Методы 3D реконструкции

Александр Шишков

Itseez, 2015

Одометрия

- **Одо́метр** (греч. ὁδός — дорога + μέτρον — мера), в просторечии счётчик — прибор для измерения количества оборотов колеса. При помощи него может быть измерен пройденный транспортным средством путь.

https://ru.wikipedia.org/wiki/Одометр

Какие устройства мы можем использовать?

GPS/Глонасс

- Не работает в помещении
- Большая погрешность

Одометр

- Скольжение
- Большая погрешность

Какие устройства мы можем использовать?

IMU (Акселерометер+Гироскоп +Магнетометер)

- большая погрешность
- неустойчив к помехам

Какие устройства мы можем использовать?

Что же остается?

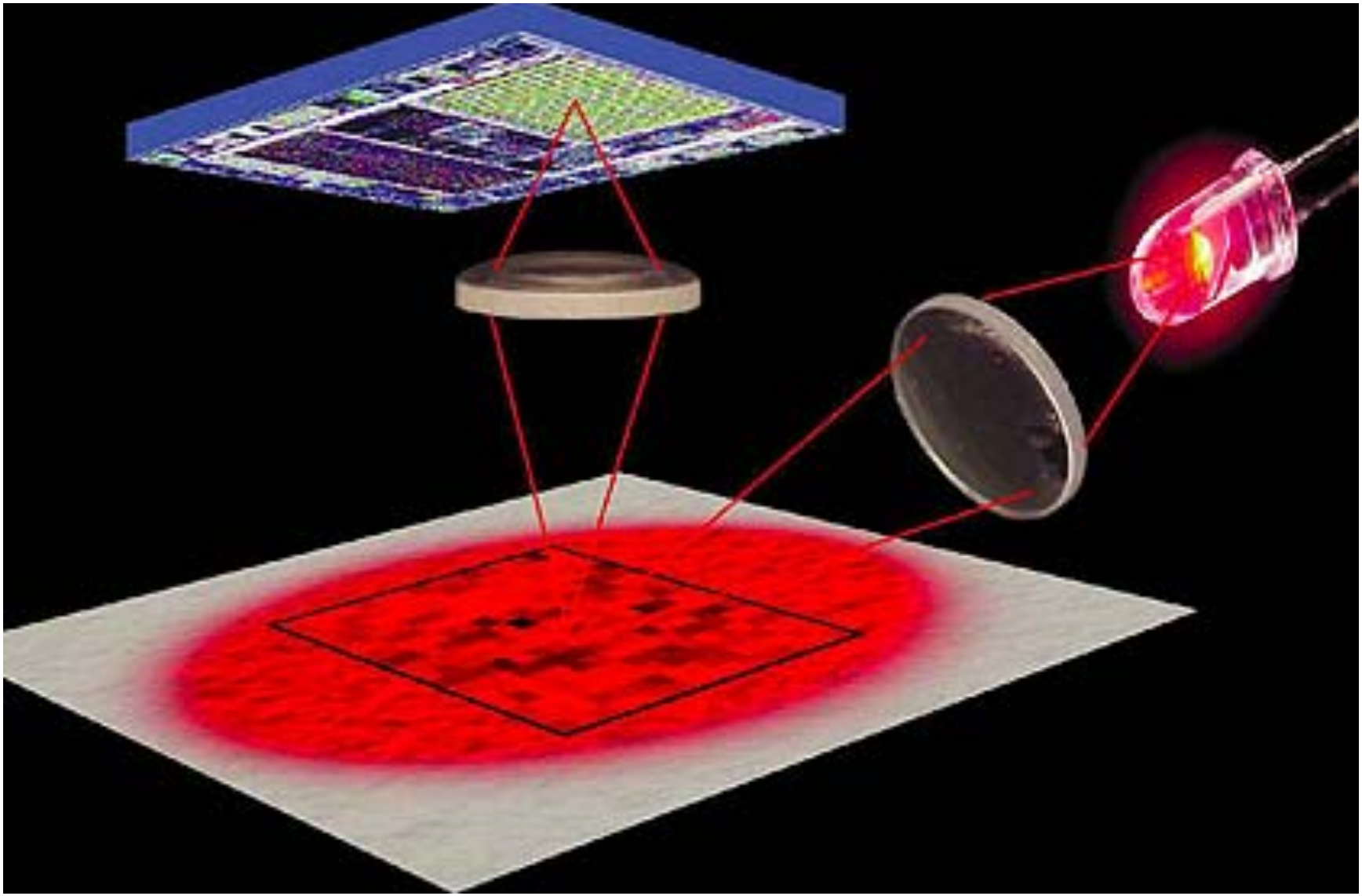
Камера

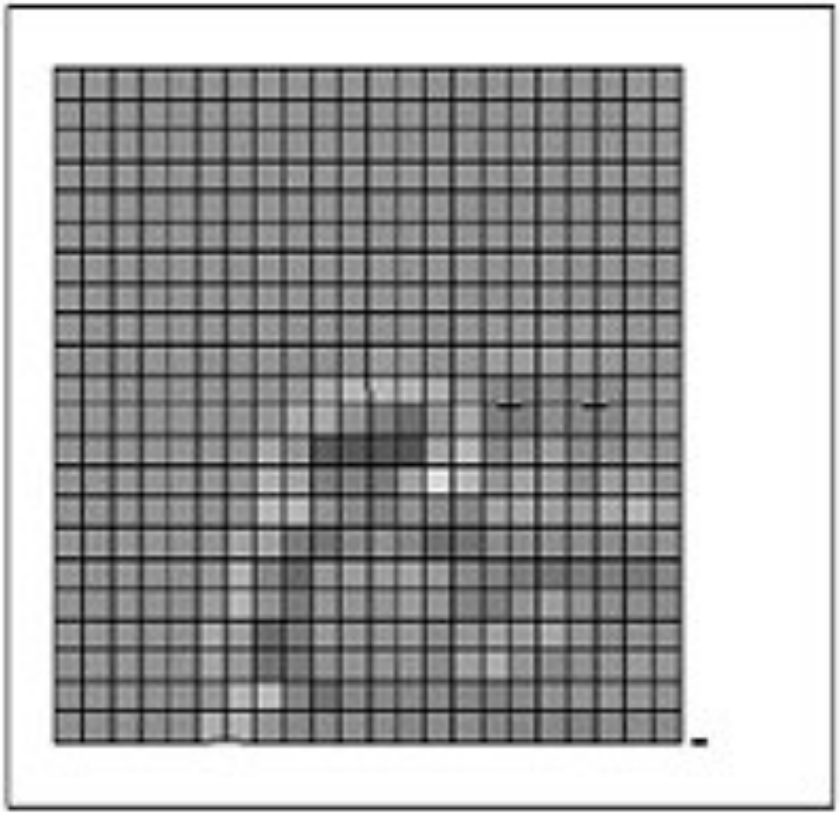
Depth-сенсор

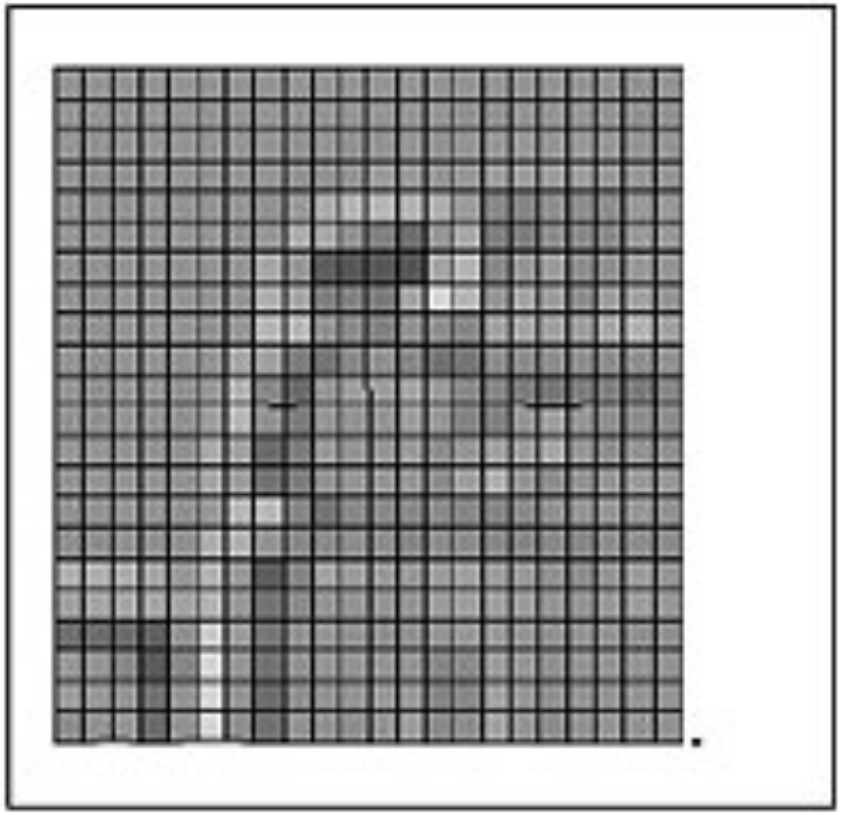
Лидар

- **Визуальная одометрия** — метод оценки положения и ориентации объекта на основе анализа последовательности изображений, снятых установленной на нем камерой

Какие примеры вы встречаете каждый день?



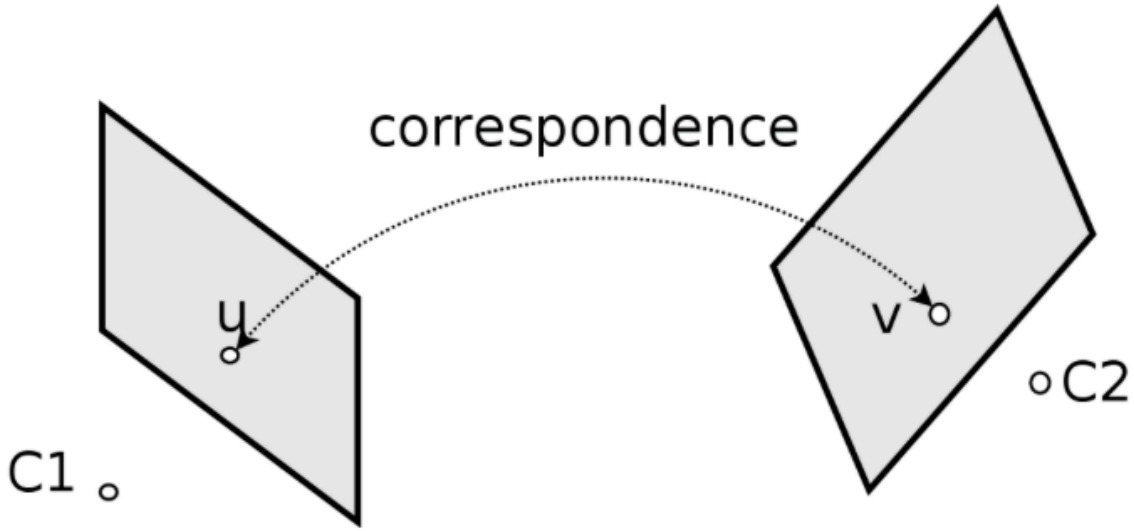




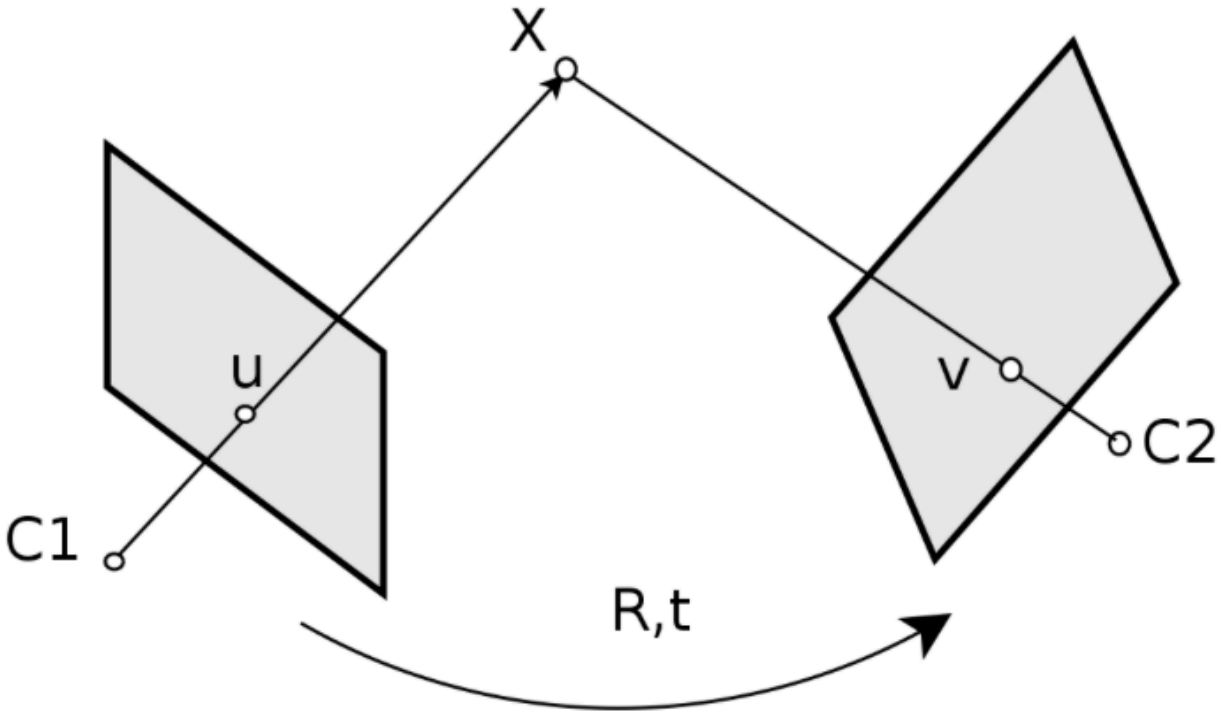
Постановка задачи

По заданной последовательности кадров определить положение камеры в некоторой системе координат. Обычно предполагается работа в реальном времени.

