

# Визуальная одометрия

Рабочий Алексей Александрович  
Научный руководитель: доцент Пименов Александр

СПБГУ, 2016

# Обзор

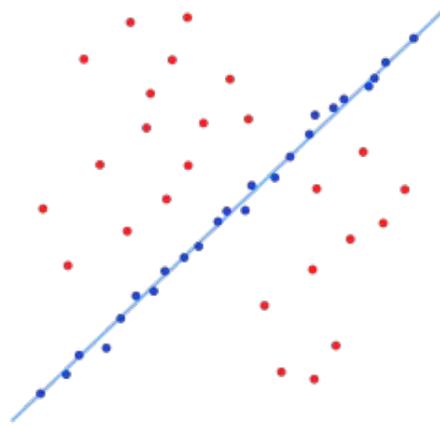
**Визуальная одометрия** – метод оценки положения и ориентации объекта с помощью анализа последовательности изображений, снятых установленной на нем камерой (камерами).

# Обзор

**Оптический поток** - изображение видимого движения, представляющее собой сдвиг каждой точки между двумя изображениями. Суть ОП в том, что для каждой точки изображения  $I(x, y)$  находится такой сдвиг  $(dx, dy)$ , чтобы исходной точке соответствовала точка на втором изображении  $U(x+dx, y+dy)$ .

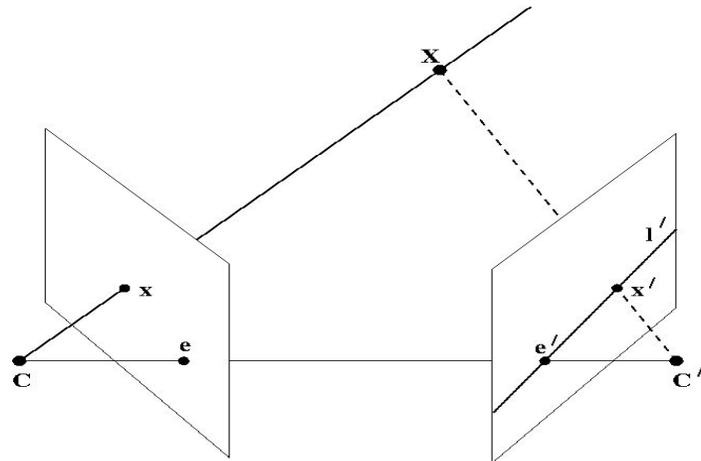
# Обзор

**RANSAC** – стабильный метод для оценки параметров модели на основе случайных выборок. Схема RANSAC устойчива к зашумленности данных. Если рассматривать не особые точки изображений, а просто точки на плоскости, RANSAC позволяет вписать прямую в заданное множество точек так, чтобы расстояние до как можно большего количества точек было наименьшим.



# Обзор

**Фундаментальная матрица** – матрица такая, что пара точек  $x, x'$  является стереопарой тогда и только тогда, когда  $x'^T F x = 0$ .



**Существенная матрица** - аналог фундаментальной матрицы для откалиброванных изображений. Вычисляется по формуле:  $E = K'^T F K$ , где  $K$  – матрица камеры.

# Обзор

**Связанная система координат** (Aircraft principal axes) — это система координат, используемая для анализа движения воздушных судов в механике полета. Она состоит из продольной, поперечной и вертикальной осей, которые проходят через центр масс объекта

# Обзор

## Продольная ось

При вращении вокруг неё самолёт опускает одну и поднимает другую консоль крыла. Такое движение называется «крен» (англ. *roll*).

## Вертикальная ось

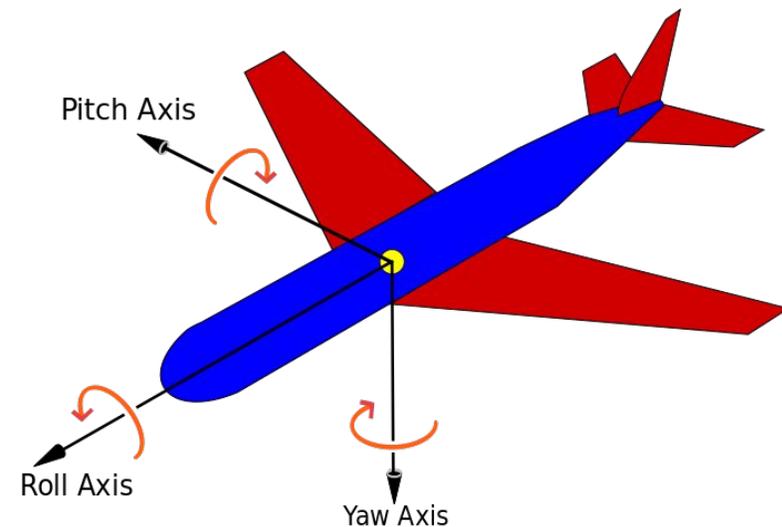
Вращение вокруг неё называется «рыскание» (англ. *yaw*).

