

单目车道距离检测原理

重要概念介绍

1.消失点(Vanishing Point)

机器视觉的消失点检测是计算机视觉领域的一项技术，用于检测图像或视频中的消失点。消失点是指在透视投影下，平行线在无限远处相交的点。在一个图像中，如果存在直线或平行线，它们在远处相交或趋于相交的位置，这个位置就是消失点。

消失点代表了场景中的一个共同收敛点，即视觉上的远处焦点。在透视投影中，平行线在远处似乎会汇聚到一个点上。这个点就是消失点。

受RANSAC算法启发的算法来寻找消失点

步骤	描述
1	在图像中检测直线
2	对检测到的直线进行过滤（通过所在区域，角度等条件）
3	对于每个直线组合，计算它们的交点的坐标。根据交点的坐标，计算该点到每条直线的距离的误差（损失）。误差是指该点与每条直线之间距离平方的和的平方根。累积计算误差。
4	具有最小误差的交点选为消失点。因此，每张图像应该只有一个计算得到的消失点。

e.g.(红色点为消失点)



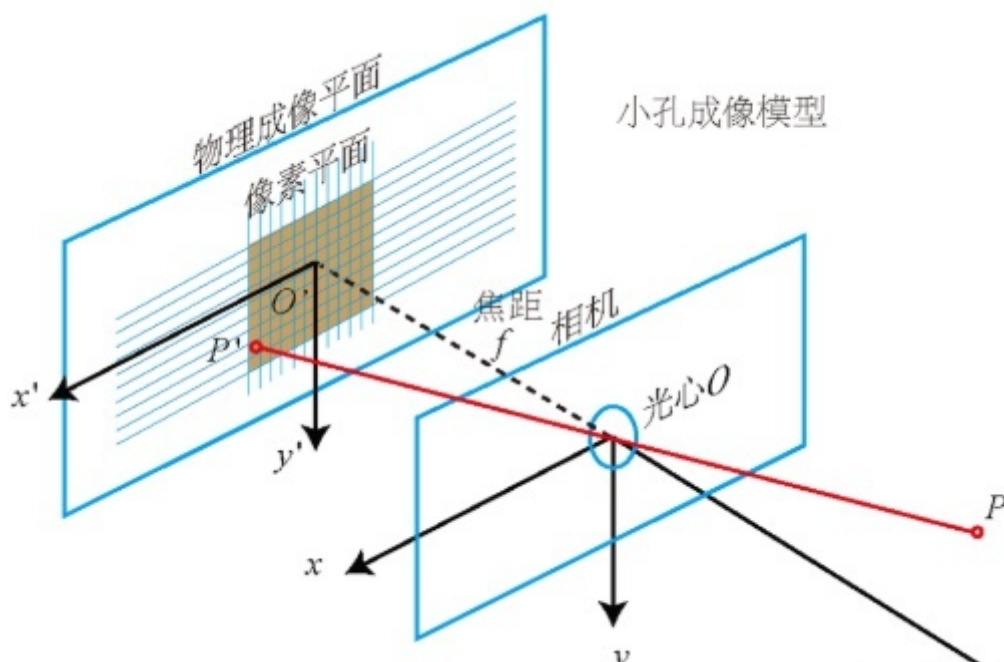
2.光心

摄像机光心是一个虚拟的点，位于摄像机镜头的中心，与成像传感器平面平行。它是**光线通过摄像机镜头时的交汇点**，也是图像的中心

光心是位于摄像机坐标系（Camera Coordinate System）的概念。

摄像机坐标系是一种相对于摄像机本身定义的坐标系，用于描述摄像机内部光学元件和成像传感器之间的关系。

在摄像机坐标系中，光心通常位于坐标原点（0,0,0）或者原点附近的某个位置，具体位置取决于摄像机的设计和制造。



3.光心到消失点的物理意义

在真实世界中，从光心到消失点的射线是一条平行于路面的射线，且方向与**路面前进方向一致**，与道路线上**垂直点对构成的线段垂直**

相机内参矩阵

相机内参矩阵（Intrinsic Matrix），也称为内部参数矩阵或相机矩阵，是在摄像机标定和计算机视觉中常用的重要概念之一。这个矩阵包含了摄像机的内部参数，用于描述摄像机的内部几何属性和成像特性。相机内参矩阵通常表示为 K ，它是一个 3×3 的矩阵，其主要元素包括：

