

---

# Stereovision



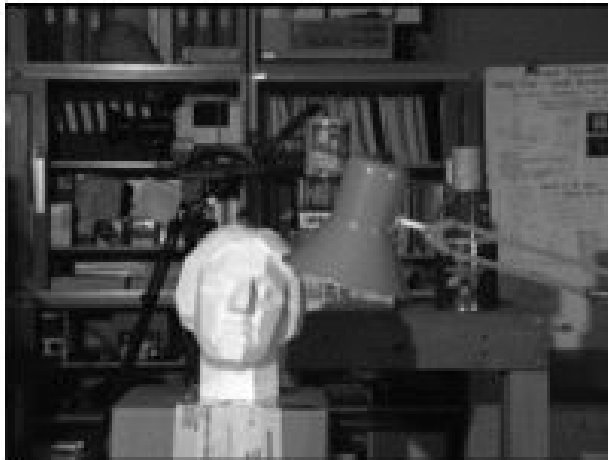
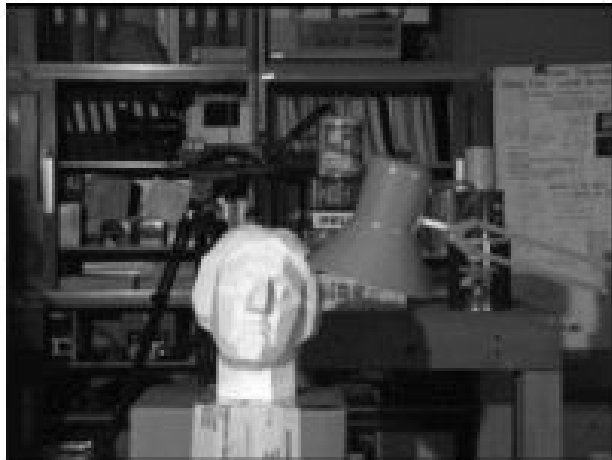
# Мотивация



# Мотивация

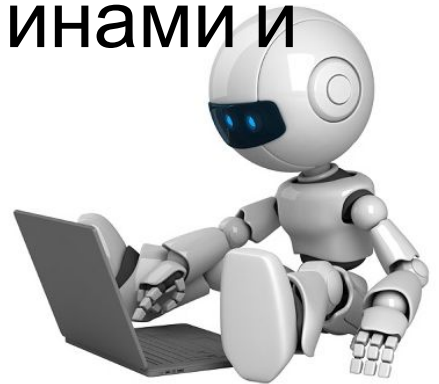
С помощью стереозрения можно получить представление о глубине изображения, расстоянии до объектов, составить трёхмерную картину окружающего мира.

# Мотивация



# Мотивация

В робототехнике стереозрение даёт возможность управлять движением роботов (а также, наземными машинами и беспилотными летательными аппаратами).

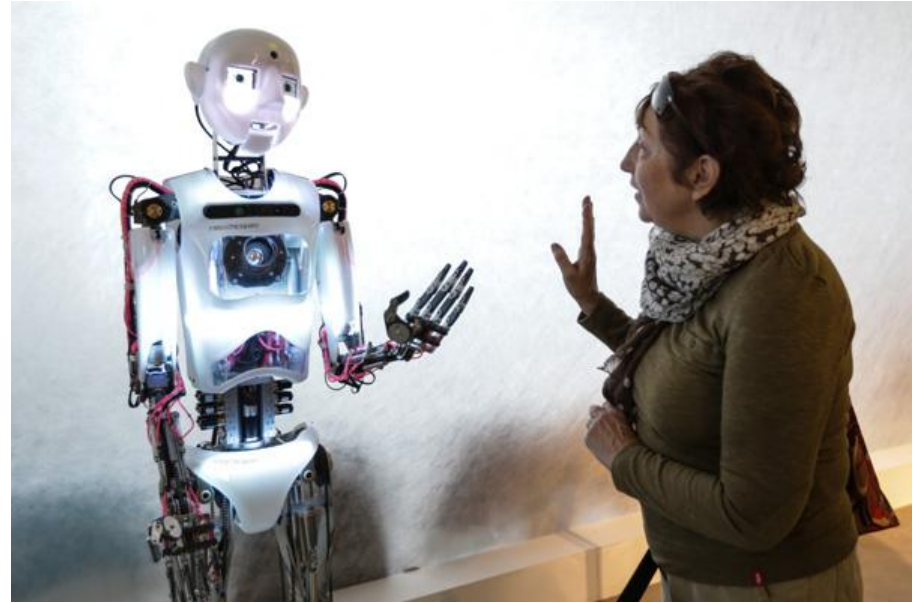
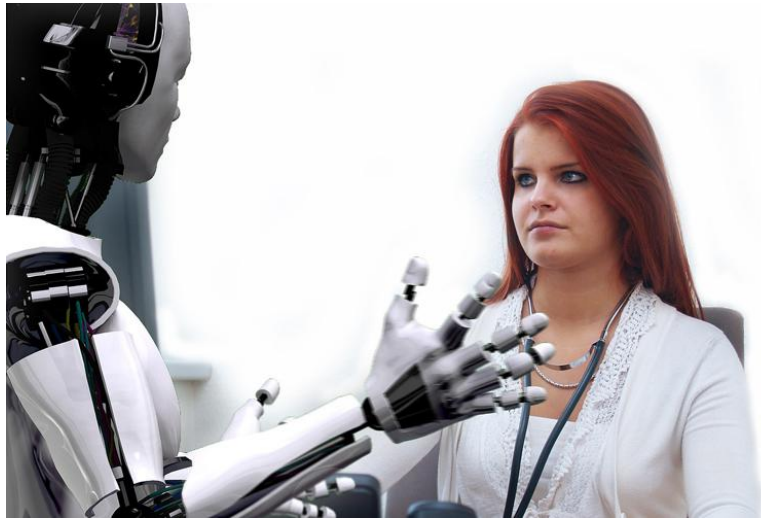
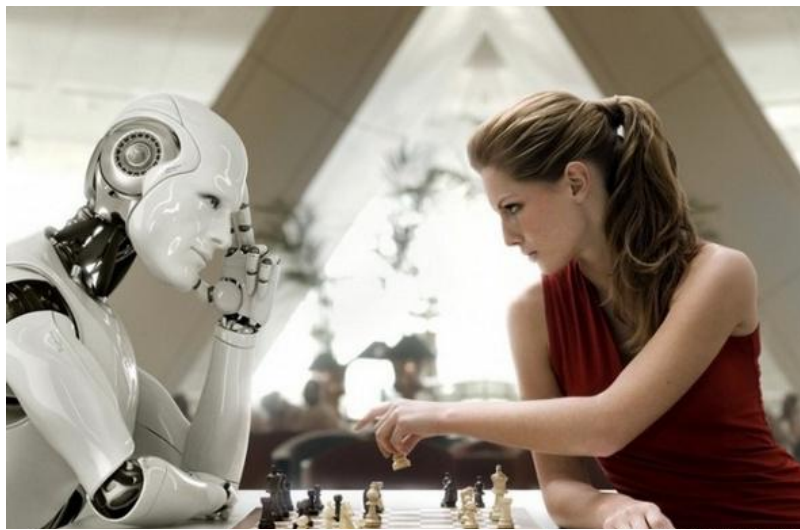




# Мотивация

Возможно создание игрушек-роботов, которые способны опознавать своего хозяина, реагировать на определенные его действия и т.п







