

大话成像之 数字成像系统 32讲

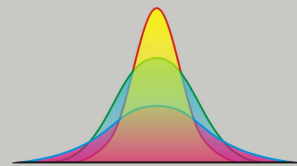
光学基础

Maver Jiang

imaging algorithm specialist

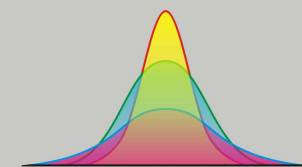
staff image quality engineer

maver.jiang@gmail.com



非光学工程师为什么要了解光学知识：

- 成像工业是从镜头开始的，小孔成像是人类发现光学的开始。
- 相机有不同类型的镜头：定焦，变焦，不同的光学指标。
- 自动对焦算法工程师要理解几何光学部分。
- 图像信号处理工程师对光学缺陷的理解。
- 图像质量工程师对光学有关特性的分析。
- Camera相关工程师必须了解基本光学概念，用准确的术语沟通。
- 这部分培训主要是介绍针对自动对焦应用相关的光学概念



光学部分的重要概念：

reflection：

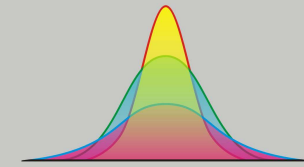
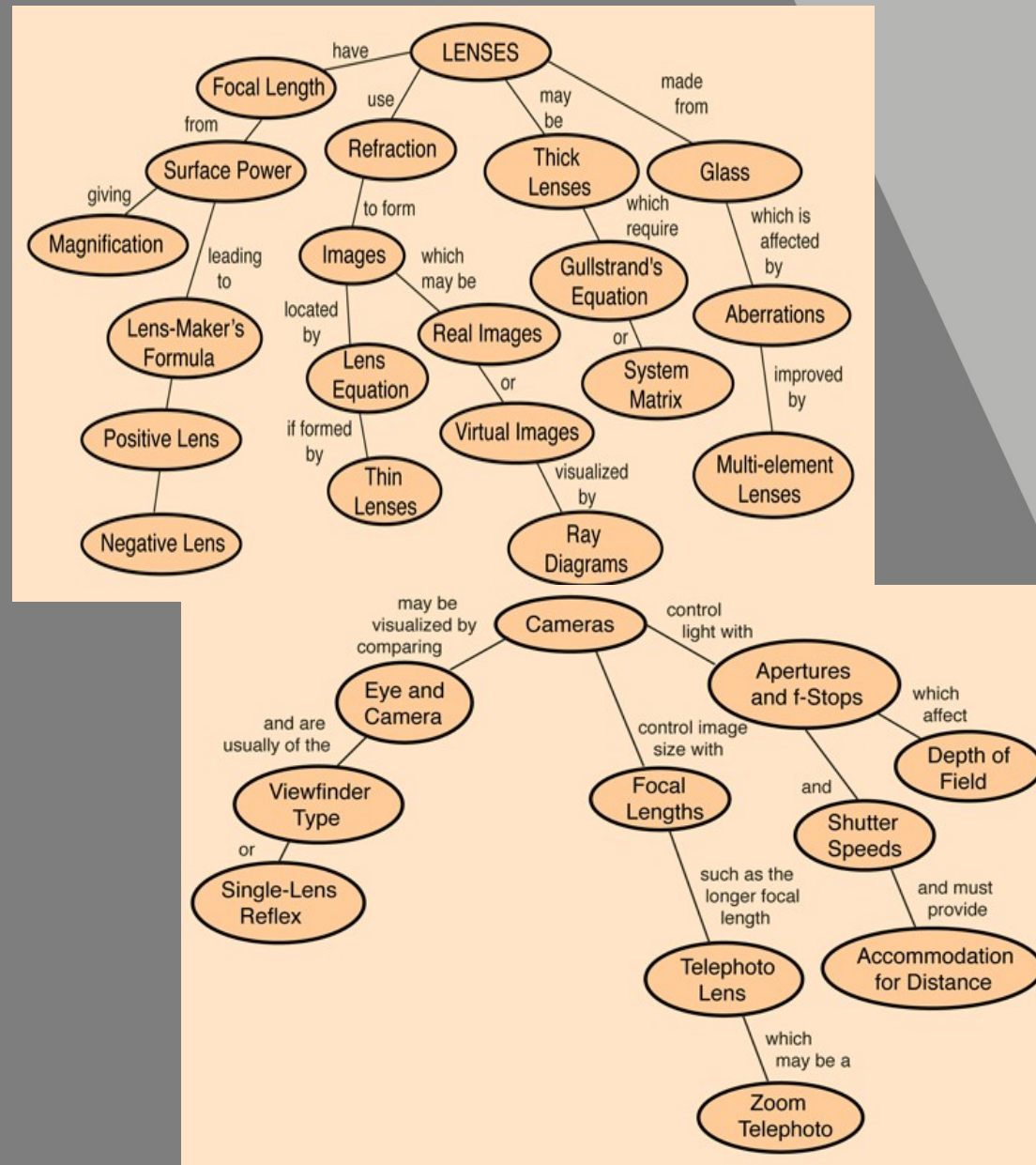
refraction：

