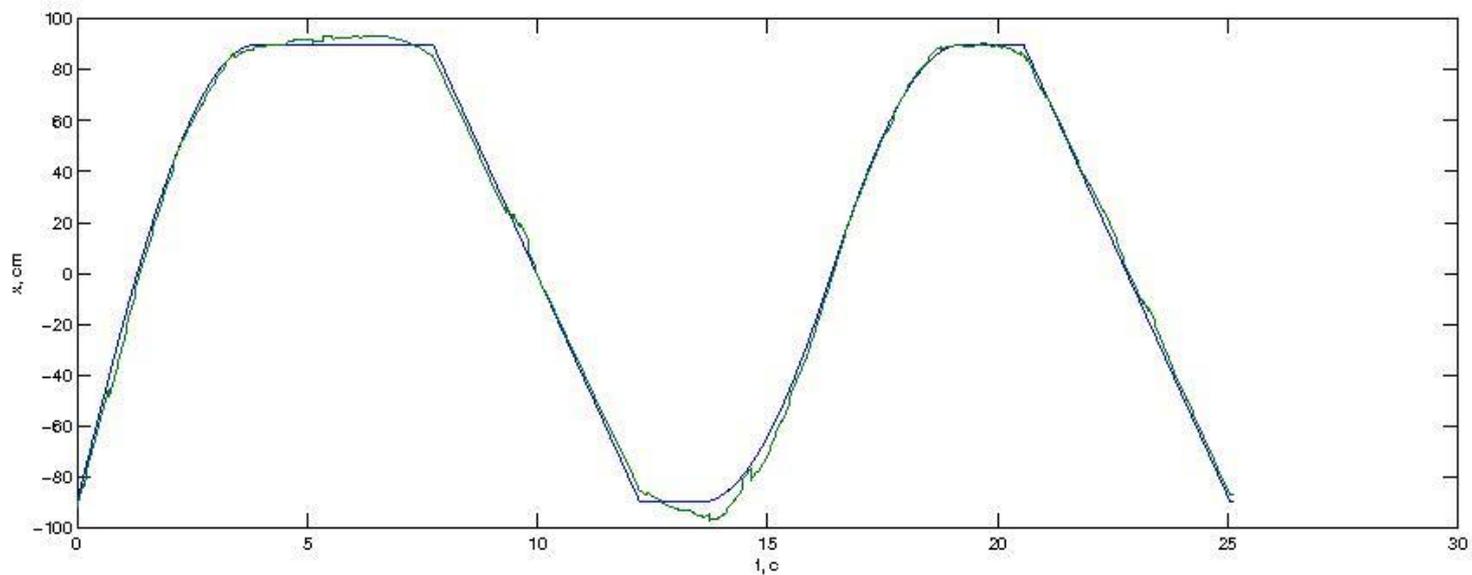


$$z_k = \begin{pmatrix} \beta_i \\ \gamma_i \\ b_i \\ c_i \end{pmatrix}$$

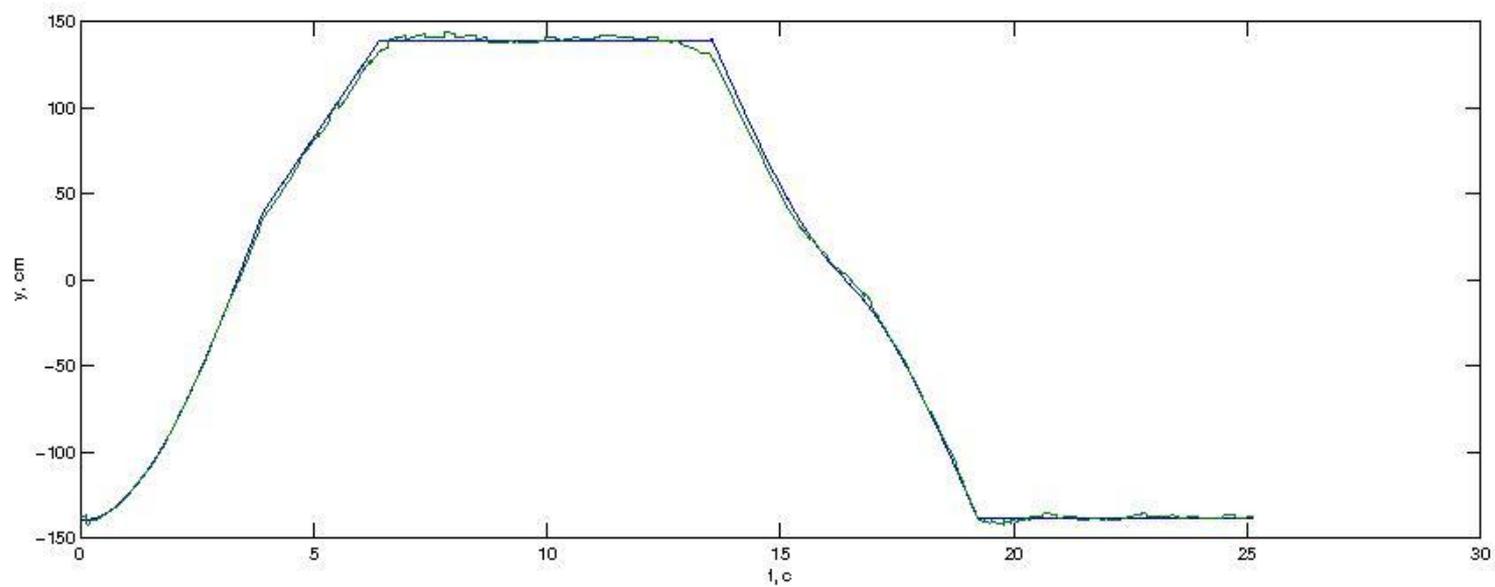
$$\begin{pmatrix} \beta_i \\ \gamma_i \\ b_i \\ c_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \pi \pm \left( \pi - \arccos \frac{x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha}{(x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} - \alpha \right) \\ \pi \pm \left( \pi - \arccos \frac{x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha}{(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} - \alpha \right) \\ \sqrt{(x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} \\ \sqrt{(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_{i,\beta} \\ v_{i,\gamma} \\ v_{i,b} \\ v_{i,c} \end{pmatrix}$$

$$H_k = \begin{pmatrix} \frac{(y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)}{(x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} & \frac{-(x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)}{(x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} & \frac{-\frac{l^2}{4} \sin \alpha \cos \alpha}{(x_1 - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} - 1 \\ \frac{(y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)}{(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} & \frac{-(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)}{(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} & \frac{-\frac{l^2}{4} \sin \alpha \cos \alpha}{(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)^2} - 1 \\ \frac{-(x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)}{\sqrt{(x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)^2}} & \frac{-(y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)}{\sqrt{(x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)^2}} & \frac{\frac{l}{2} ((x_i^B - x) \cos \alpha + (y_i^B - y) \sin \alpha)}{\sqrt{(x_i^B - x + \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y - \frac{l}{2} \cos \alpha)^2}} \\ \frac{-(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)}{\sqrt{(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)^2}} & \frac{-(y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)}{\sqrt{(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)^2}} & \frac{-\frac{l}{2} ((x_i^B - x) \cos \alpha + (y_i^B - y) \sin \alpha)}{\sqrt{(x_i^B - x - \frac{l}{2} \sin \alpha)^2 + (y_i^B - y + \frac{l}{2} \cos \alpha)^2}} \end{pmatrix}$$