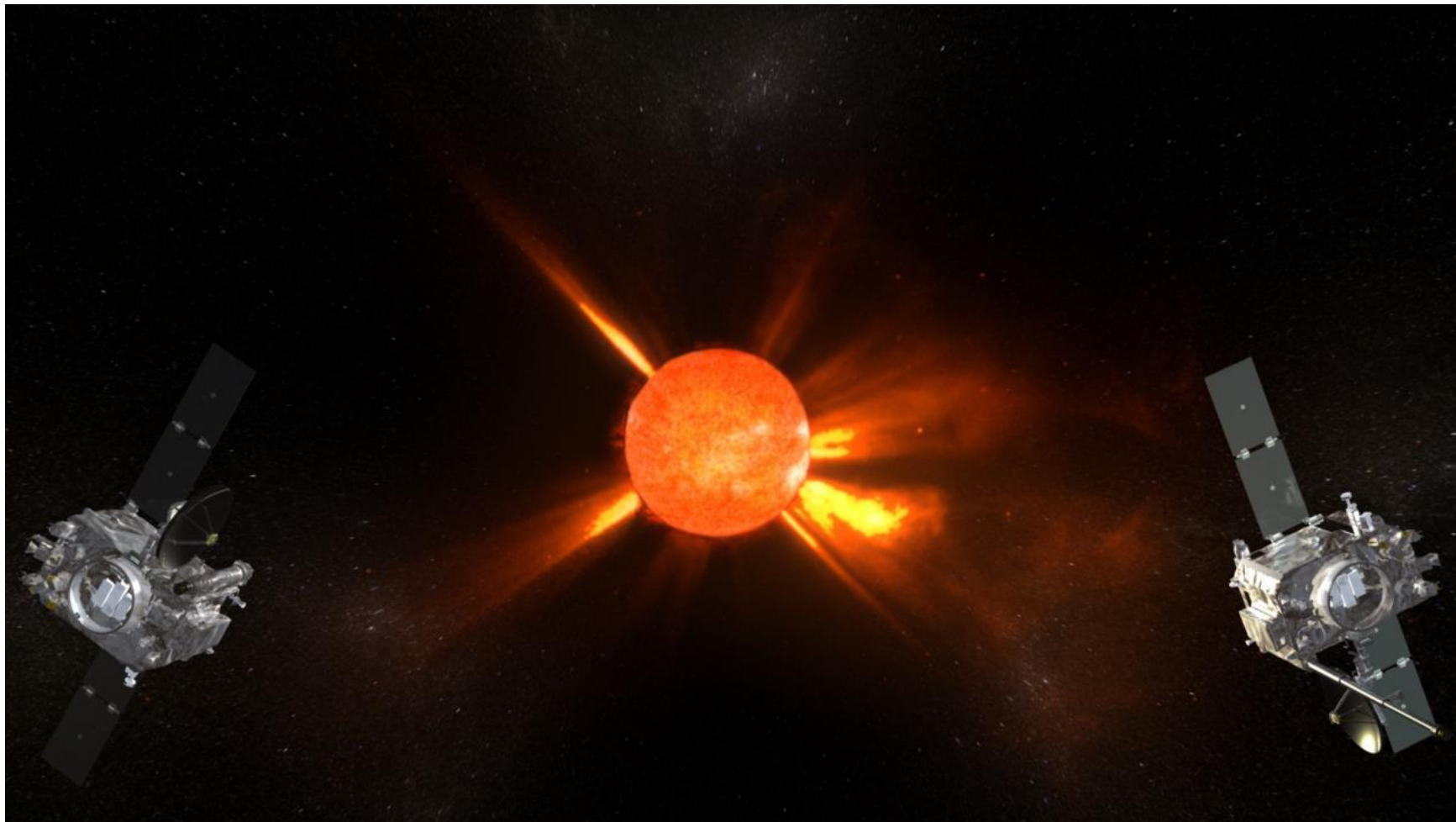


## Мотивация

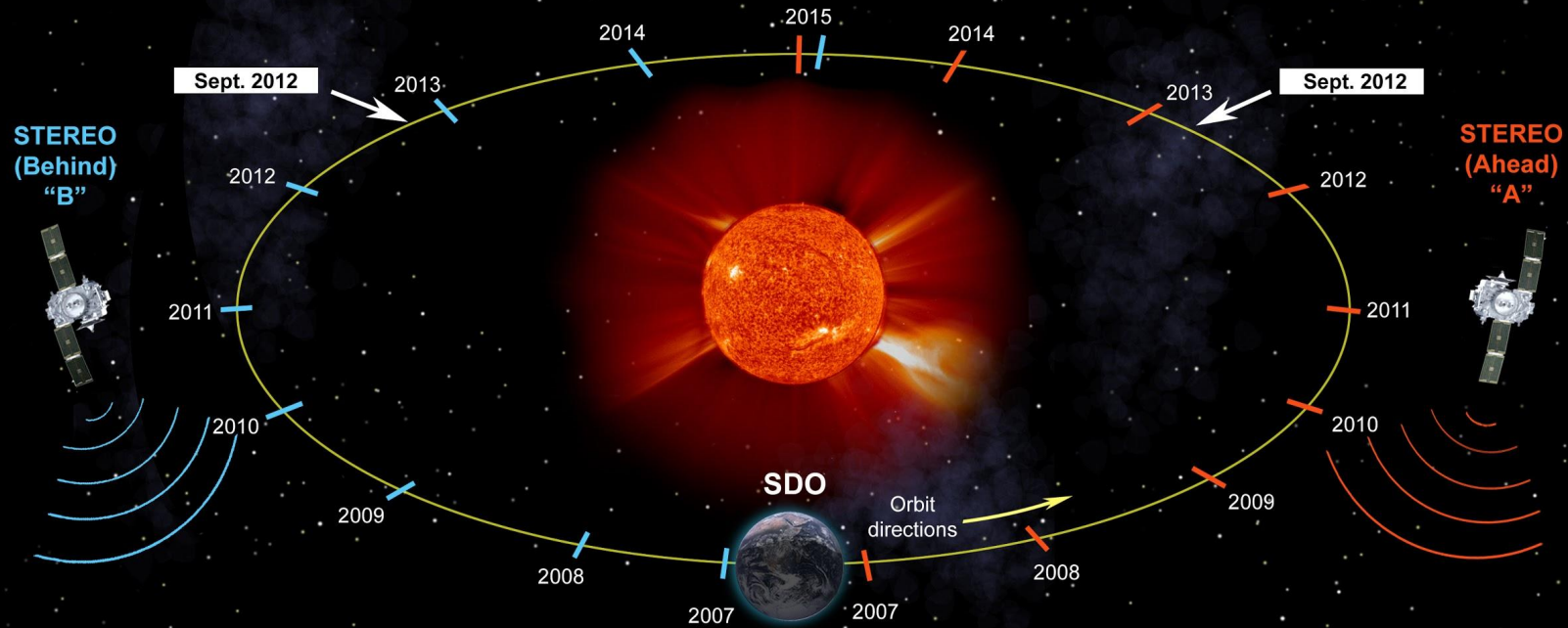
Проект STEREO от NASA (26 октября 2006)

3D изображения структур и явлений на  
Солнце

"Официально подтверждено: Солнце является шаром", - говорится в пресс-релизе НАСА.



# NASA's STEREO (with SDO) Sees the Entire Sun

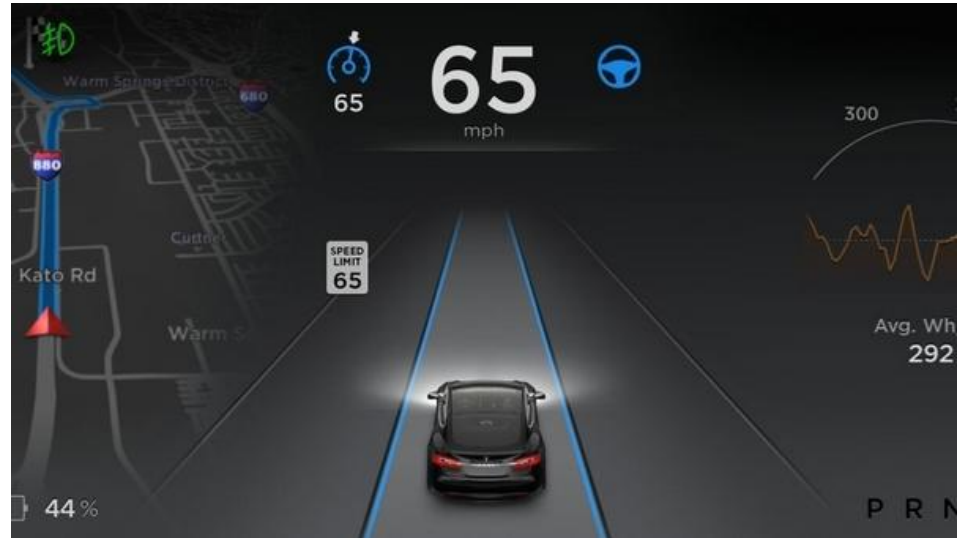


The two **STEREO** spacecraft reach equidistant positions between themselves and Earth on Sept. 1, 2012.

Drawing gives the relative orbital positions of both STEREO spacecraft for each year from June 2007 to June 2015.  
(Not to scale)

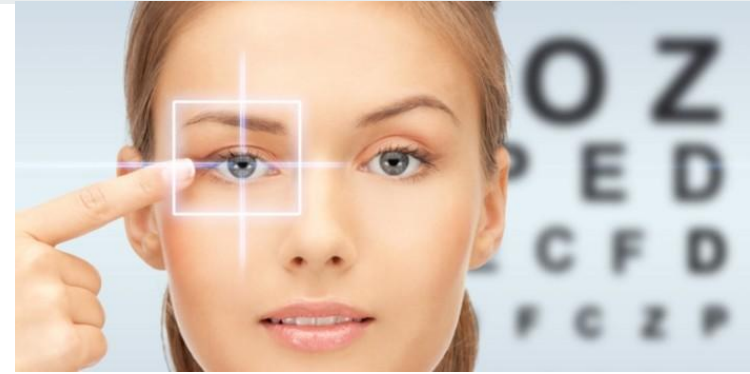
# Мотивация

Возможно  
автоматическое  
управление  
автомобилем





# Преимущества



Позволяет компьютеру получать информацию о:

