



中国大恒（集团）有限公司北京图像视觉技术分公司

机器视觉系统 ——镜头篇

主讲人：华雪



镜头 - 影响图像质量的关键因素

图像质量的参数	影响图像质量的因素
分辨率（Resolution）	镜头 摄像机 显示设备
对比度（Contrast）	镜头 光源 摄像机
景深（Depth of Field）	镜头
失真（Distortion），也叫畸变	镜头
投影误差	镜头



- 光学系统的基本概念及相关知识
- 镜头的基本参数及相关知识
- 如何选择镜头



光学系统的基本概念及相关知识

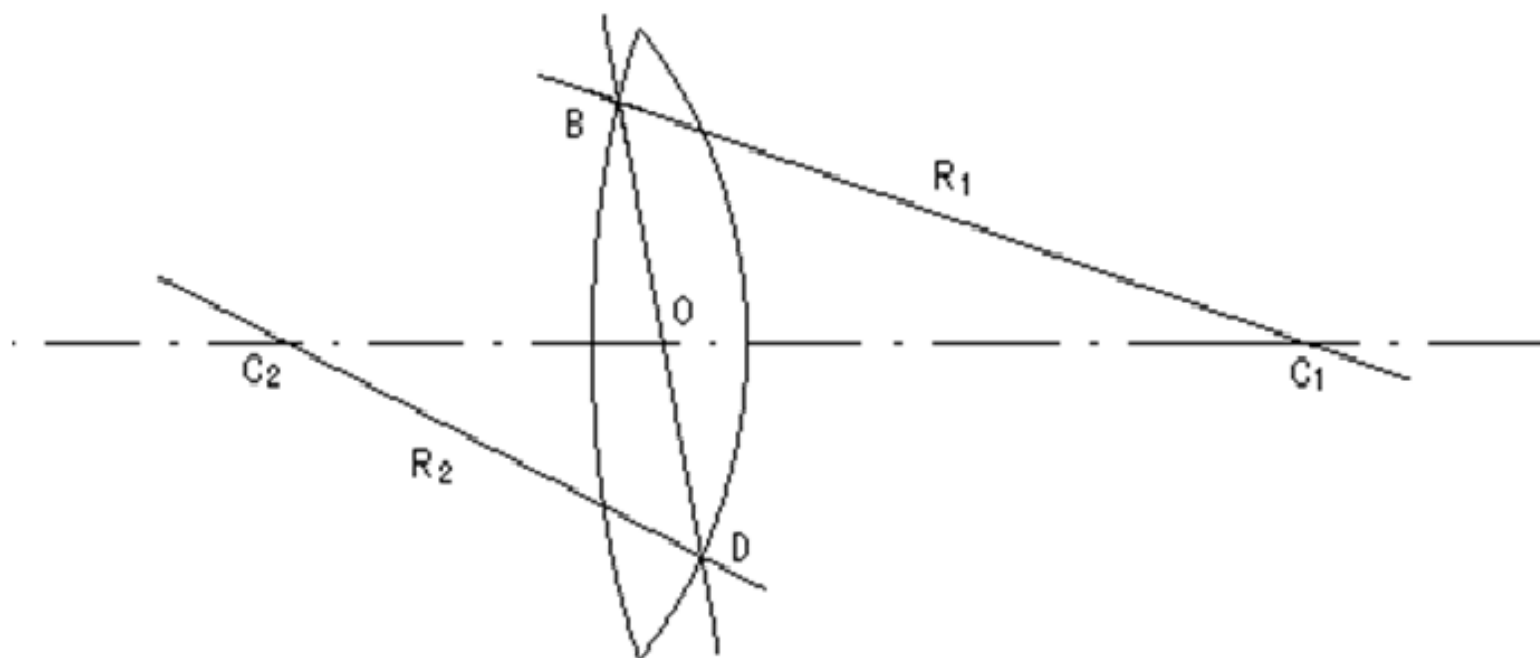


光心和主轴

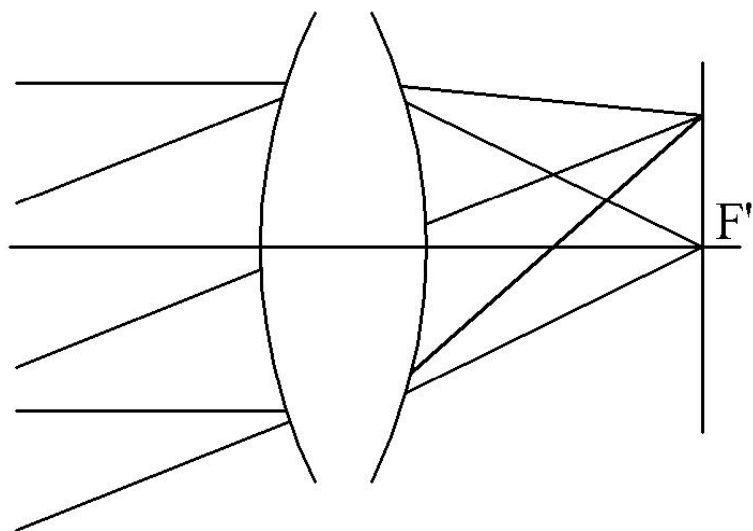
- 光心是透镜的光学中心；
- 主光轴又叫主轴，是指透镜通过光心的两个折射面曲率中心的连线及其延长线；
- 透镜除了主光轴外，还有副光轴，凡是其他通过光心的任一直线都叫做透镜的副光轴；
- 一个透镜的主光轴只有一个，而副光轴却有无数个