Самолёт при этом поворачивает нос влево или вправо

## Поперечная ось

При вращении вокруг этой оси самолёт опускает и поднимает нос.

Это движение (и образуемый с горизонтальной плоскостью угол) называется «тангаж» (англ. *pitch*).



# Постановка задачи

Целью данной курсовой работы является реализация алгоритма визуальной одометрии в библиотеке `corecv` на языке C++. Для реализации поставленной задачи необходимо решить следующие задачи:

- Вычислить оптический поток
- Посчитать существенную матрицу
- Применить RANSAC
- Вычислить углы Эйлера в связанной системе координат

# Реализация

## Вычисление оптического потока

Для вычисления оптического потока мы используем алгоритм Лукаса-Канаде. В основе этого алгоритма лежит предположение, что значения пикселей переходят из одного кадра в следующий без изменений. Рассматриваем математическую модель оптического потока, считая, что у точки в результате смещения не изменилась интенсивность.

# Реализация

## Алгоритм Лукаса-Канаде

$I(1) = I(x, y, t)$  - интенсивность точки  $(x, y)$  в момент времени  $t$ . Точка сдвигается на  $(dx, dy)$  при этом прошло время  $dt$ . Тогда получаем:

$I_2 = I(x+dx, y+dy, t_1+dt) \approx I_1 + I_x dx + I_y dy + I_t dt$  – разложение по Тейлору функции интенсивности до первого члена,  $I_t, I_y, I_x$  – частные производные по координатам и времени, то есть по сути  $I_t dt$  – изменение яркости в точке  $(x, y)$  между двумя кадрами. Интенсивность сохранилась, значит

$I_1 = I_2 \Rightarrow I_x dx + I_y dy + I_t dt = 0$ . Получаем уравнение с двумя неизвестными –  $dx$  и  $dy$ .

# Реализация

## Алгоритм Лукаса-Канаде

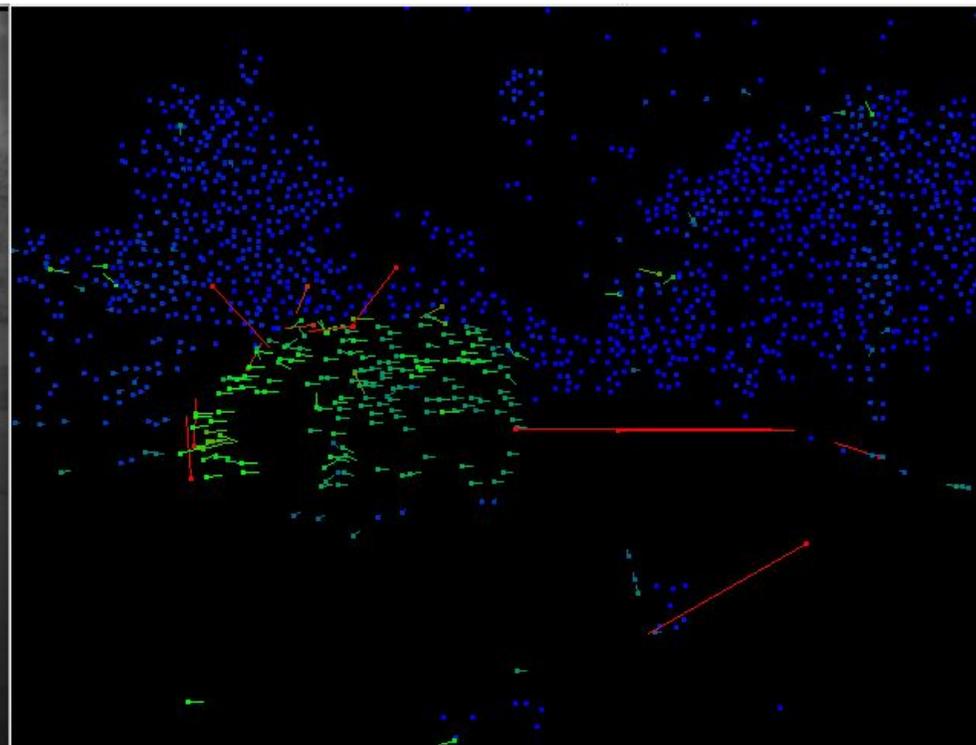
На изображении объекты размером больше 1 пикселя, значит в окрестности текущей точки у других точек будут примерно такие же сдвиги. Поэтому возьмем окно вокруг этой точки и минимизируем по МНК суммарную погрешность так, чтобы наибольший вес имели пиксели, ближе всего находящиеся к исследуемому