- Цвете
- Яркости
- Расстоянии

При этом не использует дорогостоящих датчиков, сонаров и лидаров

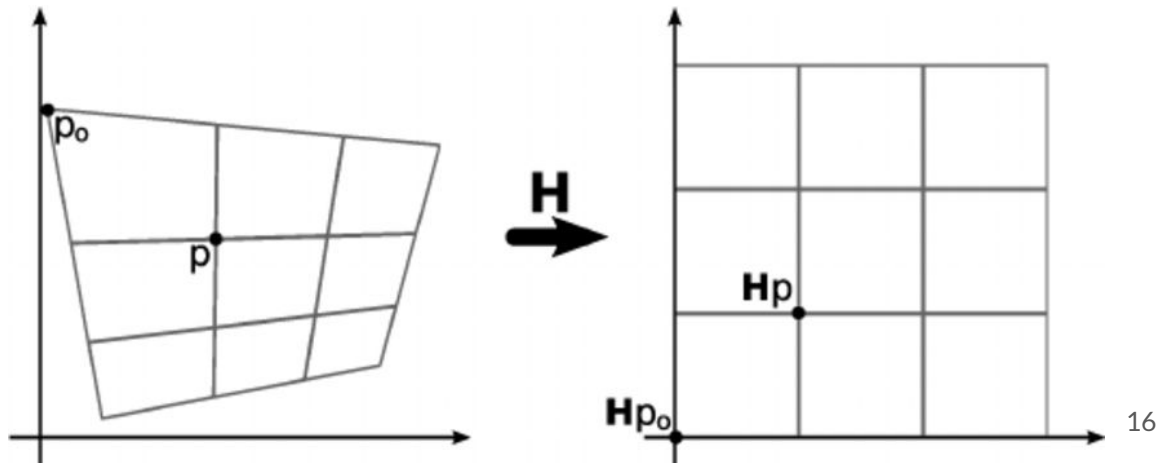


# Схема работы

Стереο визуализация включает в себя четыре этапа (используя пару камер)

# Схема работы

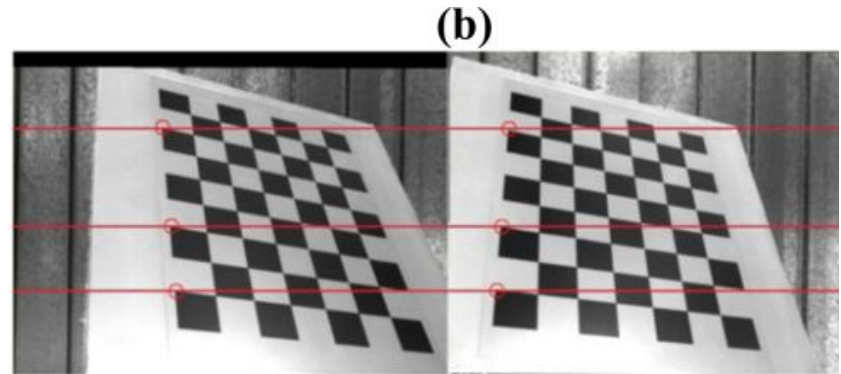
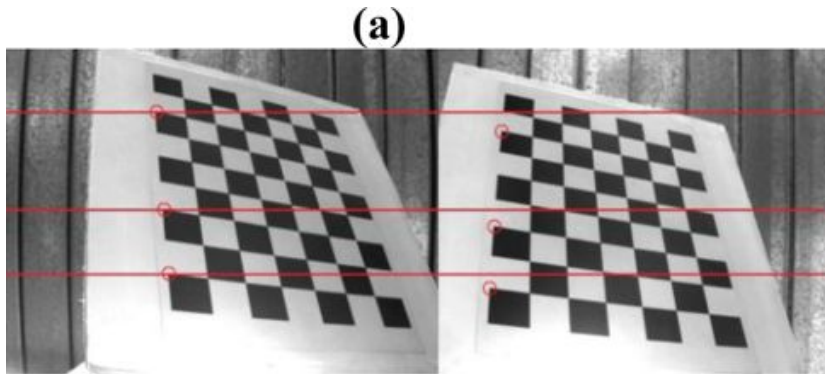
1. Удаление радиальных и тангенциальных искажений изображения: **undistortion**





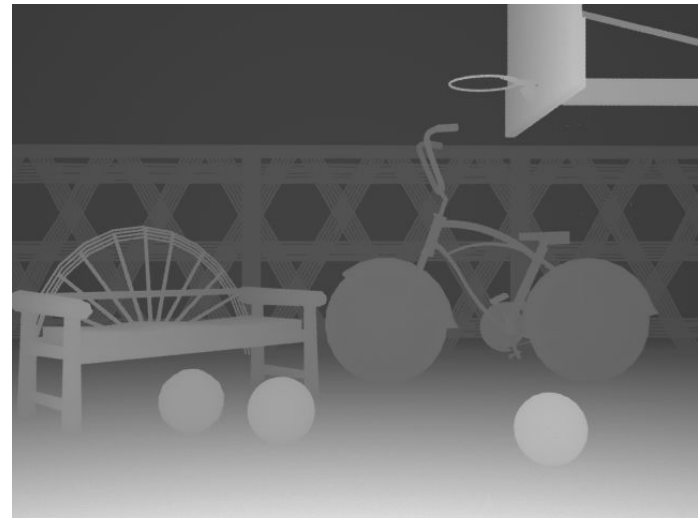
## Схема работы

### 2. Выравнивание изображения по строкам: **rectification**



## Схема работы

3. Найти отличия между изображениями по строкам, полученными с левой и правой камер: **disparity map**

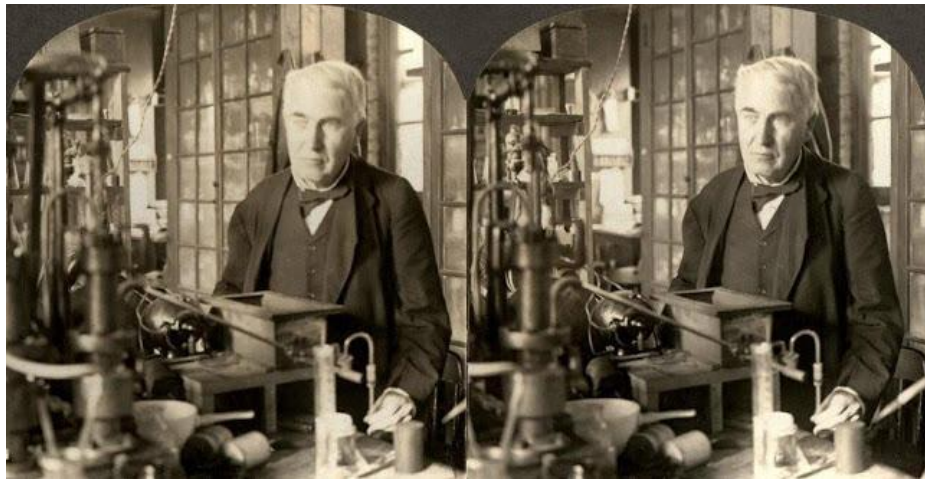
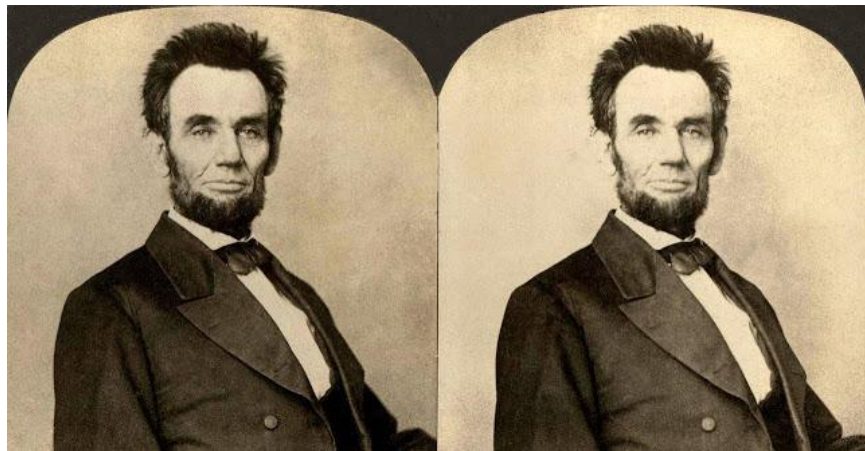
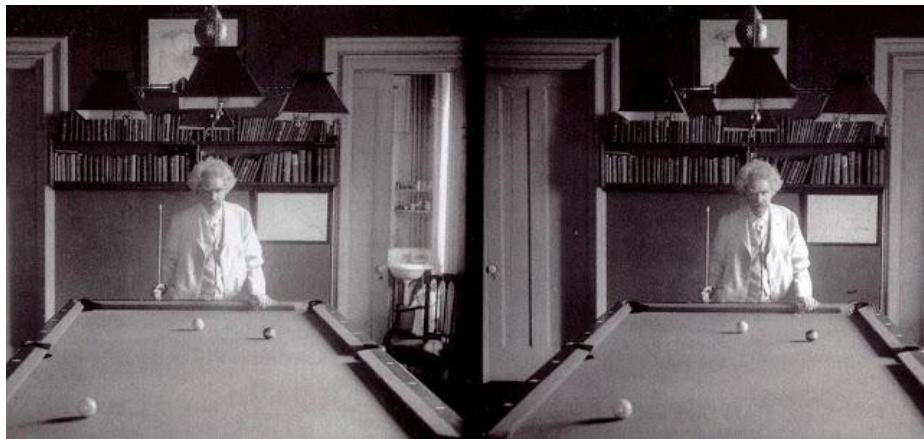