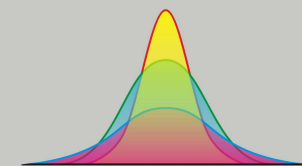
Aperture,

F-number, focal length

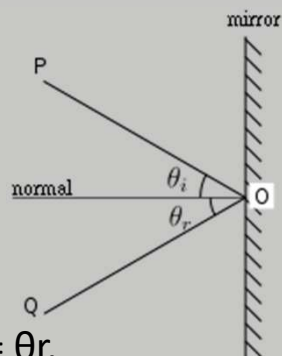
CoC, Depth of field

Tele, macro, Zoom





反射reflection：



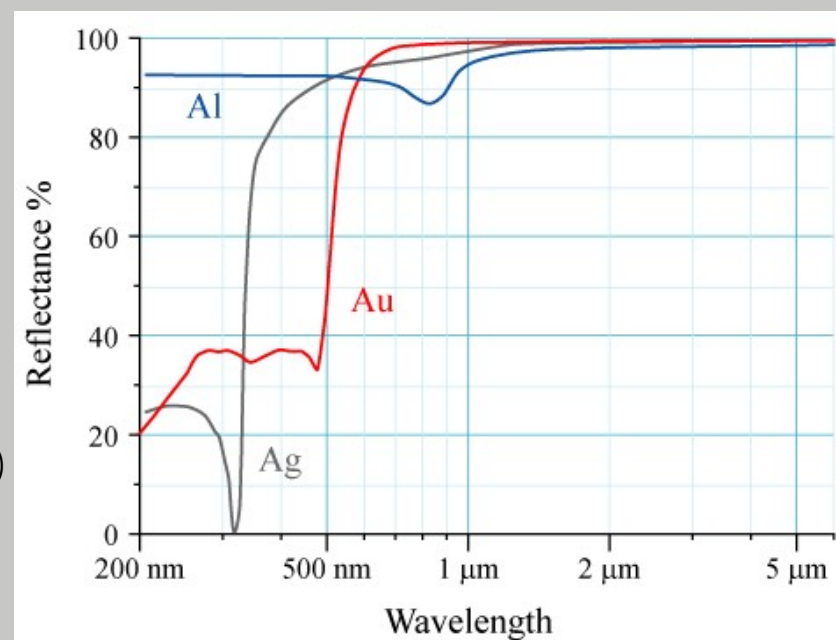
$\theta_i = \theta_r$.

反射角 (θ_r) 等於入射角 (θ_i)