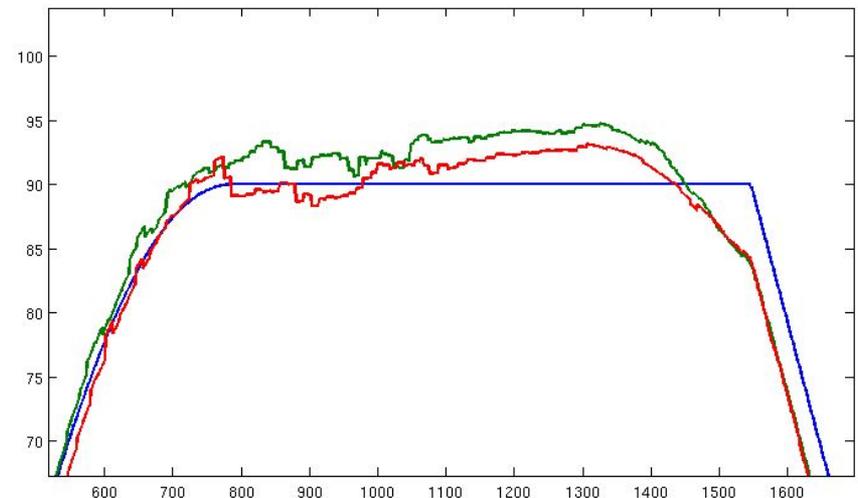
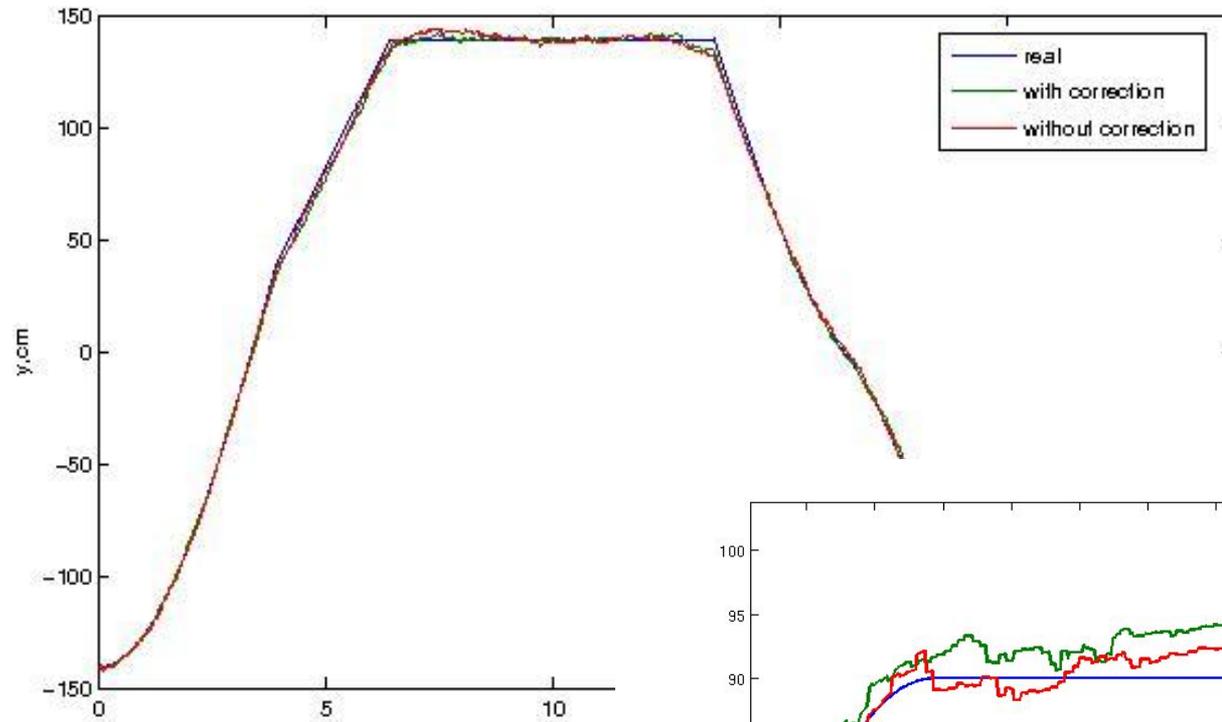
# Результаты



# Результаты



# Моделирование Адаптивности



Среднеквадратичная ошибка:

- С коррекцией – 2.1
- Без коррекции – 2.3 см

# Заключение

1. Описанный в работе подход позволяет совместить наблюдаемые данные локальной и глобальной системы навигации для более точной оценки состояния динамической системы.
2. Допускается, что ошибка локальной навигации имеет ненулевое смещение, что может являться характерной чертой одометрической или акселерометрической системы локальной навигации.
3. На основе проведенного моделирования можно утверждать, что построенный фильтр достаточно эффективен и может быть использован при локализации реальных робототехнических систем.