## Схема работы

4. Если нам известно геометрическое расположение камер, то можно повернуть disparity map на расстояние триангуляции. В результате: **depth map**







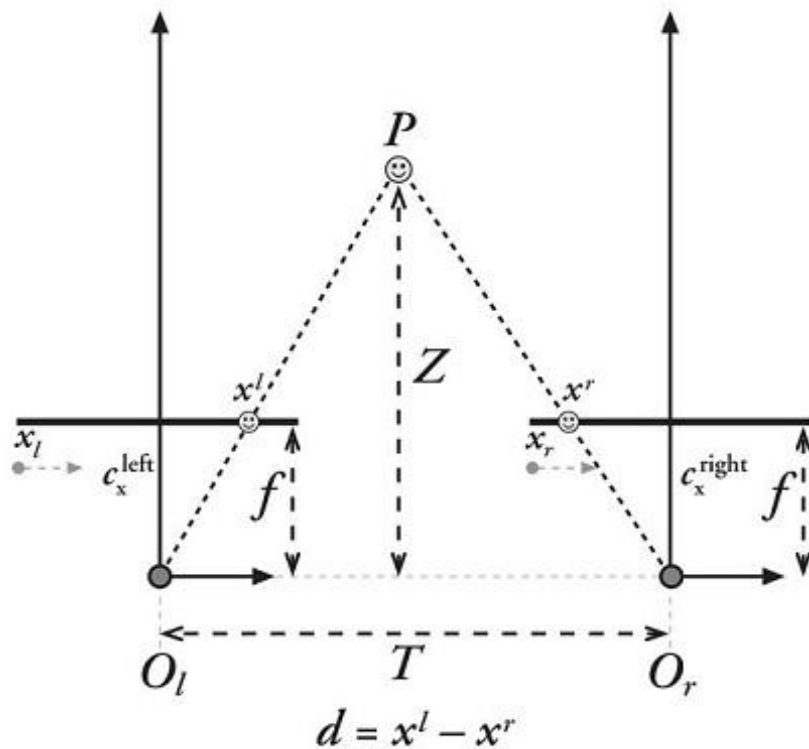






# Triangulation

Пусть имеется идеальная, выровненная стерео-конструкция с известными параметрами



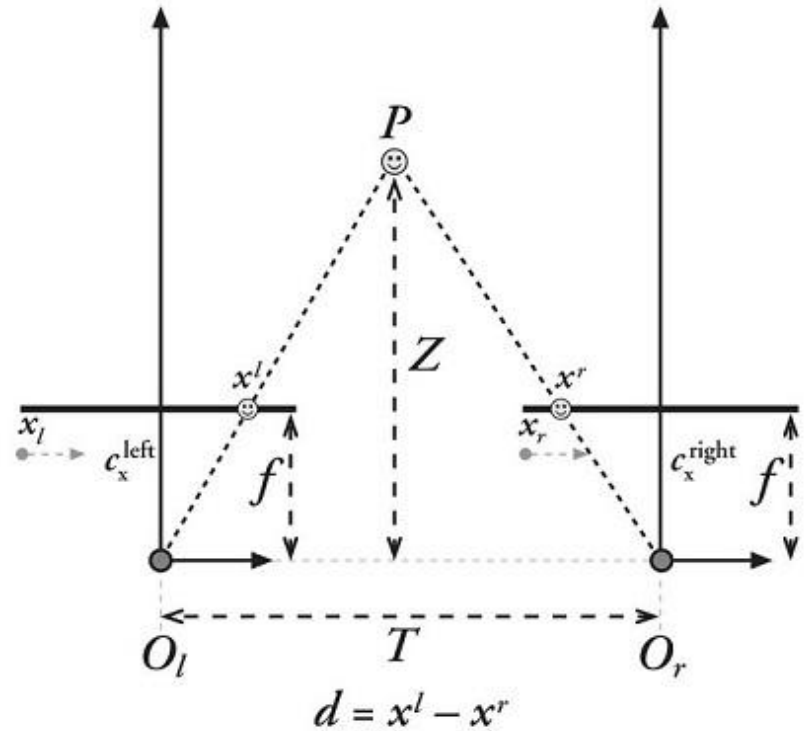




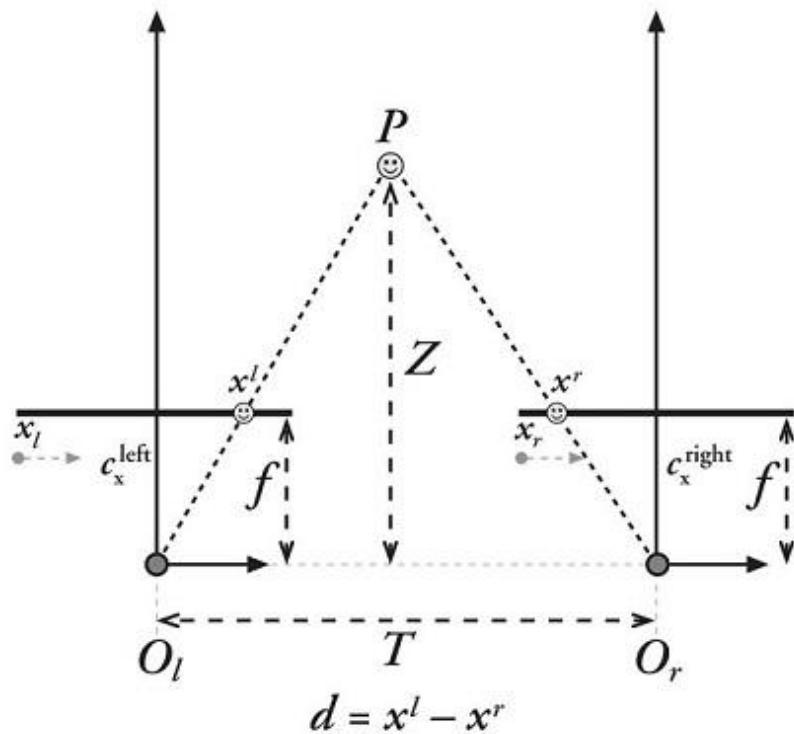
## Идеальная стерео-конструкция

- Изображения с двух камер должны быть в одной плоскости и параллельны оптической оси.
- Левая и правая камера должны иметь одинаковое фокусное расстояние ( $f_l = f_r$ ).
- Основные точки (principal points) откалиброваны.
- Камеры расположены фронтально параллельно.

Если условия выполнены, то  
глубина обратно  
пропорциональна  
несоответствию  
изображений, где  
несоответствие:  $d = x_l - x_r$ .  
Например, на рисунке можно  
найти  $Z$ , используя знания о  
подобных треугольниках.

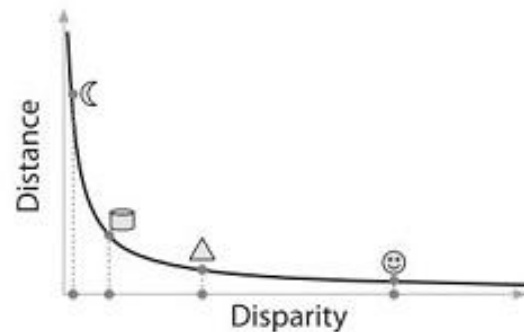
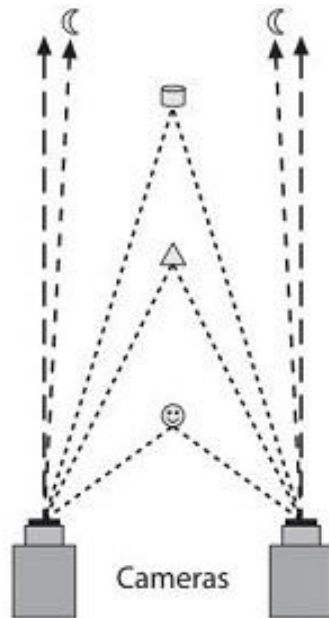