- 焦距 (Focal Length)**：通常用 f_x 和 f_y 表示，它们代表了成像传感器上像素的大小和相机光心到成像平面的距离。焦距决定了图像中物体的视角和透视效果。 f_x 和 f_y 通常相等，表示成像传感器是正方形的，但在某些情况下也可以不相等以处理非正方形像素。
- 主点 (Principal Point)**：通常用 c_x 和 c_y 表示，它们表示成像传感器上光心（光学中心）在像素坐标系中的位置。主点的坐标通常与成像传感器的中心对齐，因此通常接近图像中心。
- 相机内参矩阵 K 的形式：**

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 \\ 0 & f_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4.图像像素坐标系to相机坐标系

转换过程

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_c}{z_c} f_x + u_0 \\ \frac{y_c}{z_c} f_y + v_0 \end{bmatrix}$$

已知像素坐标对应真实世界坐标，故可知从**光心**到此点的方向，将此方向设为

$$\begin{cases} x = at \\ y = bt \\ z = ct \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \frac{a}{c}t \\ y = \frac{b}{c}t \\ z = t \end{cases}$$

故有

$$\begin{cases} \frac{a}{c} = \frac{x}{z} \\ \frac{b}{c} = \frac{y}{z} \end{cases} \quad \text{结合} \quad \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_c}{z_c} f_x + u_0 \\ \frac{y_c}{z_c} f_y + v_0 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{cases} \frac{a}{c} = \frac{u-u_0}{f_x} \\ \frac{b}{c} = \frac{v-v_0}{f_y} \end{cases}$$

综上有像素坐标对应真实世界方向

$$\begin{cases} x = \frac{u-u_0}{f_x} \cdot t \\ y = \frac{v-v_0}{f_y} \cdot t \\ z = t \end{cases}$$

构建方法

step1.计算消失点

得到消失点

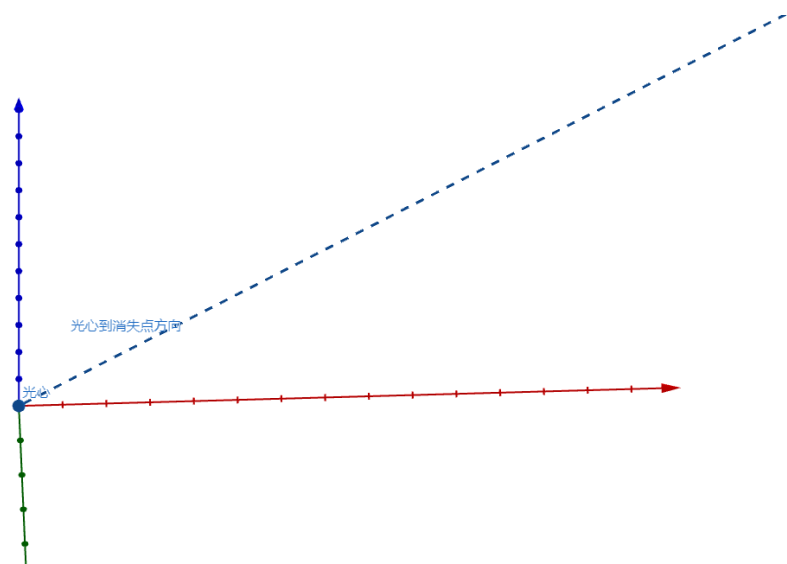
$$VanishingPoint(x, y)$$

step2.计算消失点方向

根据像素坐标对应真实世界坐标（方向）的关系，求得消失点方向

e.g.

$$\begin{aligned} &\text{光心到消失点方向：射线（光心, C）} \\ &= X = (0, 0, 0) + \lambda (2.17, -0.49, 1.06) \end{aligned}$$