光学系统的基本概念

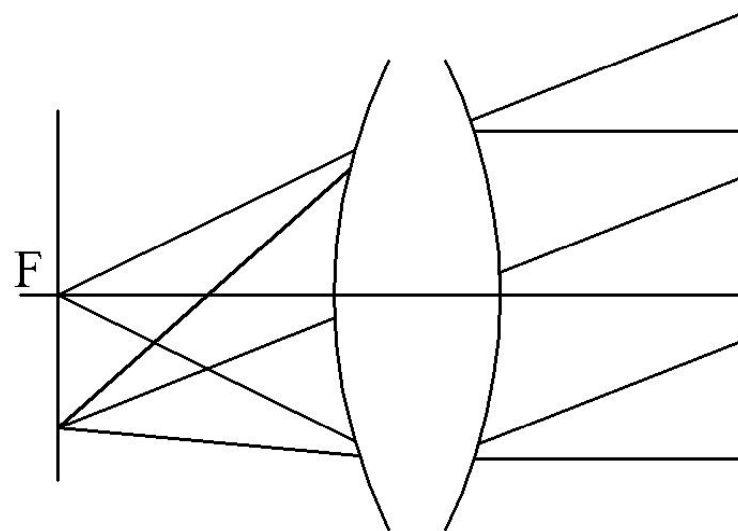
光心和主轴



焦点和焦平面



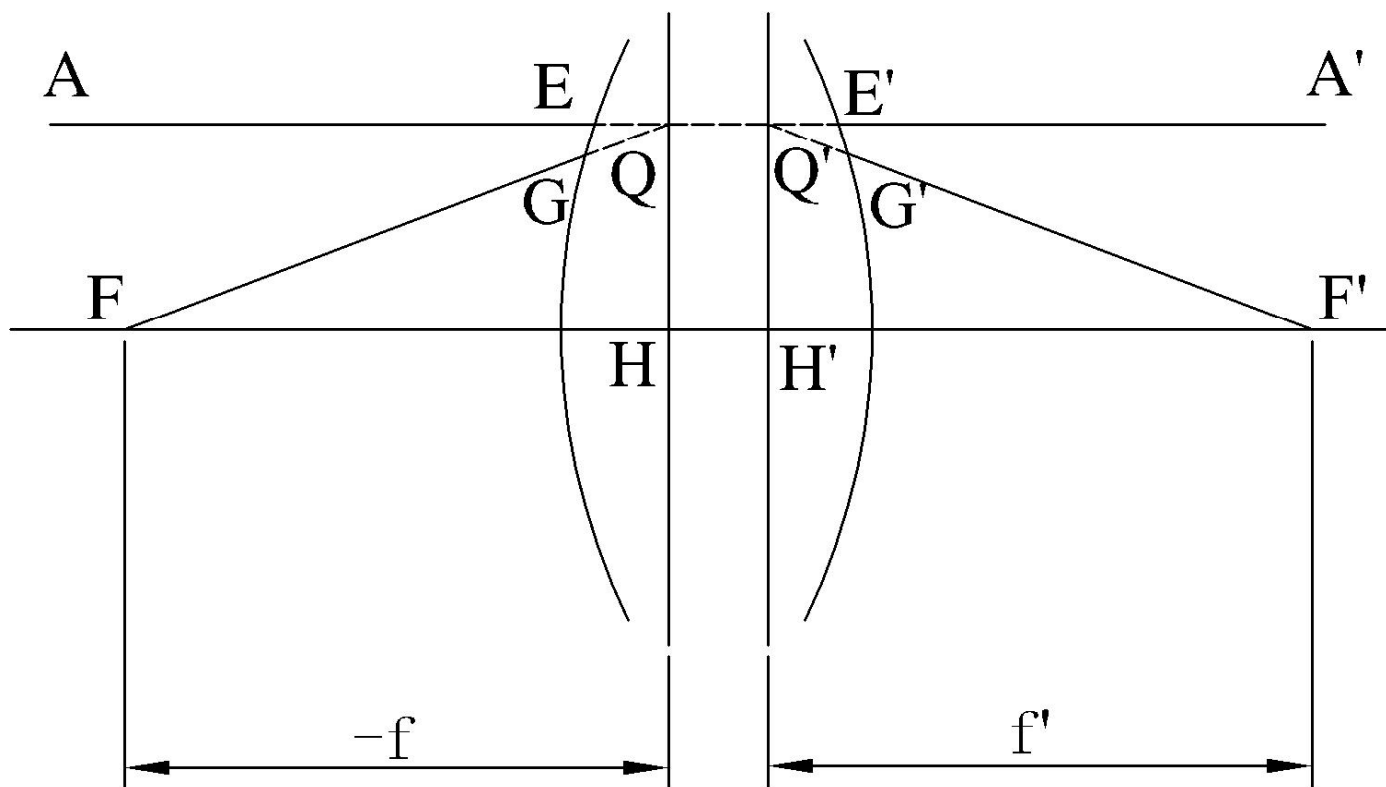
(a)



(b)

光学系统的基本概念

主点和主平面



共轭关系：在透镜成像过程中，物方的每一个点在像方都有相对应的一个点，每一条直线都有相对应的一条直线，每一个平面都有相对应的一个平面，物与像之间的这种相互关连的对应关系就是共轭关系。