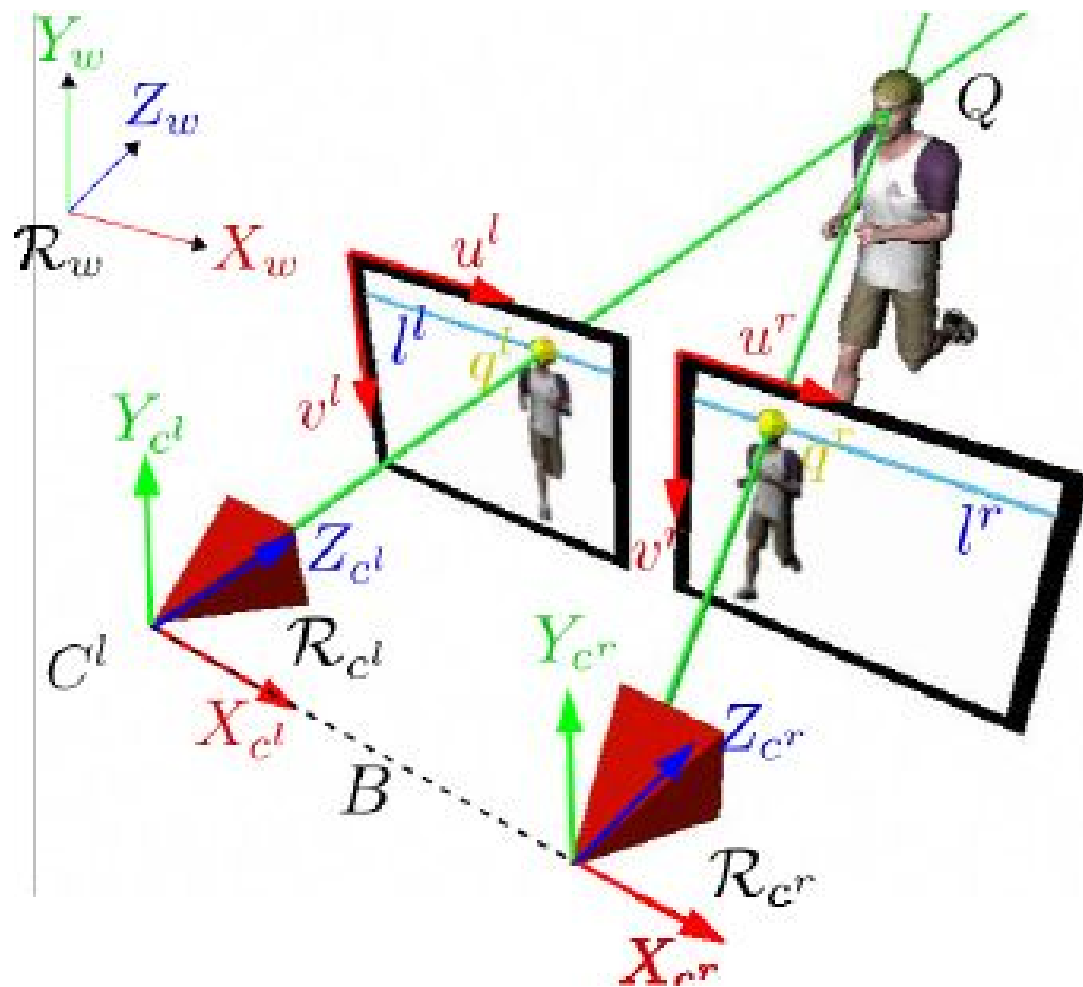
$$\frac{T - (x_l - x_r)}{Z - f} = \frac{T}{Z} \Rightarrow Z = \frac{fT}{x_l - x_r}$$



# “Разрешение” стереозрения

Для каких объектов  
стереозрение имеет  
высокое разрешение  
по глубине?



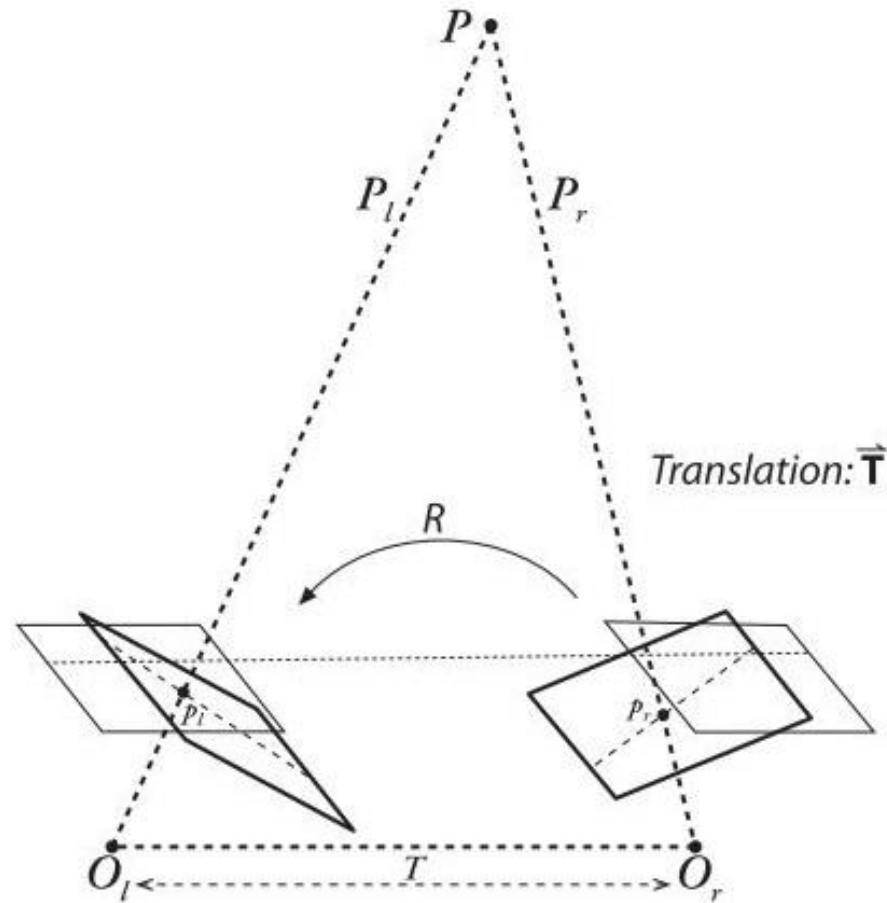




# Проблема

Реальность

# Ситуация в реальности

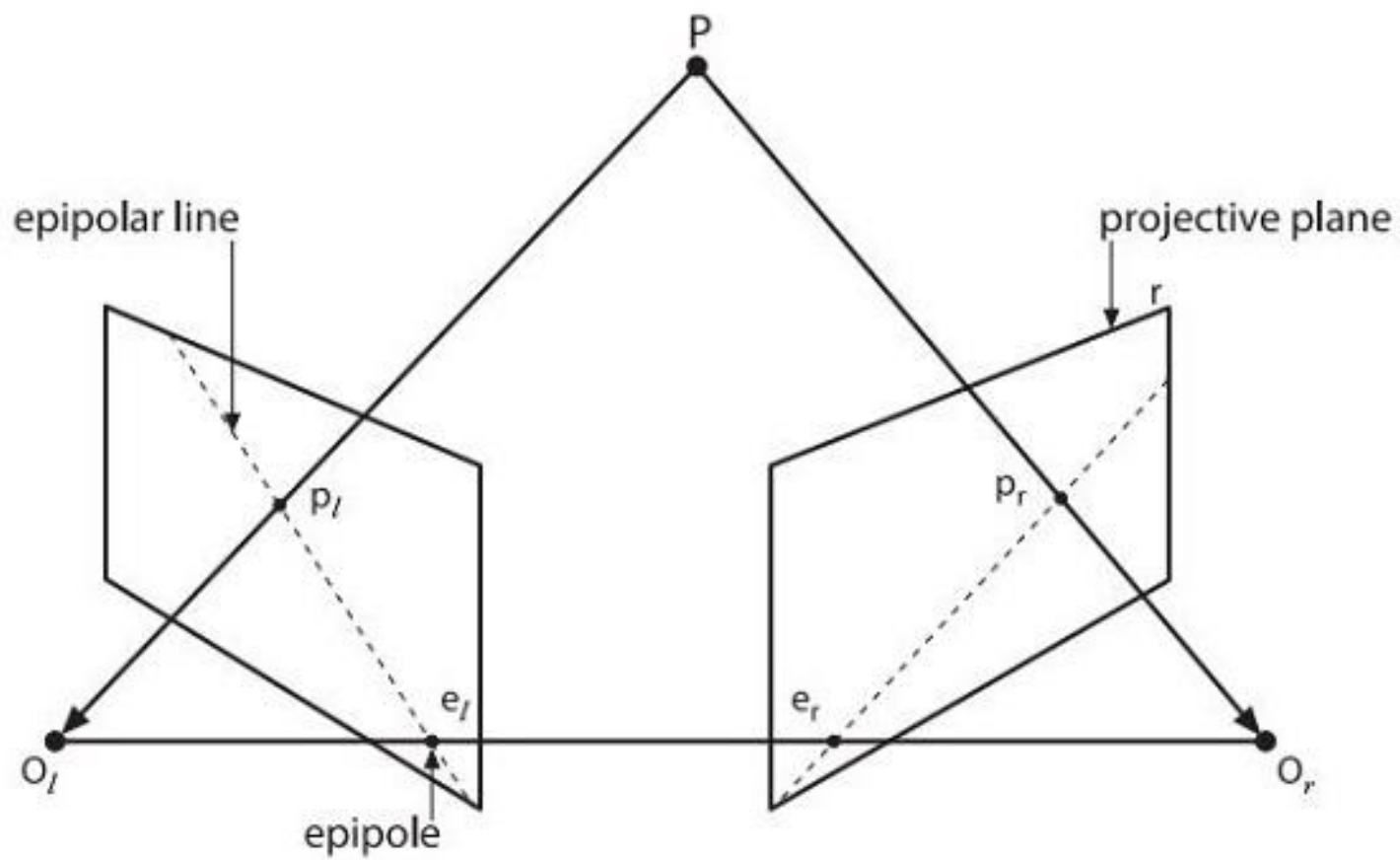




# Эпиполярная геометрия

Используется для поиска стереопар и проверки, что пара точек - стереопара







## Зачем и почему?

- Каждая 3D точка изображения со стереокамер содержится в эпиполярной плоскости, которая пересекает каждое изображение в эпиполярной прямой



## Зачем и почему?

- Учитывая особенность на одном изображении, необходимо учитывать соответствующую особенность и на другом изображении. При чём, эта соответствующая особенность должна лежать вдоль эпиполярной линии (*эпиполярное ограничение*)




## Зачем и почему?

- Благодаря эппольярному ограничению вычислительные затраты сокращаются (за счет поиска соответствий только вдоль строк)



## Зачем и почему?

- Порядок сохраняется. Если на одном изображении по строке идёт точка А, а за ней точка В, то точки, которые им соответствуют на втором изображении будут расположены в том же порядке.