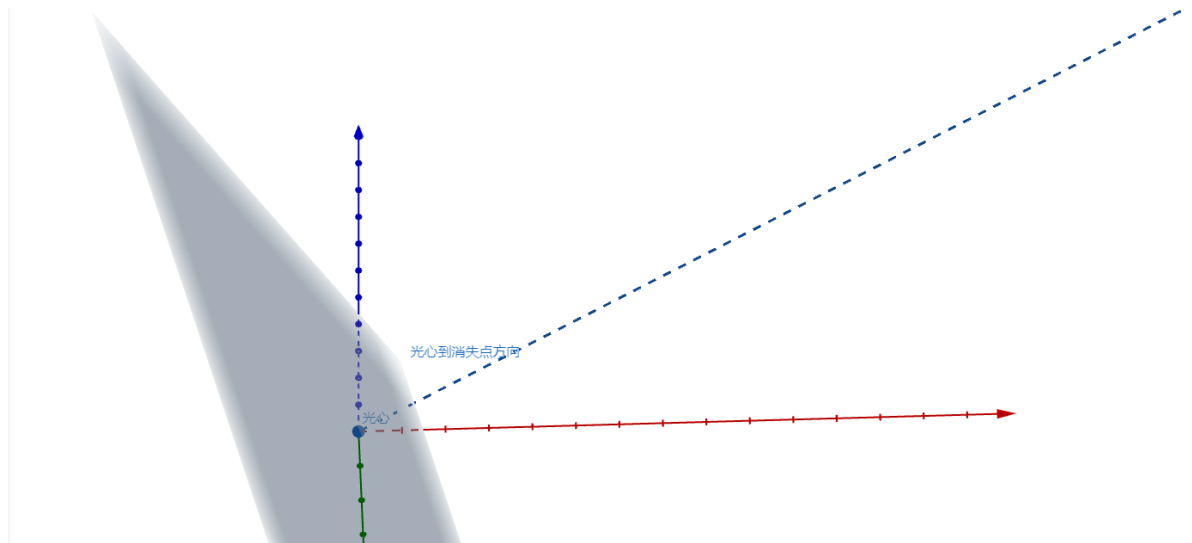


step3.计算以消失点方向为法向且经过光心的平面

e.g.