Рассмотрим два последовательных изображения и найдем соответствия между изображениями



Оценим поворот и сдвиг камеры между кадрами, минимизирующие ошибку репроекции



Пример алгоритма:

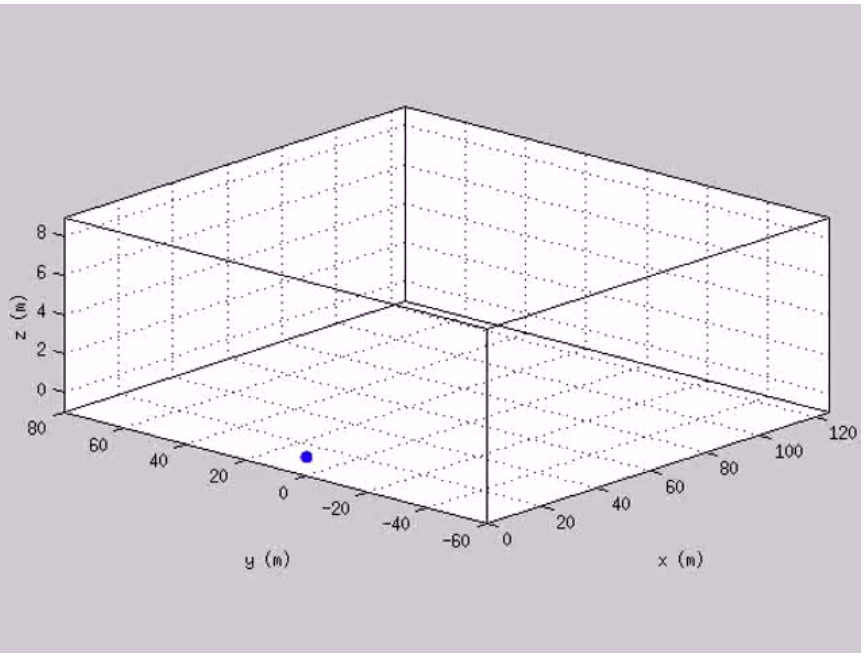
- Рассмотрим к-е изображение
- Найдем соответствия между к и к-1 изображениями (matching/tracking)
- Отфильтруем соответствия и найдем essential матрицу
- На основе найденной матрицы вычислим поворот и сдвиг
- Вычислим трехмерную модель особых точек
- Отнормируем масштаб точек
- …

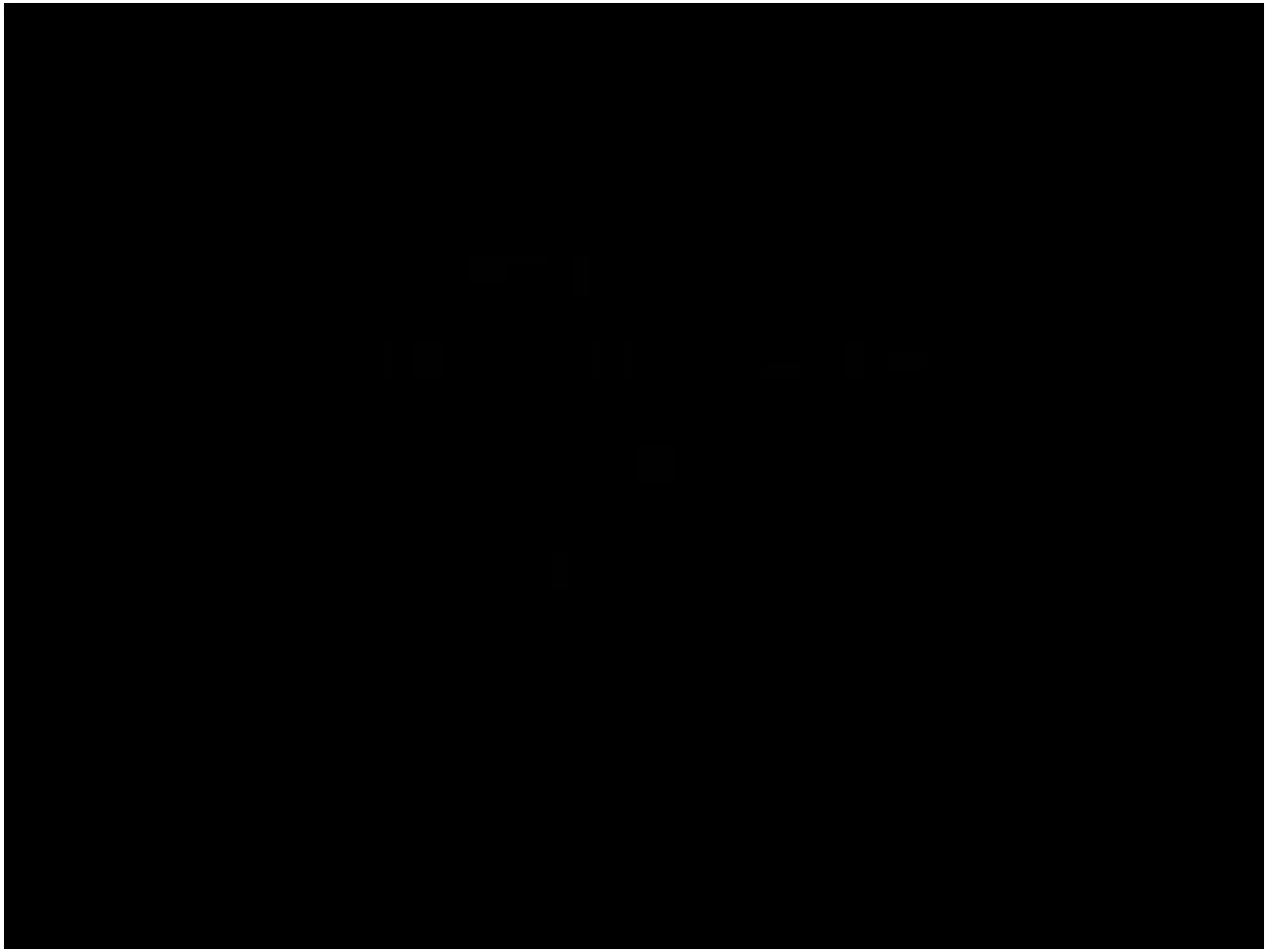
Возможно комбинировать устройства

RGB-D

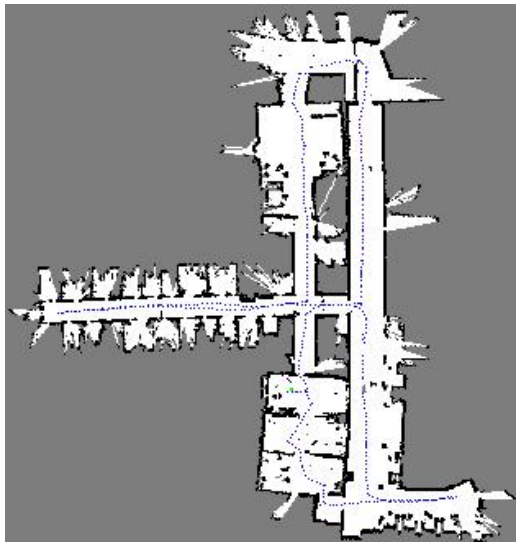
RGB-IMU

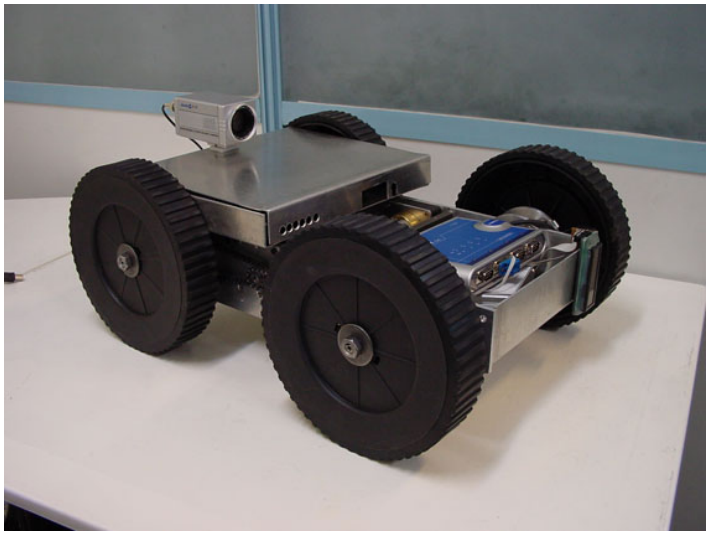

ICRA 2013


z (m)
8
6
4
2
0
80
60
40
20
0
-20
-40
-60
y (m)
0
20
40
60
80
100
120
x (m)