# Существенная и фундаментальные матрицы



## Построение эпиполярных прямых

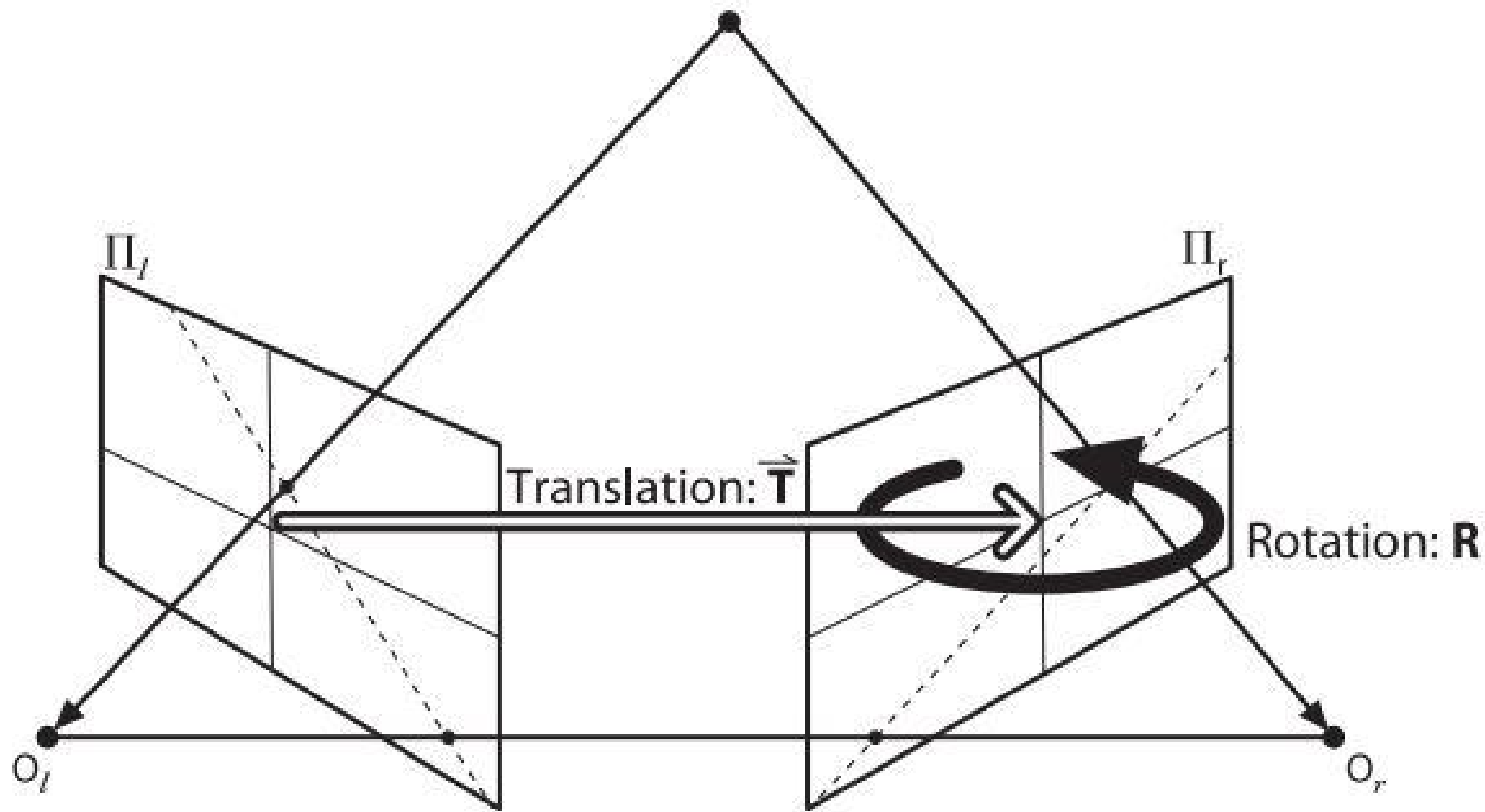
- Essential Matrix  $E$
- Fundamental Matrix  $F$



# Essential Matrix

Содержит информацию о переносе и вращении, которые касаются двух камер в физическом пространстве.








## Fundamental Matrix

Содержит ту же информацию, что и матрица  
плюс информацию о встроенных функциях  
обоих камер.

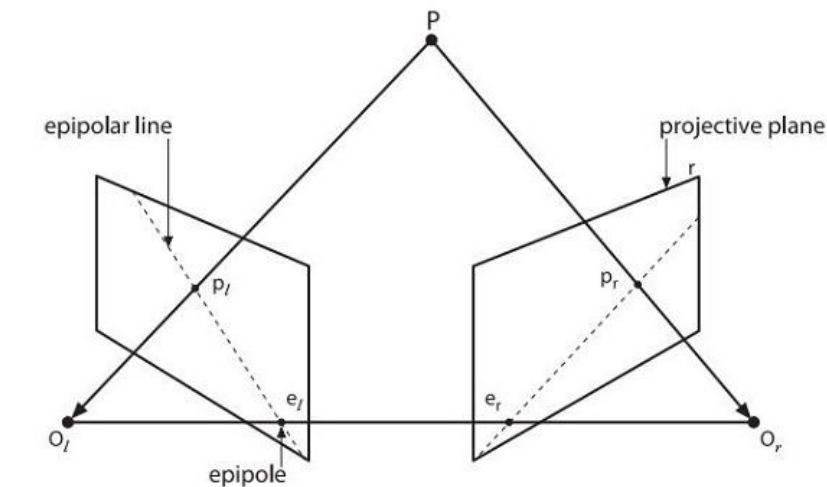


# Существенная матрица


$$P_r = R(P_l - T)$$

$$(P_l - T)^T (T \times P_l) = 0$$

$$P_r^T E P_l = 0$$



$$p_r^T E p_l = 0$$




# Фундаментальная матрица

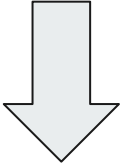
Матрица  $E$  содержит всю информацию о геометрии двух камер относительно друг друга, но не имеет информации о самих камерах.

Чтобы найти связь между пикселем на одном изображении и соответствующего пикселя на другом, необходимо ввести внутреннюю информацию о двух камерах.

$$q = Mp \Rightarrow p = M^{-1}q$$




$$p_r^T E p_l = 0$$



$$F = (M_r^{-1})^T E M_l^{-1}$$

$$q_r^T F q_l = 0$$



# Вычисление эпиполярных прямых





## Вычисление эпполярных линий


С помощью фундаментальной матрицы  $F$   
вычисляются уравнения эпполярных линий



## Вычисление эпполярных линий

Для точки  $x$ , вектор, который задаёт эпполярную линию :  $I' = Fx$ . Уравнение самой эпполярной прямой  $I'Tx' = 0$ . Аналогично, для точки  $x'$ :