与消失点方向垂直平面：垂直平面

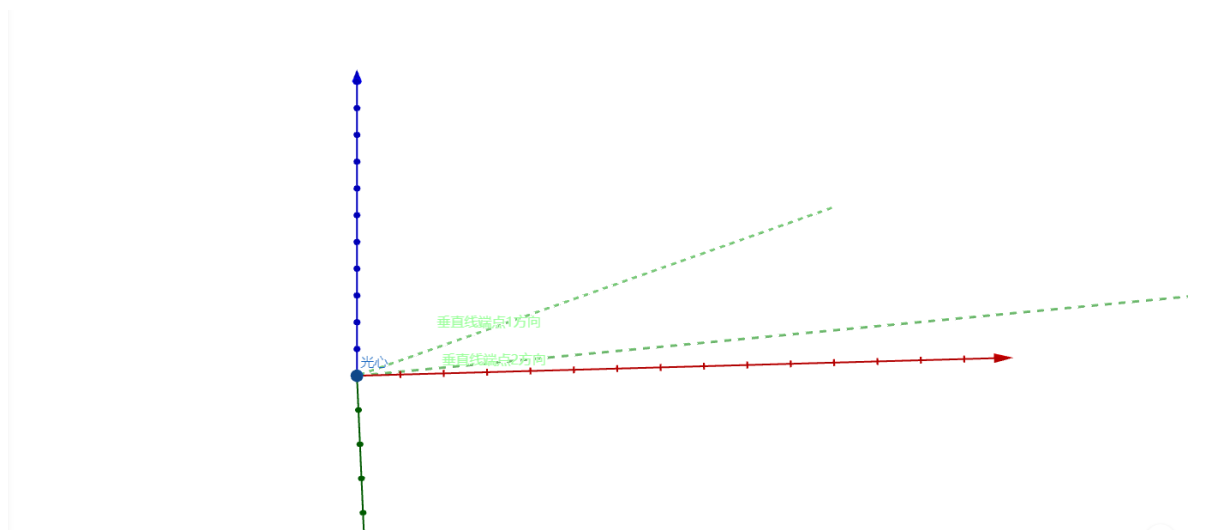
$$= 2.17x - 0.49y + 1.06z = 0$$



step4.计算一组垂直点对方向

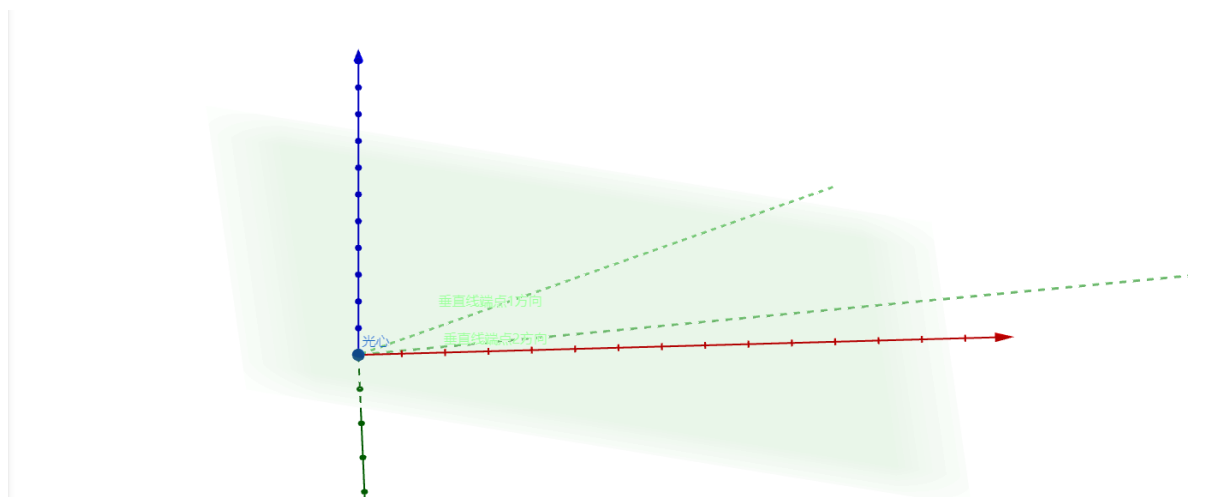
根据像素坐标对应真实世界坐标（方向）的关系，求得垂直点对方向

e.g.



step5.计算一组垂直点对方向所构成共面

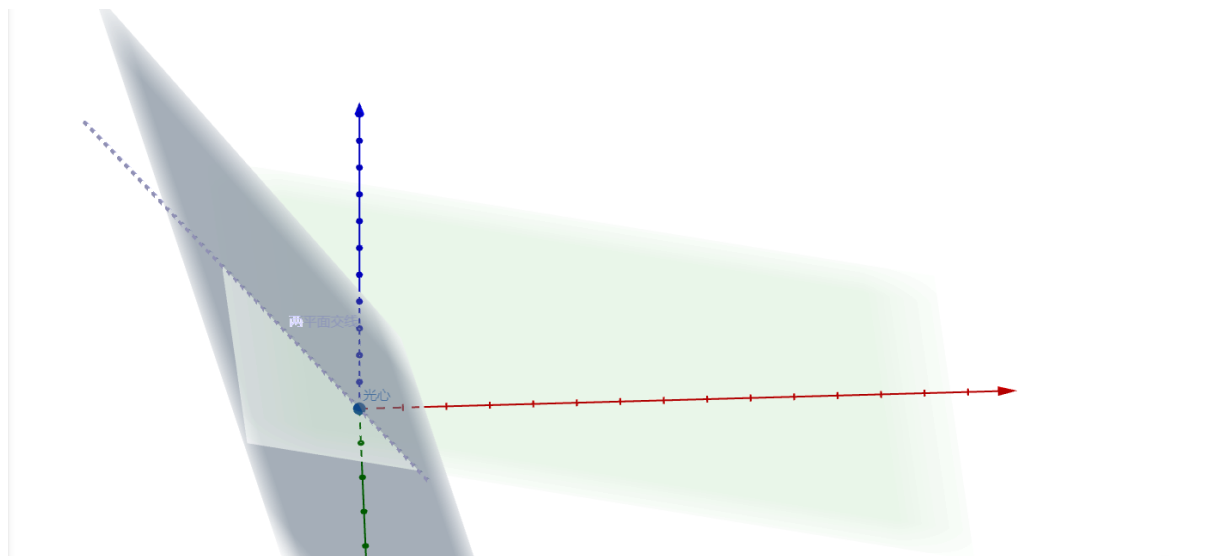
e.g.