SLAM



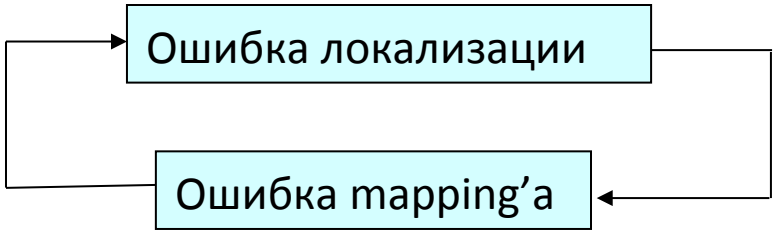


SLAM: Simultaneous Localization and Mapping

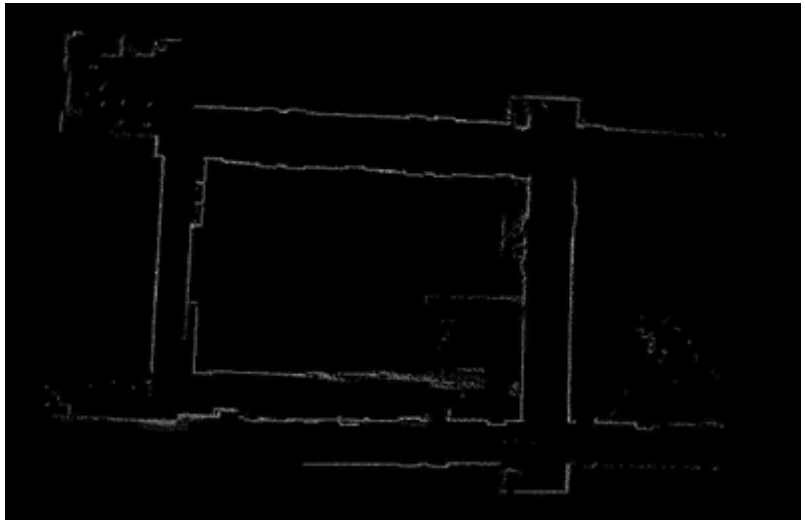
Autonomous Micro Air Vehicle Flight Indoors

Robust Robotics Group
CSAIL, MIT

Почему SLAM трудная задача?



- Ошибка быстро нарастает
- Ошибки возникают из-за неточных измерений фактического движения робота (шум в одометрии) и расстояний до препятствий (landmark) (шум в наблюдении)
- Loop-close problem



Введение: SLAM

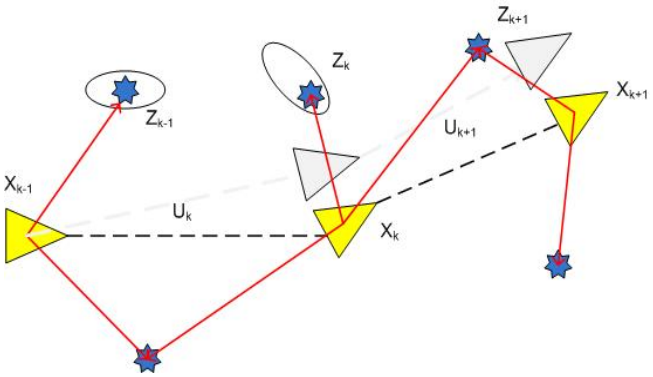
SLAM: Simultaneous Localization and Mapping

Робот изучает незнакомое, статическое окружение.

Дано:

- Система одометрии
- Лазерный сонар

Оба источника данных зашумлены.



Оценка:

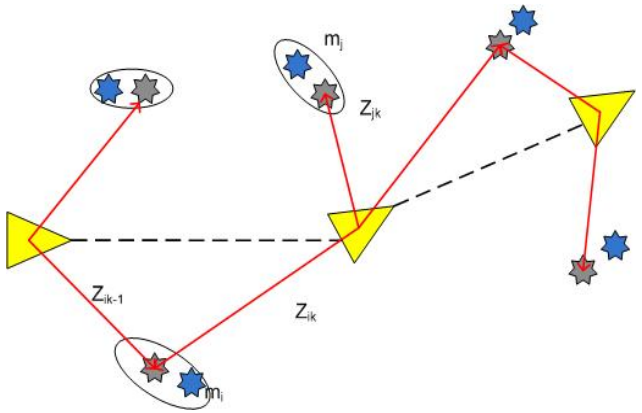
- Положения робота -- localization

  где Я ?