与入射光的波长无关

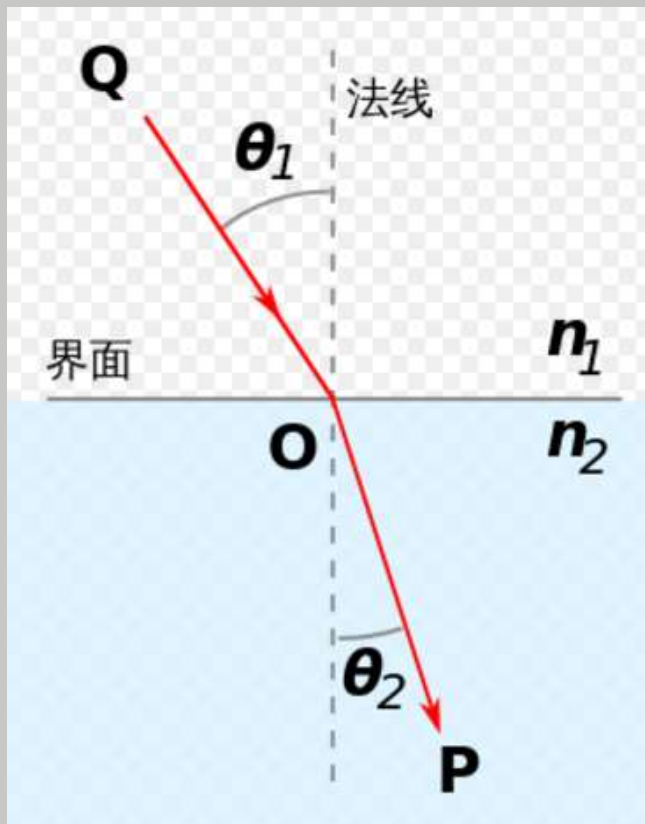
入射光 反射光 法线处于同一平面

反射率：入射光功率与反射光功率之比（非几何光学概念）



<https://zh.wikipedia.org/wiki/反射>

折射refraction：



$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

n ：折射率

λ ：波长（传播介质中的）

v ：速度（传播介质中的）

c ：光速

$$n = \frac{c}{v}$$

折射率 n 就是把光线偏折的能力

n 越大，光线速度衰减越多，折射角度越大

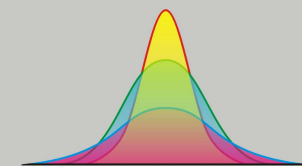
n 也受到湿度，压力，温度，波长的一定影响

$$\lambda_{glass} = \frac{n_{air}}{n_{glass}} \cdot \lambda_{air} \approx \frac{\lambda_{air}}{n_{glass}}$$

光从空气到玻璃的折射，波长会被压缩

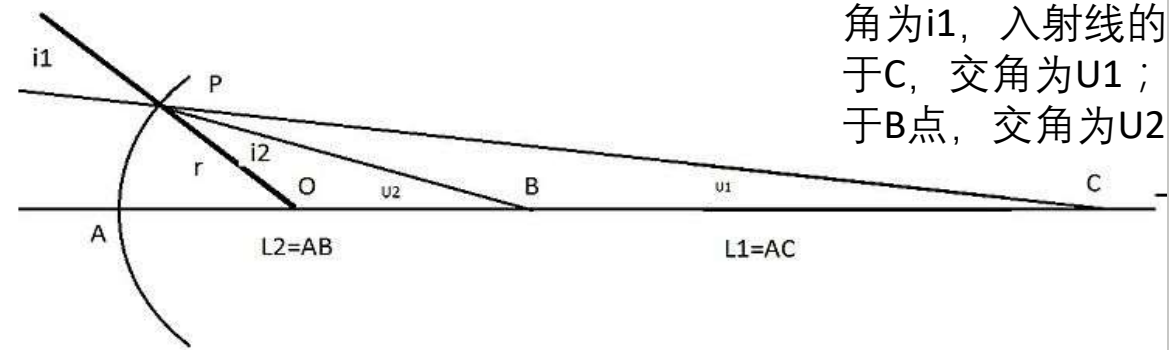
常用折射率：
真空 1.0000
空气 1.0003
水 1.33
玻璃 1.5 - 1.8

https://en.wikipedia.org/wiki/Snell%27s_law

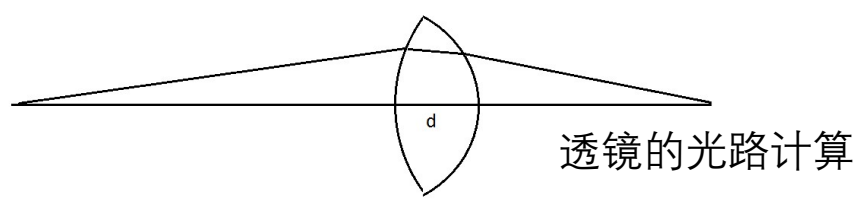


球面折射sphere refraction :