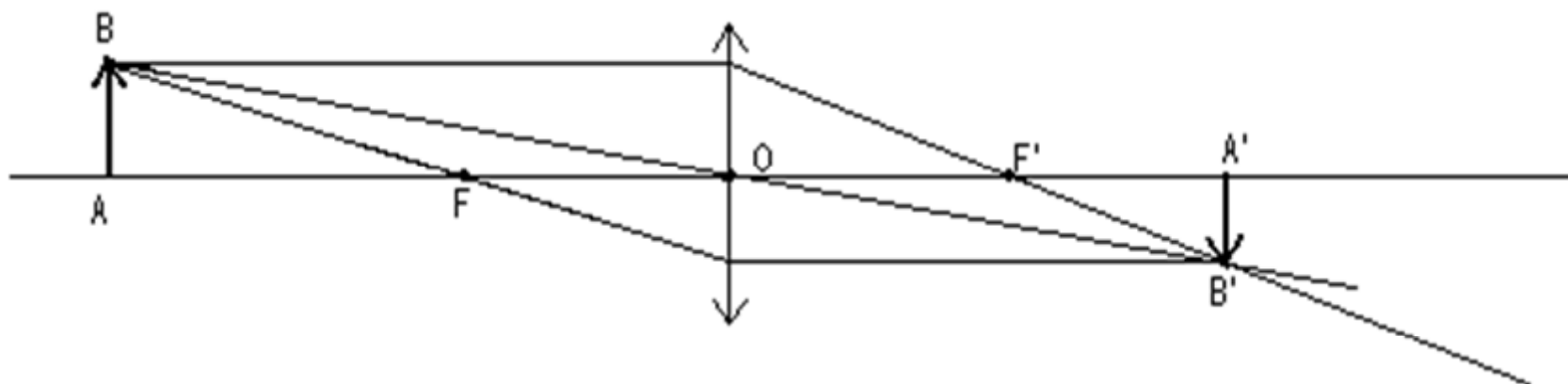


焦距、物距和像距

- 从物方主点H至物方主焦点F的距离为物方焦距 f 或称为前焦距。从像方主点H'至像方焦点F'的距离为像方焦距 f' 或称为后焦距。物方焦距和像方焦距统称为焦距。
- 透镜的物方主点到物平面的距离，称为物距。
- 透镜的像方主点到像平面的距离，称为像距。



薄透镜成像原理



薄透镜成像原理

物距L	像距L'	影像性质
$L = \infty$	$L' = f$	缩小的倒立实像,物与像分别位于镜头前后两侧
L由 ∞ 向2f值缩短	L'由f值向2f值延长	同上
$L = 2f$	$L' = 2f$	1:1 的倒立实像,物与像分别位于镜头前后两侧
L由2f值向f值缩短	L'由2f值向 ∞ 延长	放大的倒立实像,物与像分别位于镜头前后两侧
$L = f$	$L' = \infty$	同上(注:理论上成立,实际上并不成立)
$L < f$	$L' > f$	放大的倒立虚像,物与像位于镜头的同侧



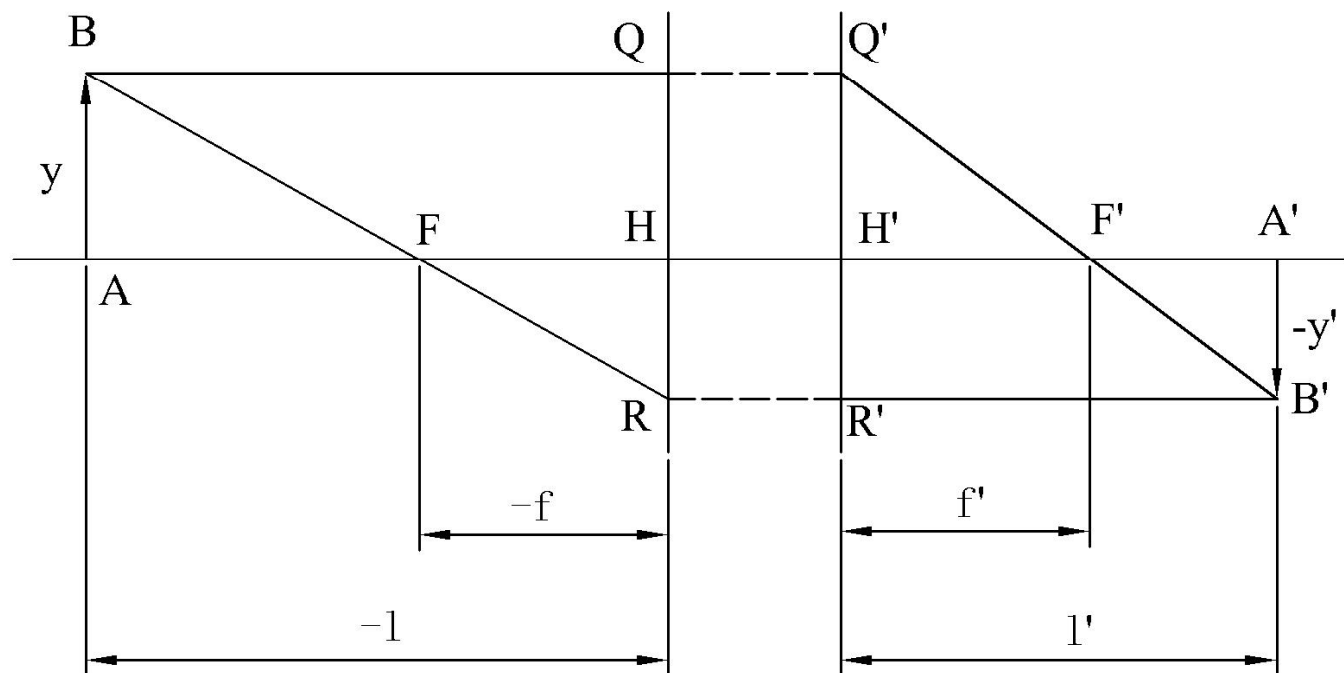
- **共轴光学系统：**若光学系统的全部界面都由球面和平面构成，且个球面的球心均位于同一直线上，则该光学系统称为共轴光学系统；
- 目前，绝大部分工业镜头都属于共轴光学系统。

共轴光学系统的光学特性

- 点成像为点（共轭点）；
- 线成像为线（共轭线）；
- 平面成像为平面（共轭面）；
- 凡垂直于光轴的物平面上各部位的影像放大率都相等，即像与物的几何形状完全相似。



物像关系和放大率公式



$$\frac{1}{l'} + \frac{1}{l} = \frac{1}{f'} \quad \beta = \frac{l'}{l}$$



光学系统的常用计算公式

- 物距: $L = f(1 + 1/\beta)$
- 像距: $L' = f(1 + \beta)$
- 焦距: $f = L / (1 + 1/\beta)$
- 物高: $y = y' / \beta = y' (L - f) / f$
- 像高: $y' = \beta y = y (L' - f) / f$