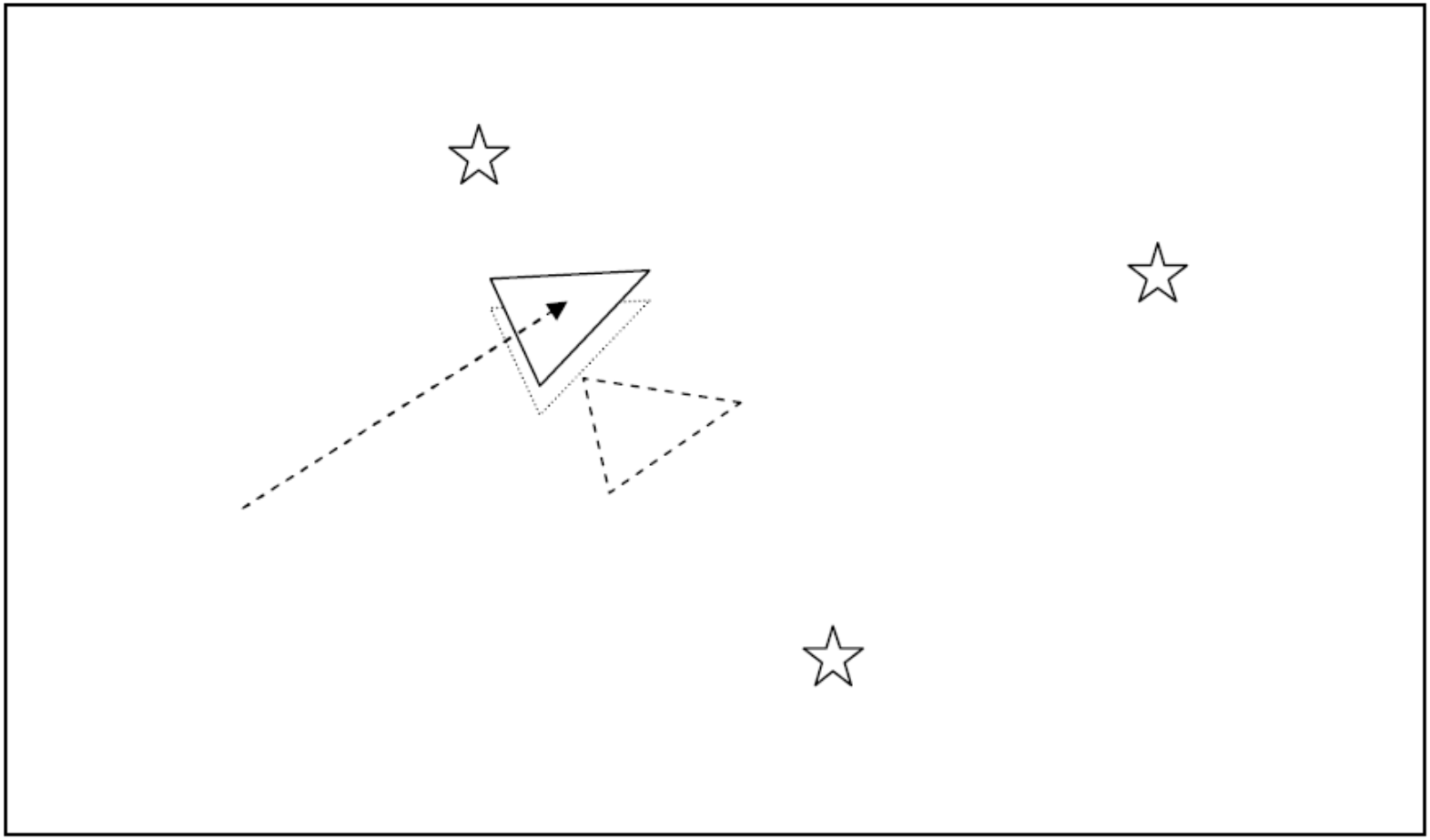
- Детализация окружающего пространства

-- mapping

На что похоже то, что вокруг меня?



SLAM EKF



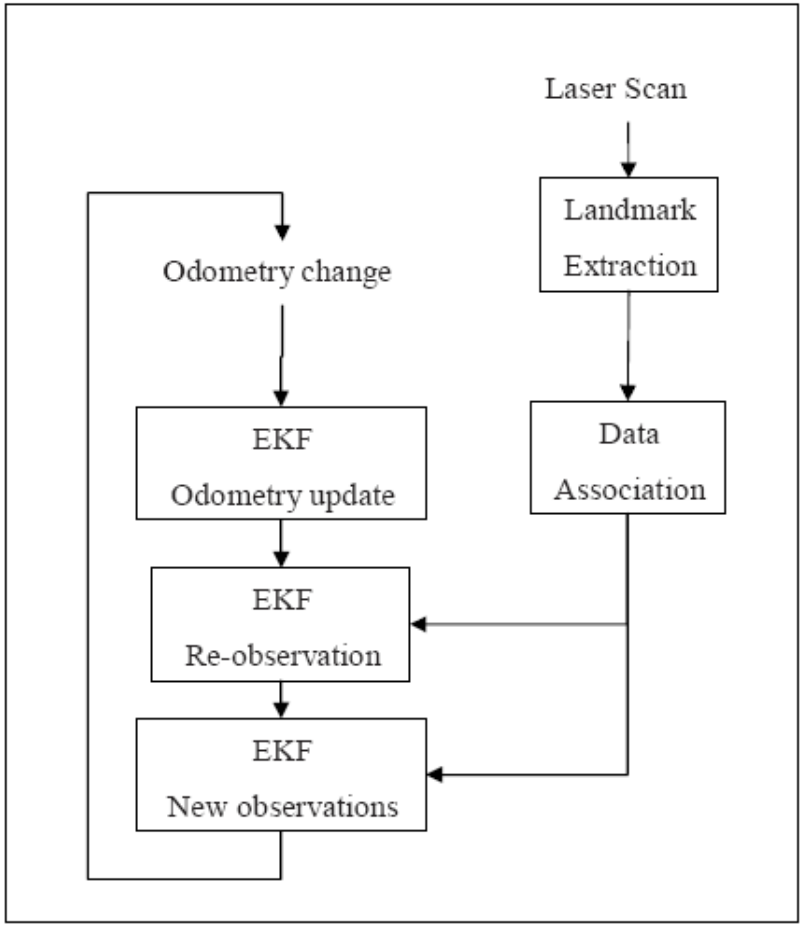
SLAM EKF

Постановка задачи

- $X_{0:k} = \{x_0, x_1, \dots, x_k\} = \{X_{0:k-1}, x_k\}$ – история положений робота
- $Z_{0:k} = \{z_1, z_2, \dots, z_k\} = \{Z_{0:k-1}, z_k\}$ - положения наблюдаемых особенностей
- $U_{0:k} = \{u_1, u_2, \dots, u_k\} = \{U_{0:k-1}, u_k\}$ – история управлений
- $m = \{m_1, m_2, \dots, m_n\}$ – множество особенностей

Задача - в каждый момент времени уметь вычислять $P(x_k, m | Z_{0:k}, U_{0:k}, x0)$. Часто для решения задачи используют рекуррентные соотношения, в связи с чем вводят модель движения: $P(x_k | x_{k-1}, u_k)$ и модель наблюдения $P(z_k | x_k, m)$.

SLAM EKF


Laser Scan
Landmark Extraction
Odometry change
EKF Odometry update
Data Association
EKF Re-observation
EKF New observations

SLAM EKF

- Алгоритм состоит из трех частей:
  - Обновление текущего состояния системы на основе одометрии
  - Обновление полученного состояния на основе видимых особенностей
  - Добавление новых особенностей к текущему состоянию системы

SLAM EKF

- $P(x_k | x_{k-1}, u_k) <==> x_k = f(x_{k-1}, u_k) + w_k$, где f – кинематическая модель движения, а w_k – гауссов шум с заданной ковариационной матрицей Q_k.
- $P(z_k | x_k, m) <==> z_k = h(x_k, m) + v_k$, где h – геометрическая модель наблюдения, а v_k гауссов шум с ковариационной матрицей R_k.

SLAM EKF

Состояние модели:

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_{k|k} \\ \hat{\mathbf{m}}_k \end{bmatrix} = \mathrm{E}\begin{bmatrix} \mathbf{x}_k \\ \mathbf{m} \end{bmatrix} | \mathbf{Z}_{0:k}$$

с матрицей ковариации

$$\mathbf{P}_{k|k} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_{xx} & \mathbf{P}_{xm} \\ \mathbf{P}_{xm}^T & \mathbf{P}_{mm} \end{bmatrix}_{k|k}$$

$$= \mathrm{E}\left[\begin{pmatrix} \mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k \\ \mathbf{m} - \hat{\mathbf{m}}_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k \\ \mathbf{m} - \hat{\mathbf{m}}_k \end{pmatrix}^T | \mathbf{Z}_{0:k} \right]$$

SLAM EKF

Обновление текущего состояния системы на основе одометрии:

$$\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} = \mathrm{f}(\hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1}, \mathbf{u}_k)$$

$$\mathbf{P}_{xx,k|k-1} = \nabla \mathrm{f}\, \mathbf{P}_{xx,k-1|k-1} \nabla \mathrm{f}^{\mathrm{T}} + \mathbf{Q}_k,$$

где f – якобиан функции f в точке x_{k-1}.