Получаем систему из 2 уравнений с 2 неизвестными:

$$\sum_{i,j} g(i,j) I_x(x_i, y_j)^2 dx + \sum_{i,j} g(i,j) I_x(x_i, y_j) I_y(x_i, y_j) dy = - \sum_{i,j} g(i,j) I_x(x_i, y_j) I_t(x_i, y_j) dt;$$
$$\sum_{i,j} g(i,j) I_x(x_i, y_j) I_y(x_i, y_j) dx + \sum_{i,j} g(i,j) I_y(x_i, y_j)^2 dy = - \sum_{i,j} g(i,j) I_y(x_i, y_j) I_t(x_i, y_j) dt.$$

# Реализация

## Результат



# Реализация

## Применение RANSAC

Для использования алгоритма нам необходимо знать несколько параметров

1. Минимально необходимого количества точек в подмножестве –  $n$

2. Необходимого количества итерация –  $k$

3. Пороге расстояний от прямой до точки, при  $k = w^{-n} + \frac{\sqrt{1-w^n}}{w^n}$  читается лежащей вблизи прямой –  $t$

4. Минимальном количестве точек, при которых прямая не считается шумом –  $d$

# Реализация

## Применение RANSAC

Алгоритм выглядит так:

Пока количество итерация не достигло  $k$ :

- Выбрать подмножество из  $n$  точек случайным образом
- Аппроксимировать текущее множество прямой (например, методом наименьших квадратов)
- Обнулить счетчик близких к прямой точке
- Для каждой точки вне подмножества посчитать расстояние от нее до текущей прямой. Если расстояние меньше или равно порогу  $t$ , инкрементируем счетчик
- Если значение счетчика достигло  $d$ , аппроксимируем текущую прямую по всем близким точкам
- Добавляем прямую в набор «хороших» прямых

# Реализация

## Вычисление существенной матрицы

После применения алгоритма RANSAC на выход мы получим фундаментальную матрицу, из которой мы получаем необходимую нам существенную матрицу по ранее упомянутой формуле

$E = K'^T F K$ , где  $K$  – матрица камеры

# Реализация

## Вычисление углов Эйлера:

Для вычисления углов Эйлера(углы вращения) нам необходимо получить кватернион существенной матрицы. Кватернион описывает поворот вокруг оси на заданный угол:  $(w, vx, vy, vz)$ , где  $v$  – ось, выраженная вектором;  $w$  – компонента, описывающая поворот (косинус половины угла). Положительное значение угла разворота означает поворот вдоль вектора по часовой стрелке, если смотреть с конца вектора в его начало.

$$\text{pitch} = \text{arctg}((2*x*w - 2*y*z)/(1 - 2*x*x - 2*z*z));$$

$$\text{yaw} = \text{arcsin}(2*x*y + 2*z*w);$$

$$\text{roll} = \text{arct}((2*y*w - 2*x*z)/(1 - 2*y*y - 2*z*z));$$

# Реализация

## Вычисление углов Эйлера(результат)

На данной картинке изображен график углов Эйлера. Например, в данный момент на видеопотоке атомобиль раскачивается вверх-вниз и, следовательно, график pitch(красный) сильно колеблется.



# Результат

В в ходе работы были выполнены все поставленные требования:

- Вычислен оптический поток
- Применен RANSAC для ликвидации шумов
- Получены графики угловых скоростей, которые качественно совпадают с видимыми