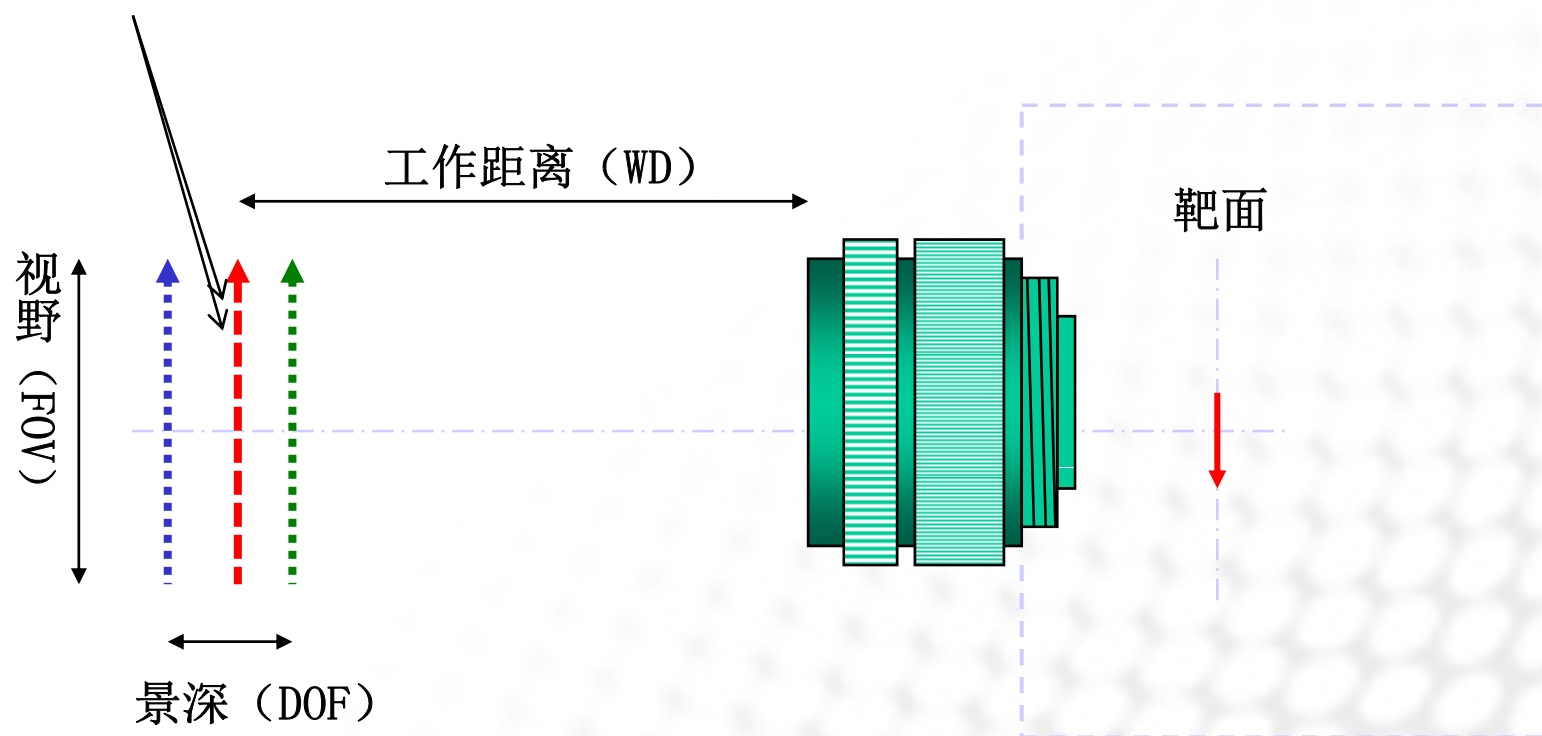
镜头的基本参数及相关知识



- 机器视觉镜头的光学系统一般是由若干组透镜组成。每组透镜可能是一个单透镜，也可能是由两片或两片以上单片透镜互相胶合而成。
- 机器视觉镜头都是厚透镜。但在大多数情况下，薄透镜的几何关系和参数计算，可以用来作为选择镜头的依据。

光学镜头的主要参数

分辨率 (Resolution)



光学镜头的主要参数

- **视野 (Field of view)**: 或者叫视场角, 图像采集设备所能够覆盖的范围, 即和靶面上的图像所对应的物平面的尺寸;
- **工作距离 (Working Distance)**: 一般指镜头前端到被测物体的距离, 小于最小工作距离系统一般不能清晰成像;
- **景深 (Depth Of Field)** 以镜头最佳聚焦时的WD为中心, 前后存在一个范围, 在此范围内镜头都可以清晰成像。



光学镜头的主要参数

- 相对孔径：是指该镜头的入射光孔直径（用 D 表示）与焦距（用 f 表示）之比，即 D/f ；
- 最大相对孔径：它往往标示在镜头上，如 $1:1.2$ 或 $f/1.2$ ；
- 光圈系数：相对孔径的倒数称为光圈系数，用 F 表示。



分辨率 (**Resolution**)

指在像面处镜头在单位毫米内能够分辨的黑白相间的条纹对数。



分辨率为 $1/2d$ ， d 为线宽。单位是“线对/毫米”
(lp/mm)

分辨率 (**Resolution**)