SLAM EKF

Обновление полученного состояния на основе видимых особенностей и добавление новых особенностей к текущему состоянию системы

$$\begin{bmatrix} \hat{\mathbf{x}}_{k|k} \\ \hat{\mathbf{m}}_k \end{bmatrix} = [\,\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} \hat{\mathbf{m}}_{k-1}\,] + \mathbf{W}_k[\mathbf{z}_k - \mathbf{h}(\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}, \hat{\mathbf{m}}_{k-1})]$$

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

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

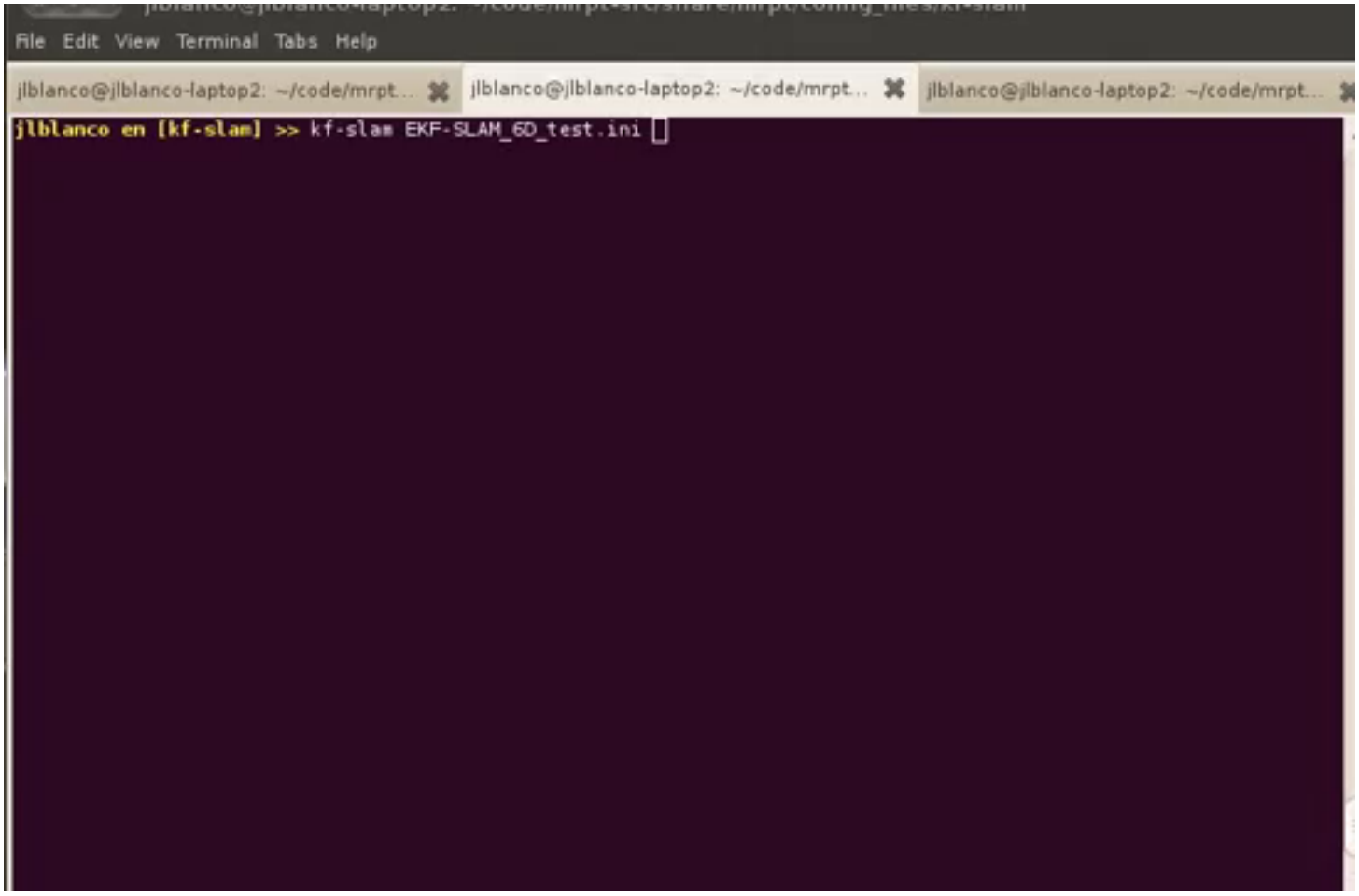
$$\mathbf{W}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \nabla \mathbf{h}^T \mathbf{S}_k^{-1}$$

где ∇h якобиан функции h в точке x_{k-1}.

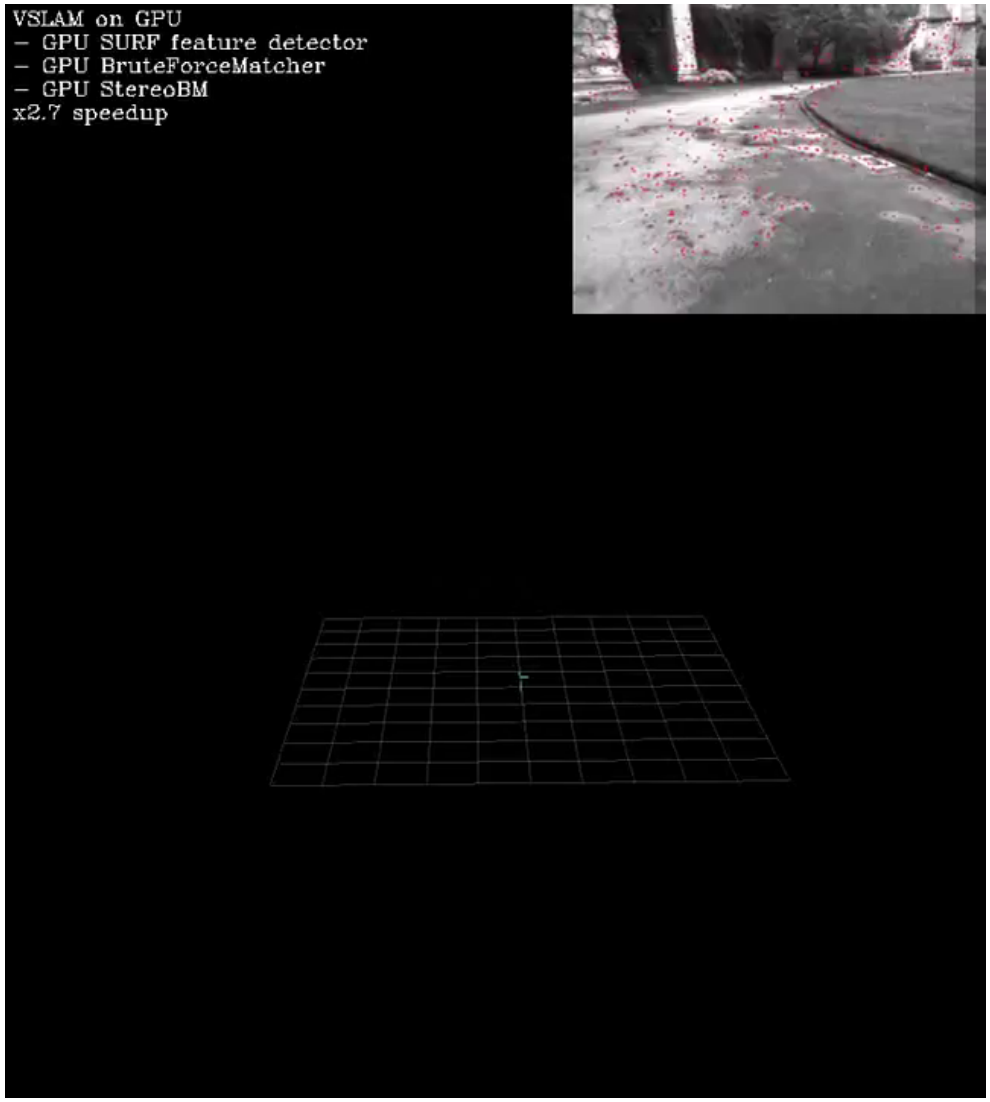
SLAM EKF

Недостатки алгоритма:

- Некорректное ассоциирование меток
- Нелинейность
- Вычислительная сложность
  - Сложность EKF SLAM O(N^2**)**


File Edit View Terminal Tabs Help
jlblanco@jlblanco-laptop2: ~/code/mrpt...
jlblanco@jlblanco-laptop2: ~/code/mrpt...
jlblanco@jlblanco-laptop2: ~/code/mrpt...
jlblanco en [kf-slam] >> kf-slam EKF-SLAM_6D_test.ini

Loop closure

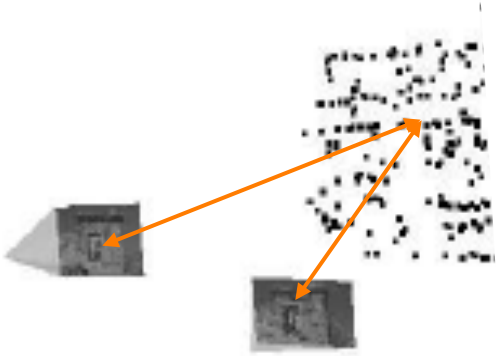


SFM

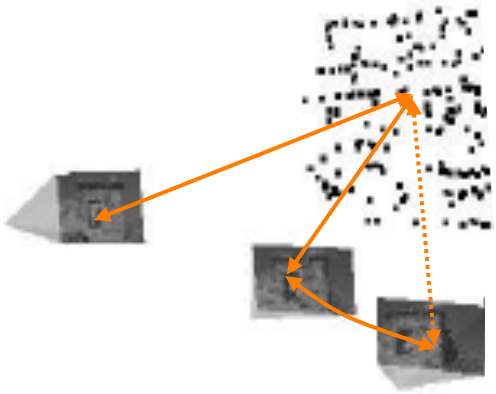
Восстановить трехмерную модель одновременно с положениями и параметрами камер на основе неупорядоченного набора изображений.

SFM

Инициализация структуры



Минимизация ошибки репроекции



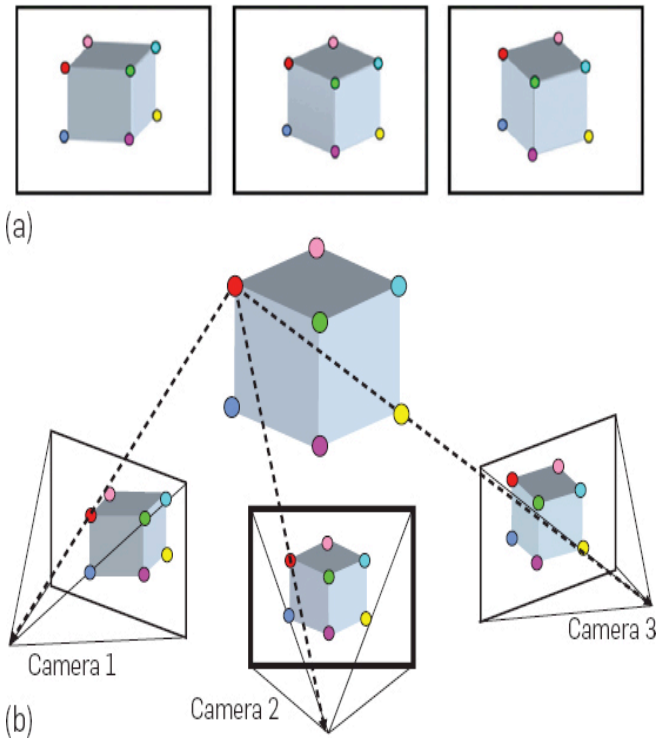
Расширение модели

Алгоритм

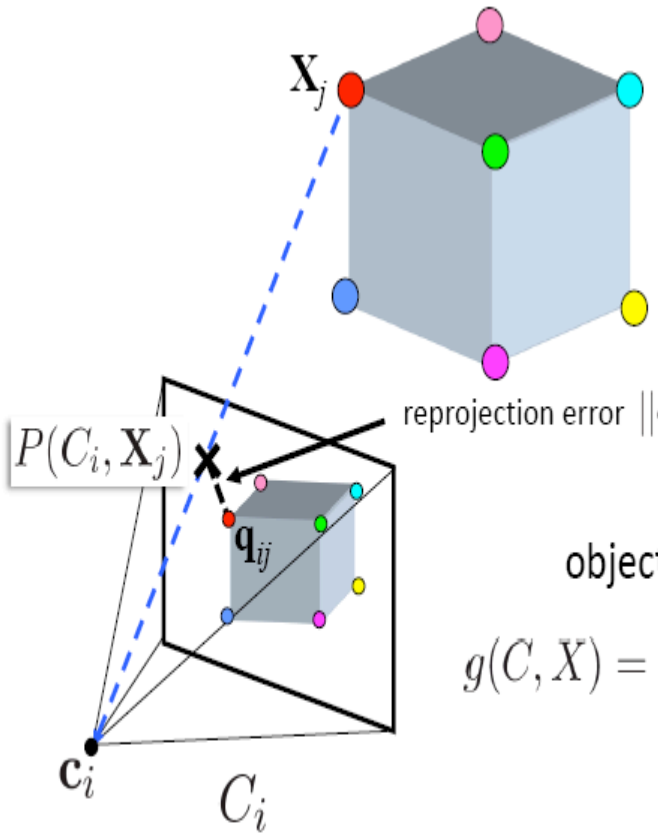
- Получить надежные соответствия (matching/tracking) на 2/3-изображениях
- Вычислить начальное приближение структуры
- Улучшить структуру и позы за счет новых изображений

Bundle adjustment problem

- ‘bundle’ – пучок лучей света исходящий из 3D точки и проходящий через центры камер

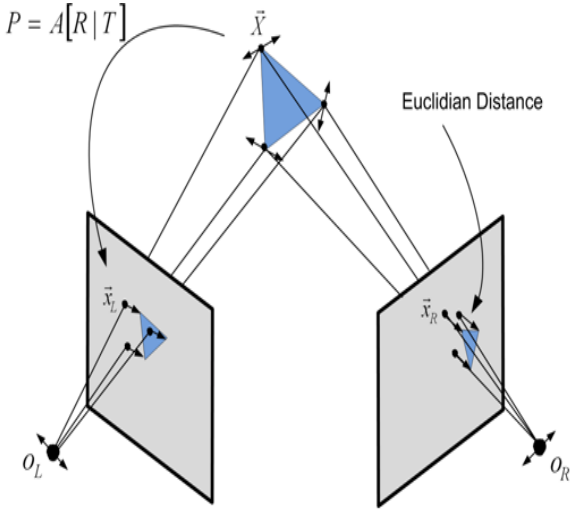


Bundle adjustment problem



reprojection error $||\mathbf{q}_{ij} - P(C_i, \mathbf{X}_j)||$

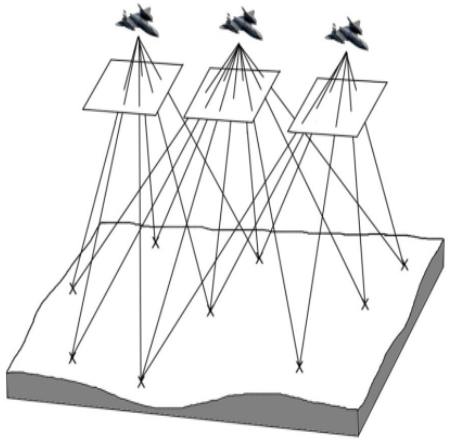
Интринсики (K, D)
Экстринсики(R|t)