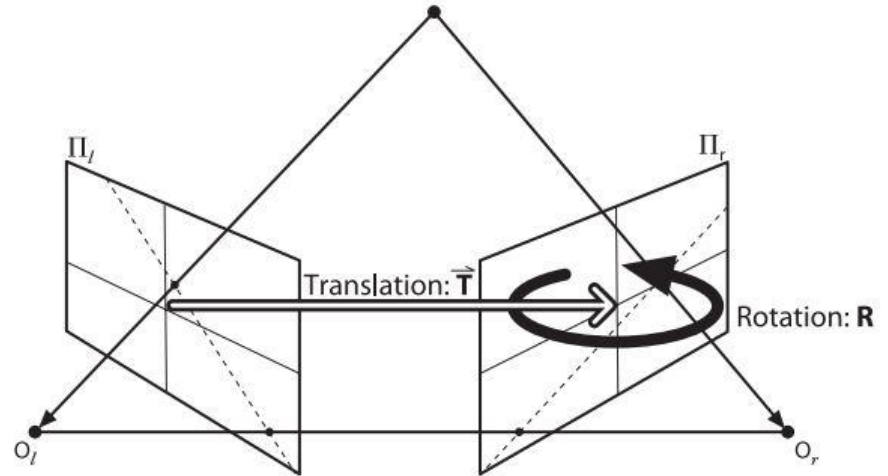
вектор -  $I = FTx'$



# Калибровка стереопары

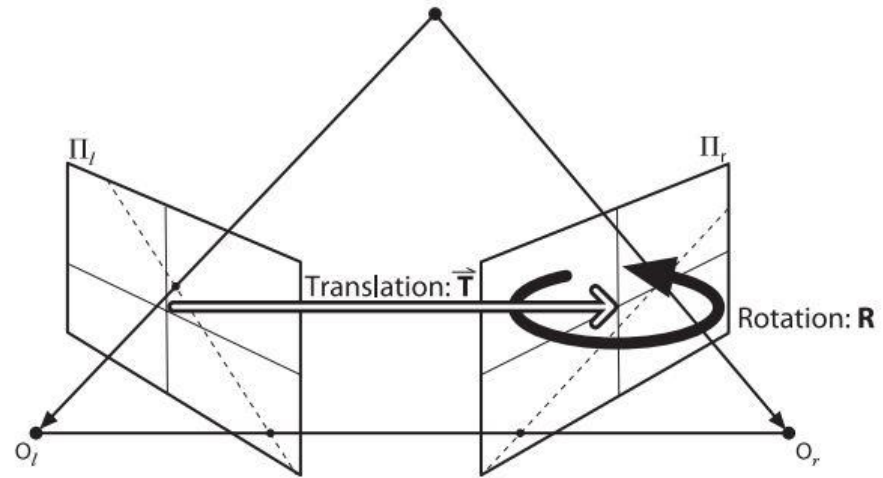
# Калибровка стереопары

Процесс вычисления  
геометрических  
отношений между  
двумя камерами в  
пространстве



# Калибровка стереопары

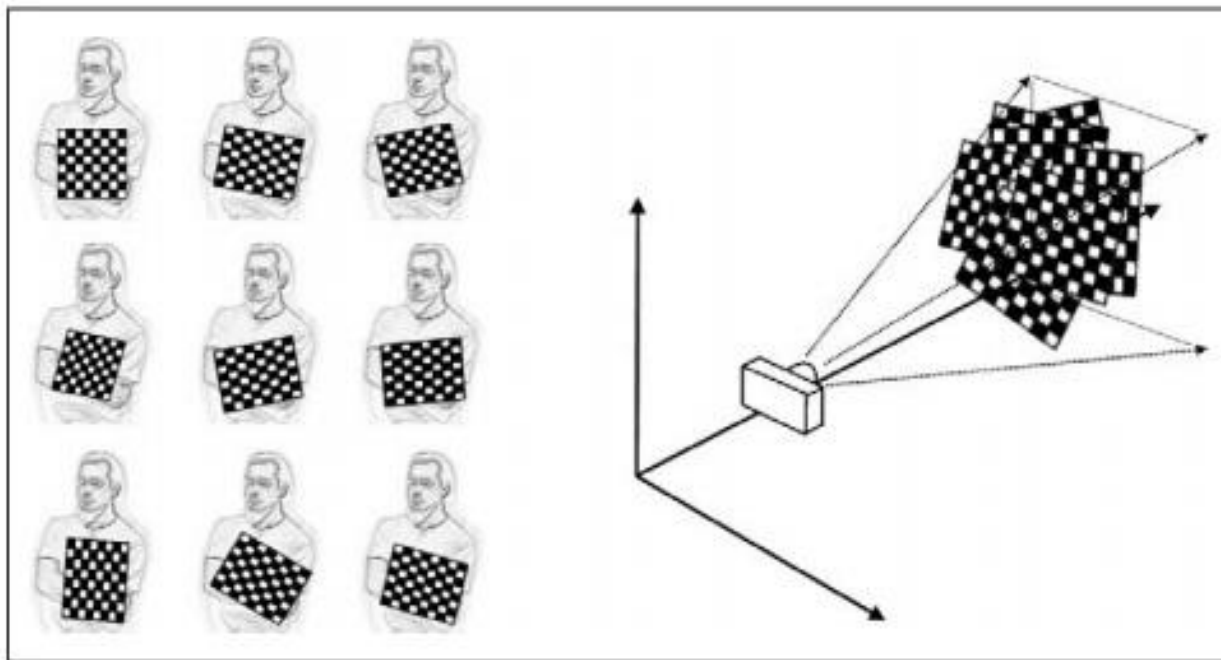
Необходимо найти  
матрицу поворота и  
вектор перемещения  
между двумя камерами



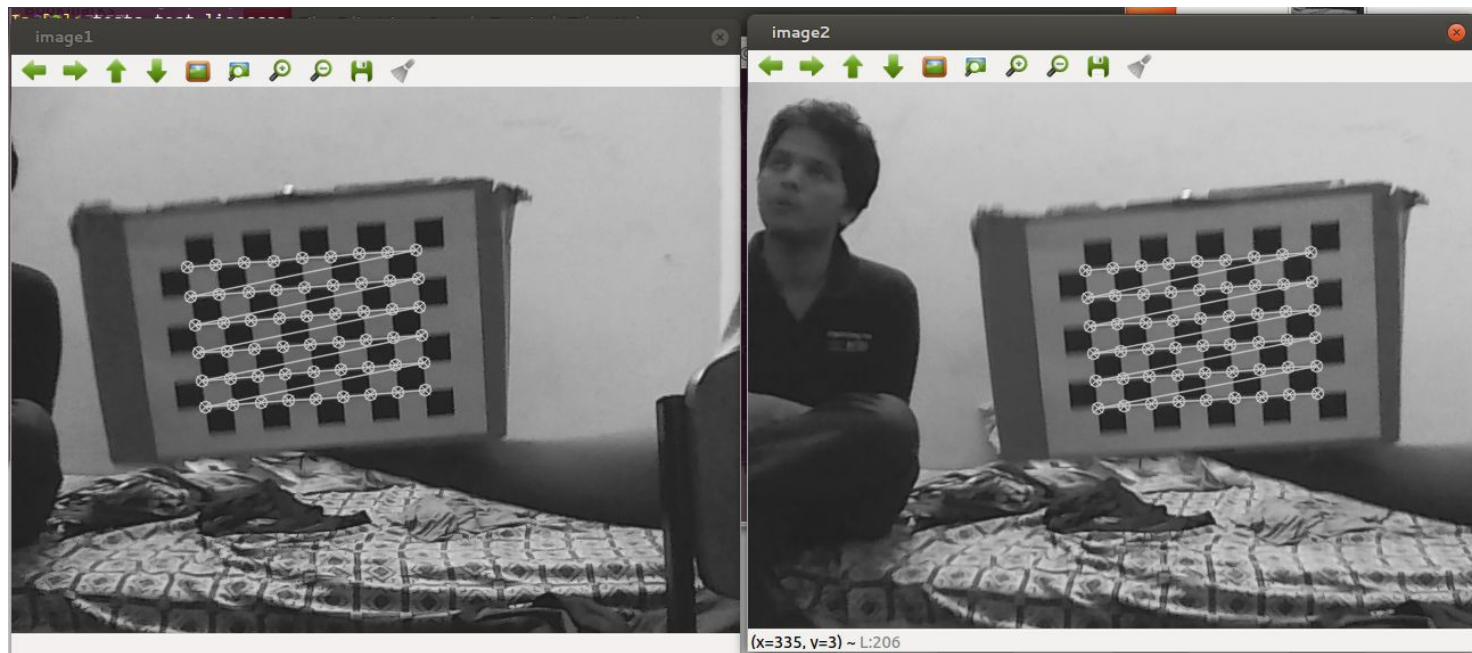
## Калибровка стереопары

$$\begin{array}{l} P_l = R_l P + T_l \\ P_r = R_r P + T_r \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} R = R_r (R_l)^T \\ T = T_r - R T_l \end{array}$$
$$P_l = R^T (P_r - T)$$

# Калибровка стереопары



# Калибровка стереопары







# Ректификация изображений



# Ректификация изображений

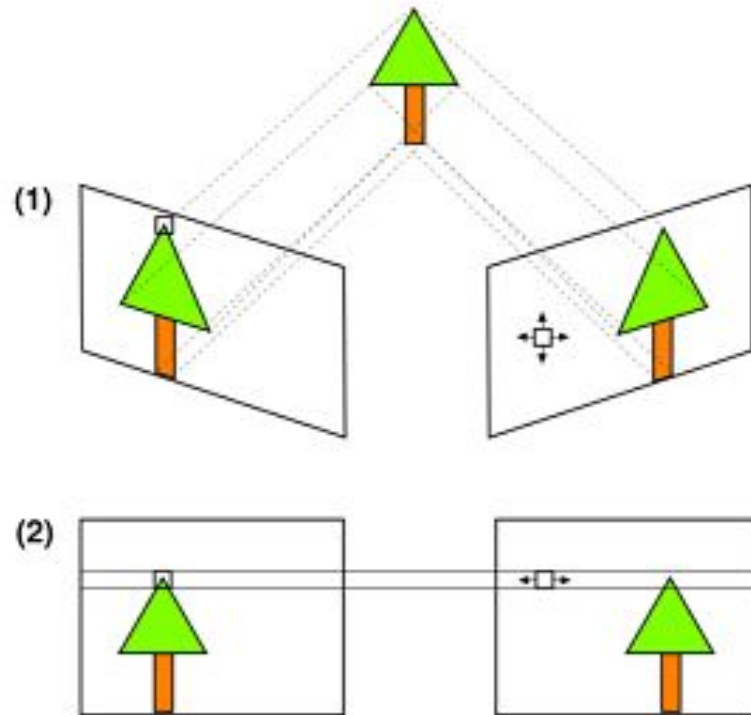
Преобразование двух изображений таким образом, что каждое из них будет лежать в одной плоскости, причем строки пикселей изображений будут лежать на одной прямой.