理想镜头的焦平面上能分辨清的条纹之间的间距为

$$\delta = 1.22\lambda \cdot F$$

其倒数即为理想镜头的分辨率， λ 为光的波长， F 为光圈系数值

$$N_L = 1/(1.22\lambda \cdot F)$$

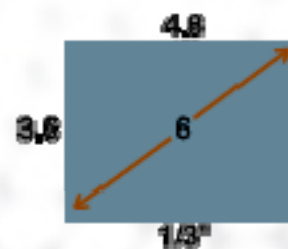
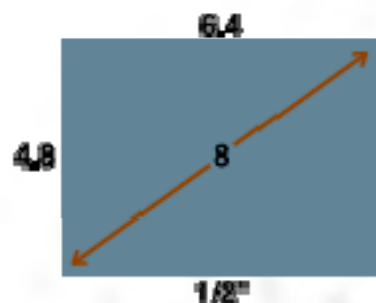
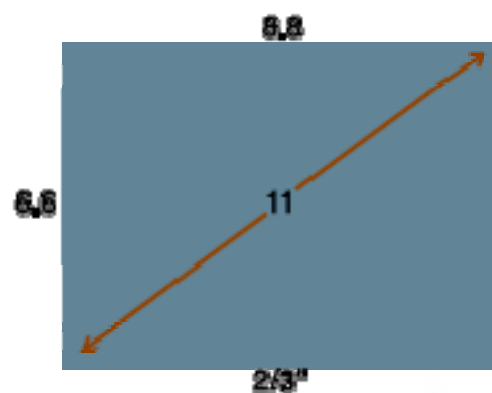
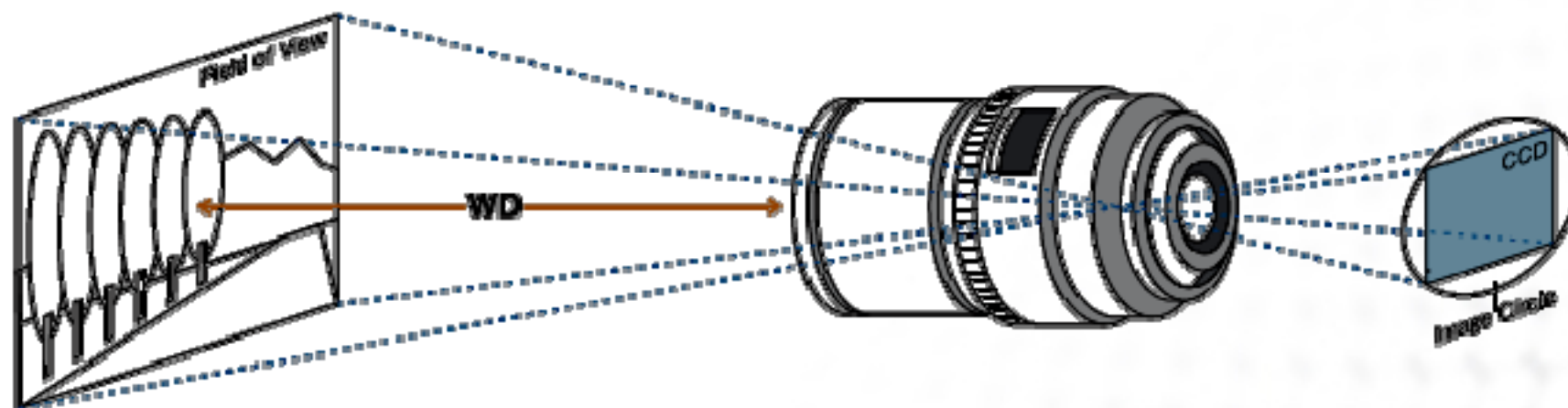


光学镜头的主要参数

- 大多数便宜的镜头分辨率在50lp/mm，相当于水平分辨率700个像素，用于对分辨率要求不高的视觉系统，和相当于VGA级以下分辨率的相机相配。
- 百万像素级以上的镜头，镜头分辨率可达100lp/mm及以上，和相当于水平分辨率达1280的相机相配。