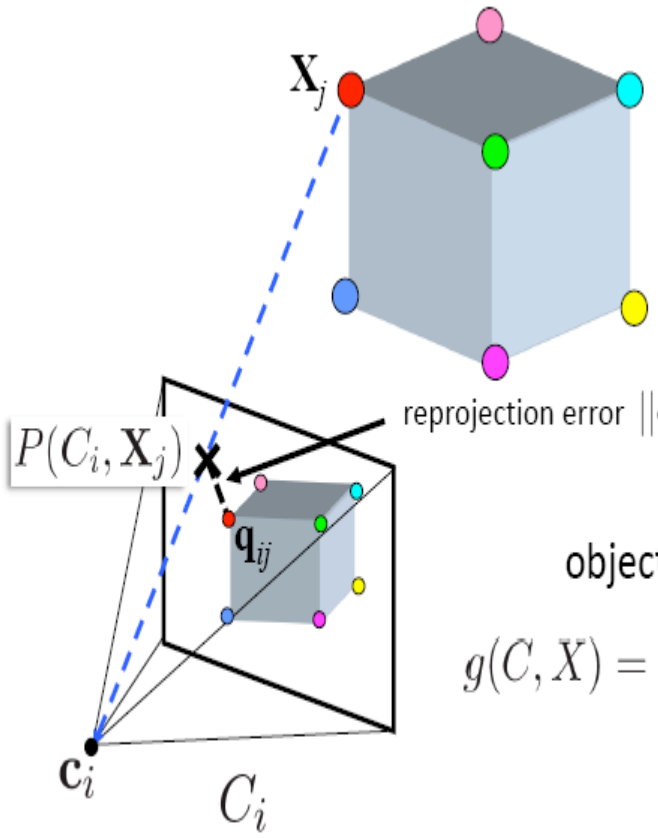
objective function:

$$g(C, X) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} w_{ij} ||\mathbf{q}_{ij} - P(C_i, \mathbf{X}_j)||^2$$

indicator variable:
1 if point *j* is visible in camera *i*
0 otherwise



Bundle adjustment problem



P(R, t, fx, fy, cx, cy, k1..k6) - проекция

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + t$$

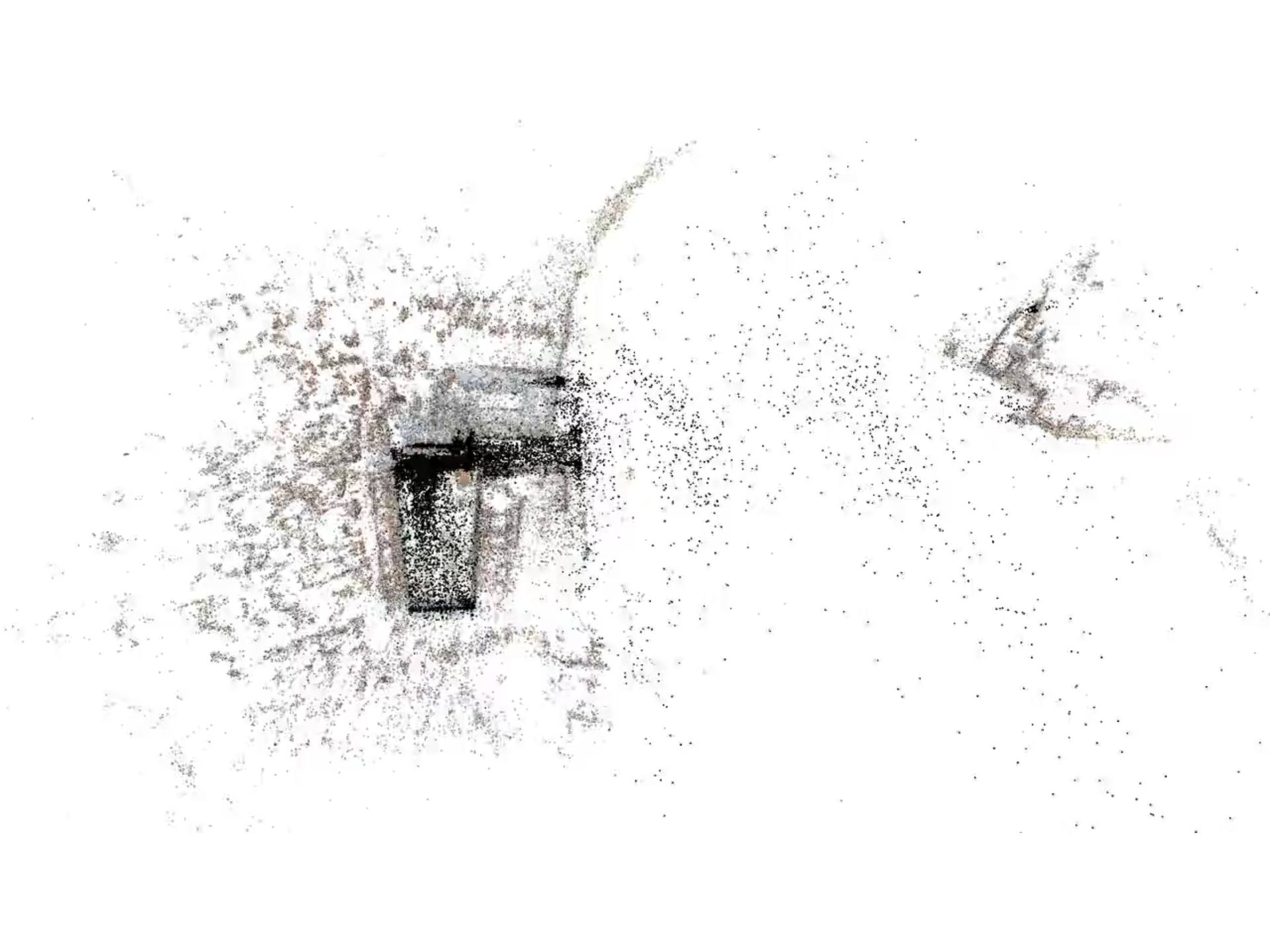
$$x' = x/z$$
$$y' = y/z$$
$$x'' = x' \frac{1+k_1 r^2+k_2 r^4+k_3 r^6}{1+k_4 r^2+k_5 r^4+k_6 r^6} + 2p_1 x' y' + p_2(r^2 + 2x'^2)$$
$$y'' = y' \frac{1+k_1 r^2+k_2 r^4+k_3 r^6}{1+k_4 r^2+k_5 r^4+k_6 r^6} + p_1(r^2 + 2y'^2) + 2p_2 x' y'$$
where $r^2 = x'^2 + y'^2$
$$u = f_x * x'' + c_x$$
$$v = f_y * y'' + c_y$$

objective function:

$$g(C, X) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} w_{ij} ||\mathbf{q}_{ij} - P(C_i, \mathbf{X}_j)||^2$$

indicator variable:
1 if point *j* is visible in camera *i*
0 otherwise

Нелинейная!



Вопросы???