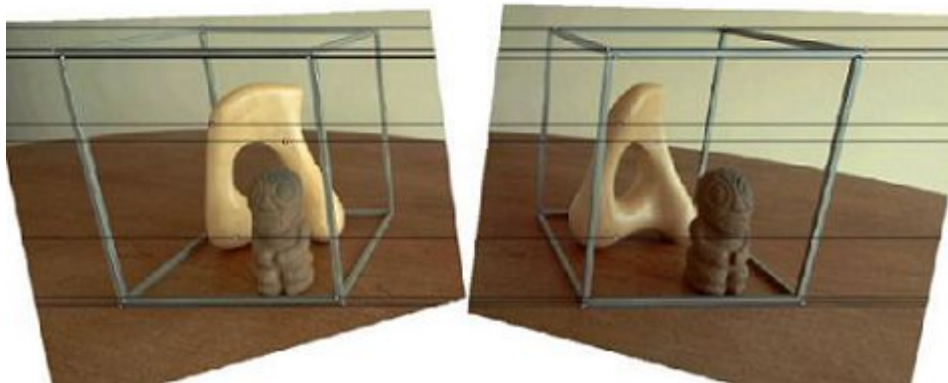
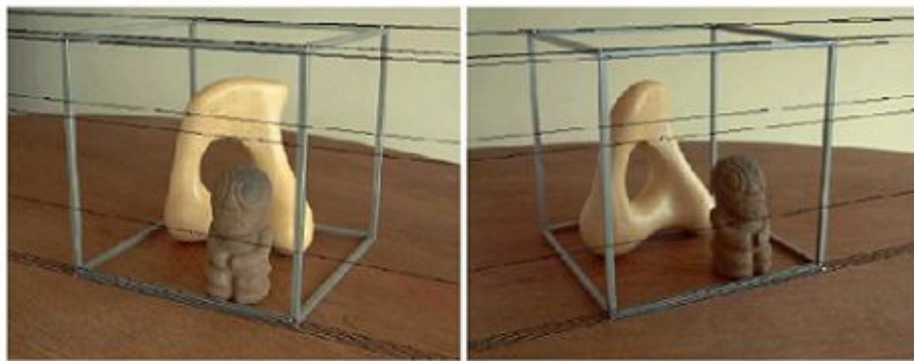
## Зачем?


Для построения карты глубины необходимо найти пары максимально похожих пикселей в некоторой окрестности. Т.к. после ректификации мы точно знаем, что похожие пиксели лежат на одной строке, то сложность поиска уменьшается с квадратичной до линейной.

# Схема

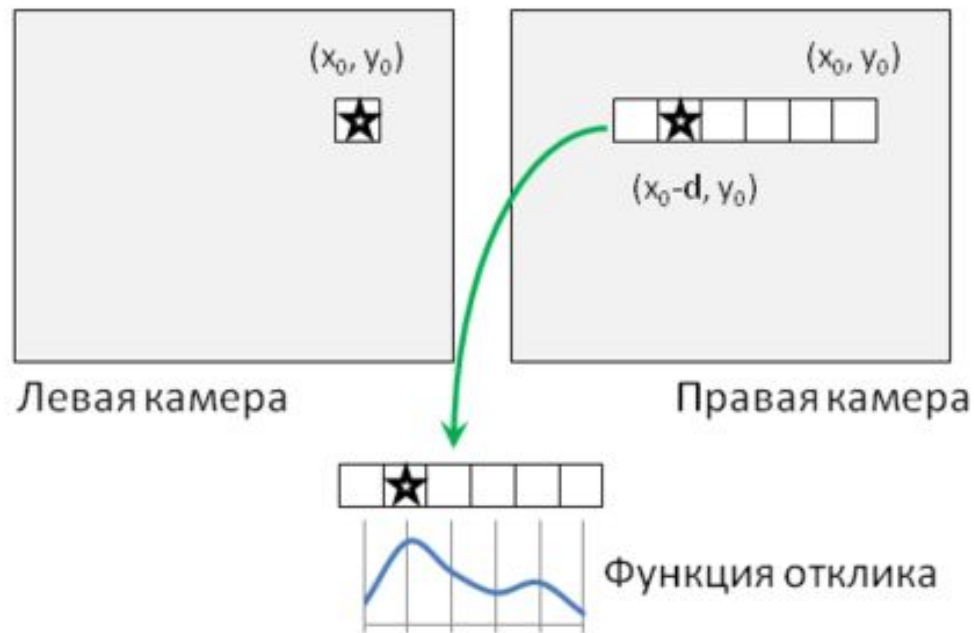
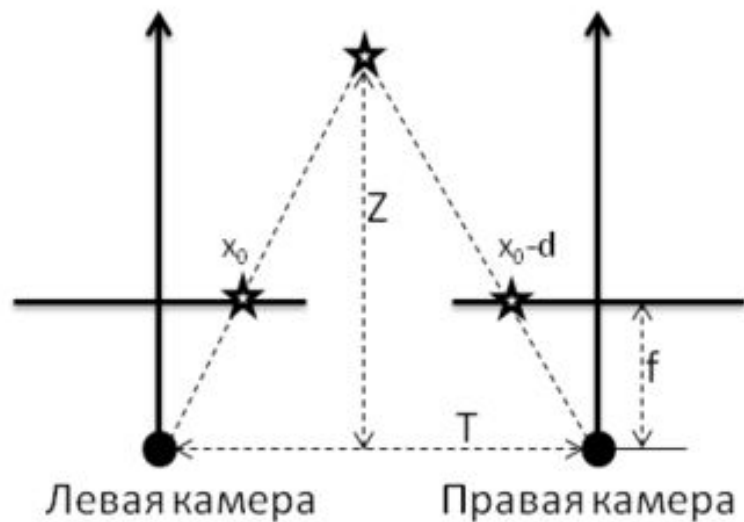


# Реальность





# Построение карты глубины



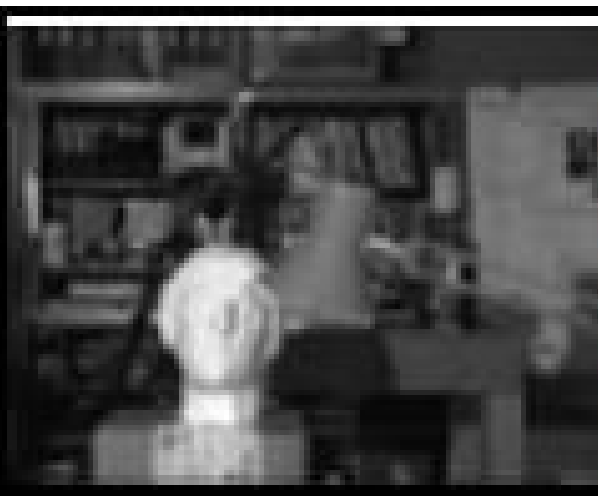
$$\frac{T - (x_l - x_r)}{Z - f} = \frac{T}{Z} \Rightarrow Z = \frac{fT}{x_l - x_r}$$



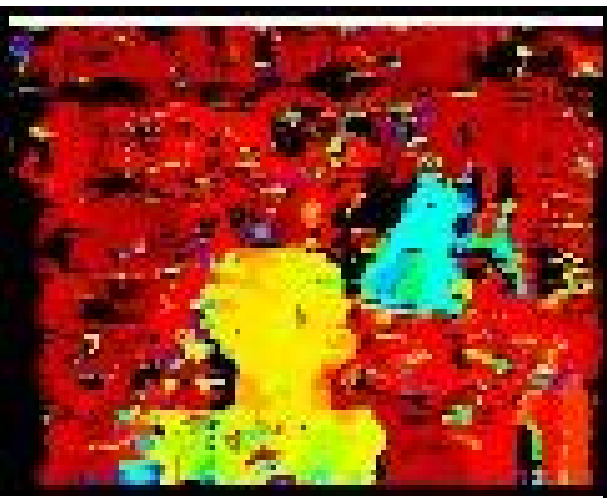




(a)



(b)



(c)