光学镜头的主要参数



影响分辨率的主要因素：

➤ 镜头结构、材质、加工精度等。

其它因素：

➤ 镜头光圈越大，分辨率越高；

➤ 光波长度，波长越短分辨率越高；

➤ 同档次的固定焦距镜头比变焦镜头分辨率高；

➤ 短焦镜头一般边缘分辨率比中心低，长焦镜头一般中心比边缘分辨率低。

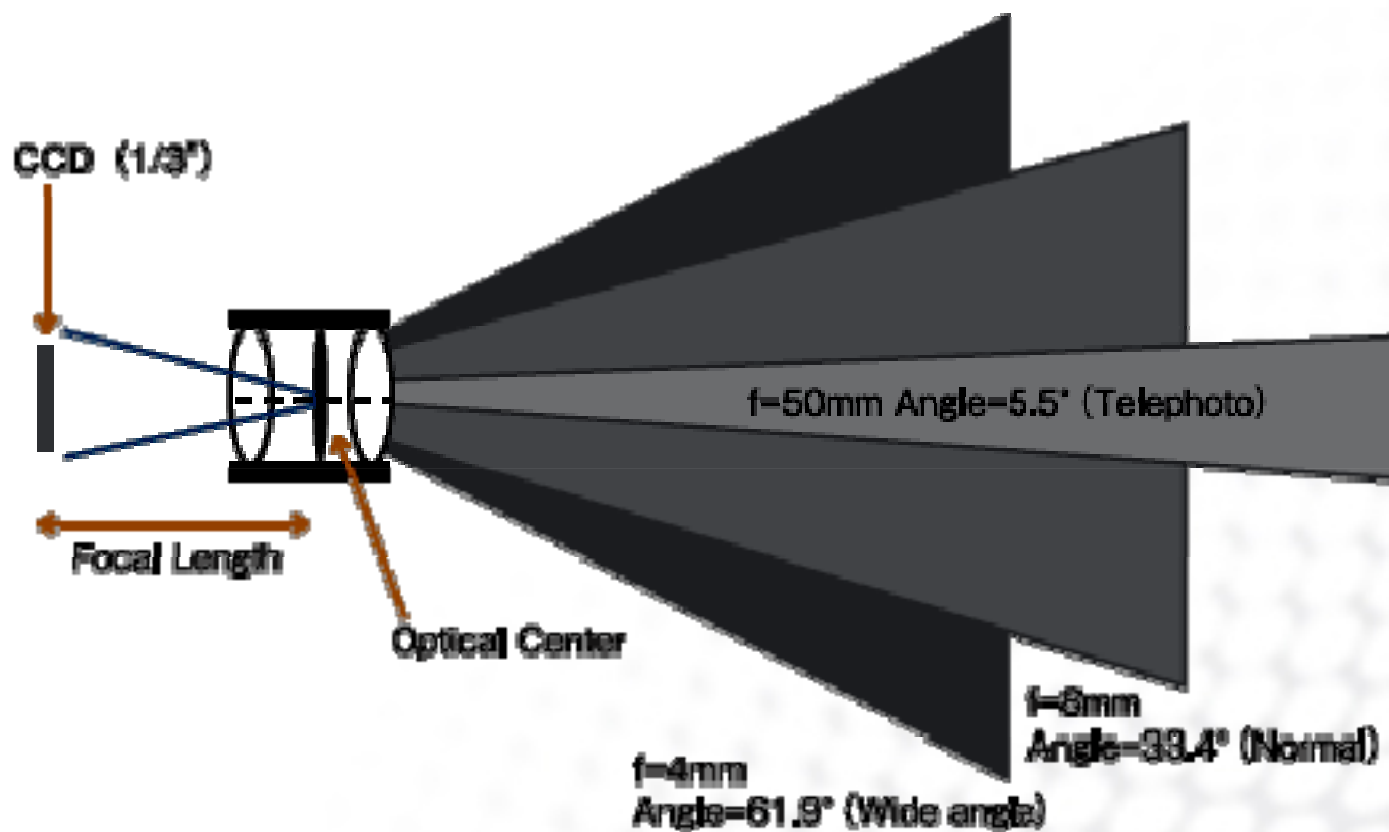
影响镜头景深的因素

景深和镜头的焦距、光圈、物距有关：

- 光圈越小，景深越大；
- 拍摄距离越大，景深越大；
- 焦距越短，景深越大。



镜头的焦距与视场角



镜头的畸变

- 被摄物平面内的主轴外直线，经光学系统成像后变为曲线，则此光学系统的成像误差称为畸变。
- 畸变像差只影响成像的几何形状，而不影响成像的清晰度。



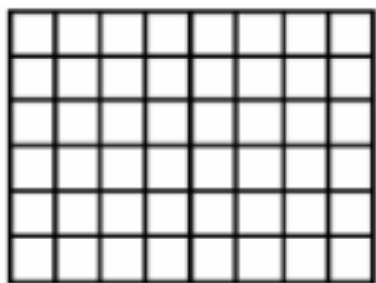
镜头的畸变

畸变定义为实际像高 y' 与理想像高 y_0 之差 $y' - y_0$ ，而在实际应用中经常将其与理想像高 y_0 之比的百分数来表示畸变，称为相对畸变，即

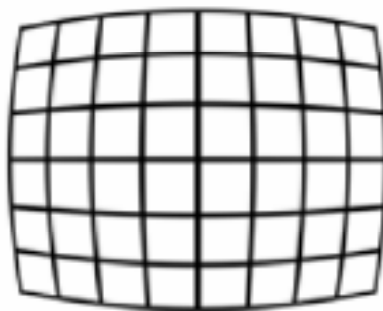
$$Dist = \frac{y' - y_0}{y_0} \times 100\%$$



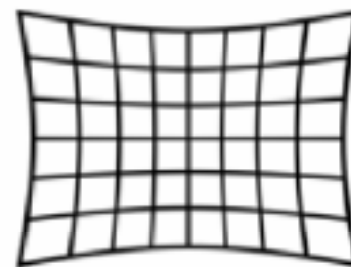
镜头的畸变



无畸变图像



Barrel 畸变



Pincushion 畸变

- 短焦距镜头一般表现为桶形失真，长焦距镜头一般表现为枕形失真。
- 人眼感觉不到小于2%的畸变。在进行精度较高的测量时，需要校正畸变！

- 定焦距镜头
- 变焦距镜头
- 特殊镜头
 - 微距镜头 (Macro)
 - 显微镜头 (Micro)
 - 远心镜头 (Telecentric)
 - 红外线镜头 (Infrared)
 - 紫外线镜头 (Ultraviolet)



镜头的分类

定焦距镜头按等效焦距分为：

- 鱼眼镜头：6-16mm
- 超广角镜头：17-21mm
- 广角镜头：24-35mm
- 标准镜头：45-75mm
- 长焦镜头：150-300mm
- 超长焦镜头：300mm以上



微距镜头（**Macro lens**）

按德国的工业标准，成像比例大于1:1的称为微距摄影范畴。这里我们所说的比率指像的大小与实物之间的比例关系，也就是镜头的放大率。35mm标准镜头最大拍摄比率为1:10。事实上放大率在1:1~1:4左右的都属微距镜头，而放大率达到10:1~200:1则属显微镜头。

微距镜头

- 使用专门的微距镜头，价格较高但成像质量可以得到保证；
- 带微距档的变焦镜头；
- 使用接圈，通过增加镜筒的长度来改变像距达到放大的目的，根据凸透镜成像原理，当像距增加到二倍焦距处，影像与实物等大。由于接圈使用时放在镜头后面，一是不够灵活，二是影响通光量。