step6.求两平面交线

经分析，step3与step4所作平面都是垂直于路面前进方向的平面，故可知两平面的交线必然平行于路平面

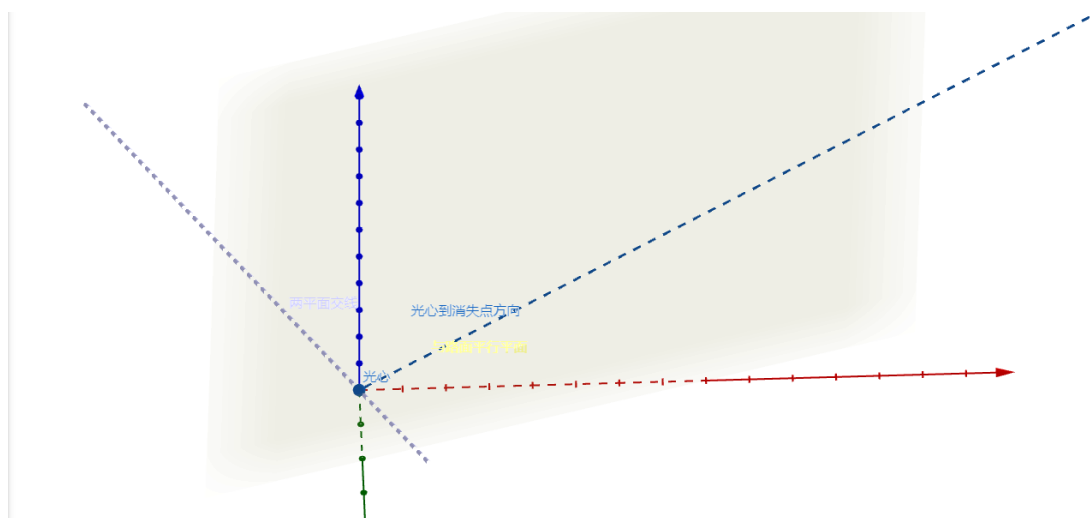
e.g.



step7.求交线与消失点方向线共面

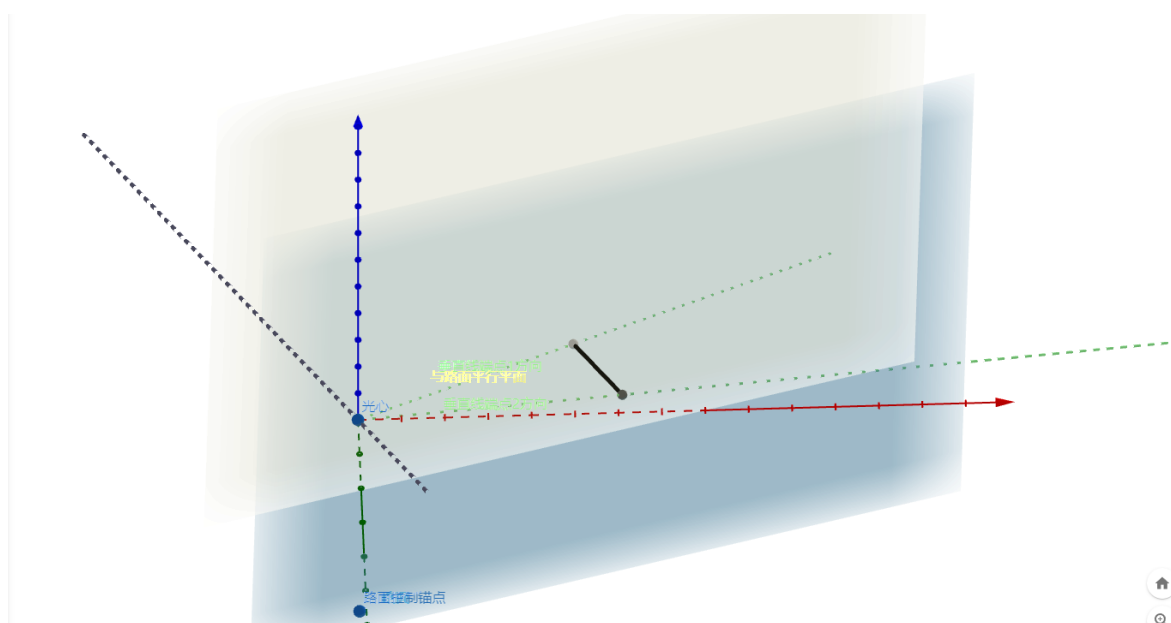
经分析, step6所求交线与消失点方向射线都经过光心且平行于路平面, 故两线所在共面必然平行于路平面

e.g.



step8.求路平面方程

经step7,求得一与路平面平行的平面方程,故距离求解路平面方程仅差一常量参数D,假设D常量得到路平面方程,求一组垂直点对的方向与此平面的交点,当两交点之间的距离为真实的两点间距时,反求得D,故路平面方程得解



检测方法

当模型构建完成, 即得到路平面方程, 求出所求像素点对应方向, 再求该方向射线与路平面得交点

e.g.