显微镜头

- 体视显微镜
- 生物显微镜
- 金相显微镜



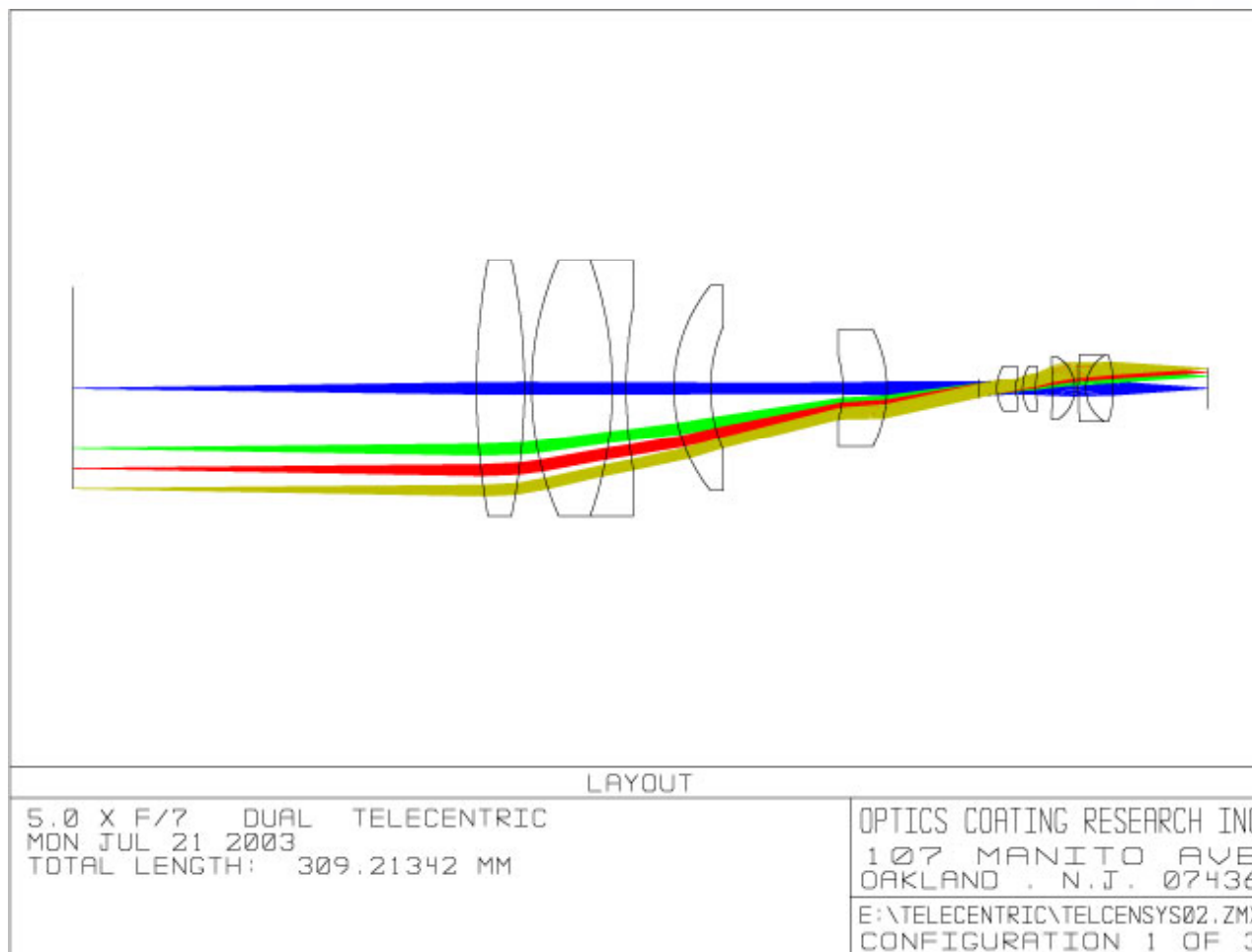
远心镜头

- **视差：** 对于同样的物体，当靠近眼睛时，会比远离眼睛时显得大一点。这个现象也同样出现在传统的光学系统中，即镜头的放大倍数是随着物距变化而变化的。
- **远心镜头**则纠正了传统镜头的误差，它可以在一定距离内，使所成的像的尺寸不会因为距离的变化而改变。

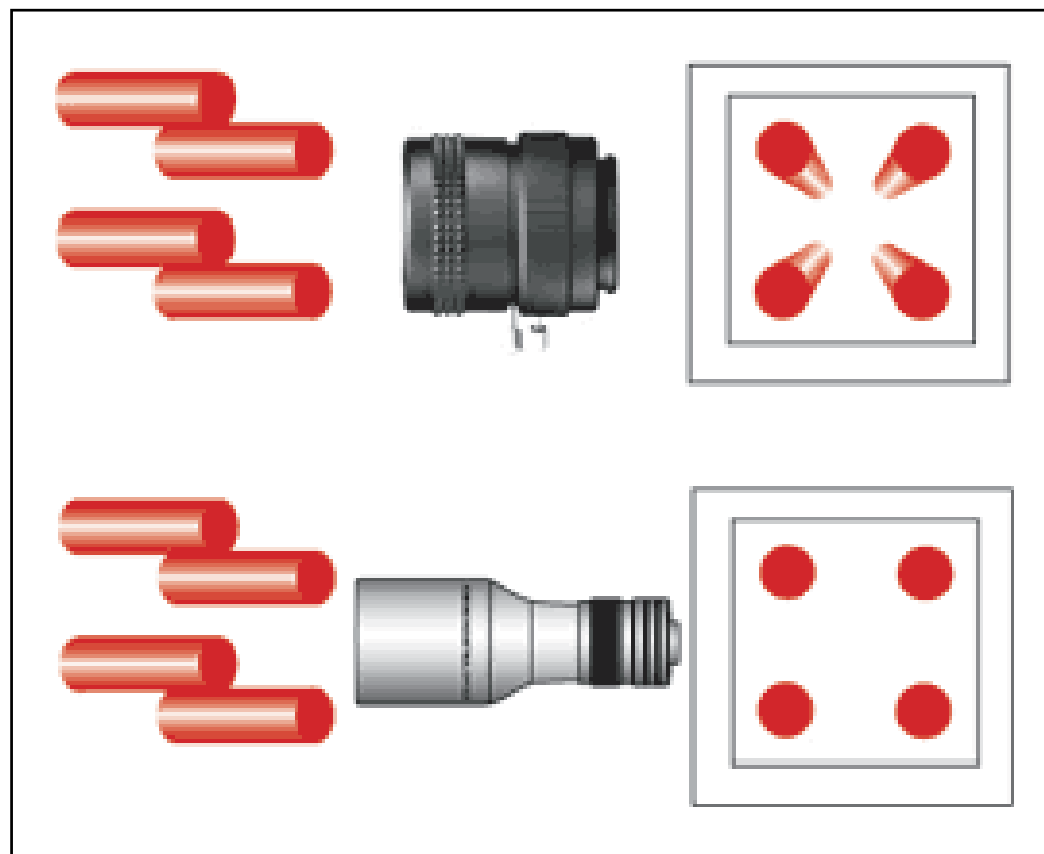


远心镜头

远心指的是一种光学的设计模式：系统的出瞳和入瞳的位置在无限远处。



远心镜头



镜头的接口类型

接口类型	法兰后截距 (mm)	卡口环直径 (mm)
C口	17.526	26.5
CS口	12.5	26.5
F口	46.5	47
M42	47.526	42

其中，法兰后截距（Flange Back Focal Length）是指相机接口的定位面到相机靶面的距离。



如何选择镜头



如何选择镜头

镜头的基本光学性能由焦距、相对孔径（光圈系数）和视场角（视野）这三个参数表征。因此，在选择镜头时，首先需要确定这三个参数，最主要是确定焦距，然后再考虑分辨率、景深、畸变、接口等其他因素。



如何选择镜头

选择镜头的基本步骤可以参考以下几条：

- 根据目标尺寸和测量精度，可以确定传感器尺寸和像素尺寸、放大倍率等；
- 根据系统整体尺寸和工作距离，结合放大倍率，可以大概估算出镜头的焦距。焦距、传感器尺寸确定以后，视场角也可以确定下来；
- 根据现场的照明条件确定光圈大小和工作波长；
- 最后考虑镜头畸变、景深、接口等其他要求。



选型示例：

被测物体 $100 \times 100\text{mm}$ ，精度要求 0.1mm ，相机距被测物体在 $200 \sim 400\text{mm}$ 之间，要求选择合适的相机和镜头。



如何选择镜头

分析如下：

- 被测物体是100x100mm的方形物体，而相机靶面通常为4：3的矩形，因此，为了将物体全部摄入靶面，应该以靶面的短边长度为参考来计算视场；
- 系统精度要求为0.1mm， $100/0.1=1000$ ，因此相机靶面短边的像素数要大于1000；
- 相机到物体的距离为200~400mm，考虑到镜头本身的尺寸，可以假定物体到镜头的距离为200~320mm，取中间值，则系统的物距为260mm；



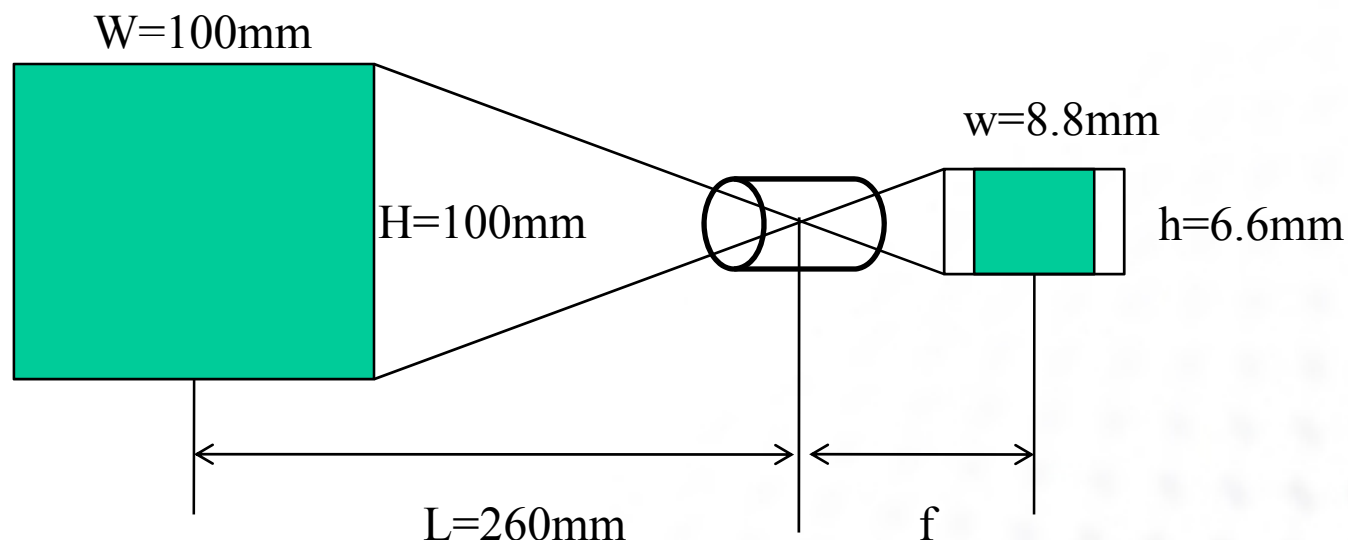
如何选择镜头

选型方案:

- 根据估算的像素数目，可选定大恒CCD相机SV1410FM靶面尺寸2/3英寸(8.8x6.6mm)，分辨率1392x1040，像元尺寸为6.45μm。镜头放大率为 $\beta=6.6/100=0.066$ ，可以达到的精度为：像素尺寸/放大率
 $=0.00645/0.066=0.098\text{mm}$ ，满足精度要求；
- 根据公式，镜头的焦距为
 $f = L/(1+1/\beta)=260/(1+1/0.066)=16.1\text{mm}$
- 则镜头可选择Computar M1614-MP，其光圈数从F1.4到F16。



如何选择镜头



另外一种近似计算方法（根据相似三角形公式）：

$$f/L = h/H \Rightarrow f = Lh/H = 260 \times 6.6 / 100 = 17.16\text{mm}$$

VS

$$f = L / (1 + 1/\beta) = Lh / (H + h) = 260 \times 6.6 / (100 + 6.6) = 16.1\text{mm}$$





中国大恒（集团）有限公司北京图像视觉技术分公司

谢谢

E-mail: huaxue@daheng-image.com