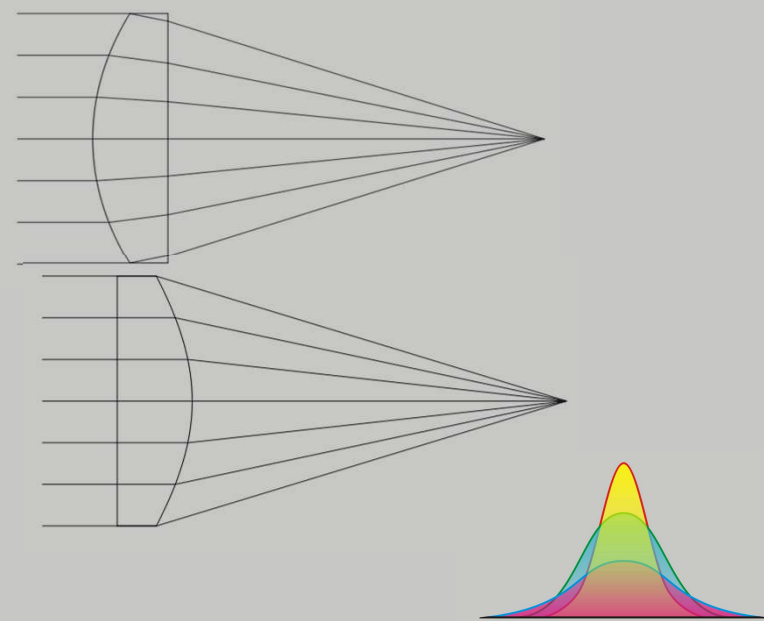
图中PA 是一个球面，球心为O，半径为r。光轴为AOBC 入射光线在P点与球面相交，入射线与球面的垂直线交角为 i_1 ，入射线的延长线与光轴相交于C，交角为 U_1 ；折射线与光轴相交于B点，交角为 U_2 。



Refraction of a spherical surface



最简聚焦系统



<https://zh.wikipedia.org/wiki/球面折射>

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

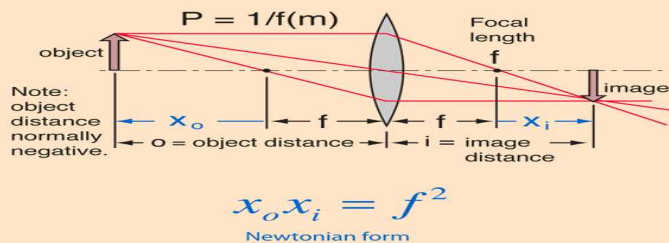
$$xx' = f^2$$

$$m = -\frac{s'}{s}$$

$$m = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f}$$

Thin-Lens Equation: Newtonian Form

In the Newtonian form of the lens equation, the distances from the focal length points to the object and image are used rather than the distances from the lens.

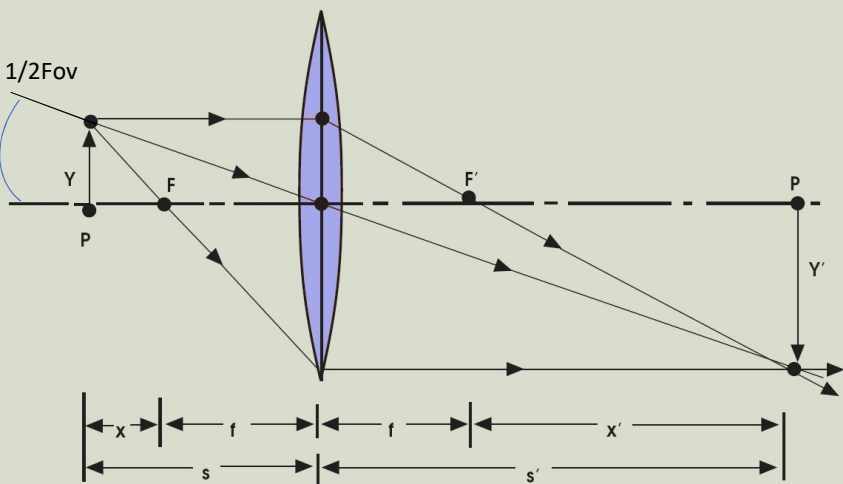


Focal plane : 对焦平面

Optical axis: 光轴

Optical center: 光心

Focal length (f): 焦距



s:物距

s': 像距

x: 物距减焦距 ($s \approx x$)

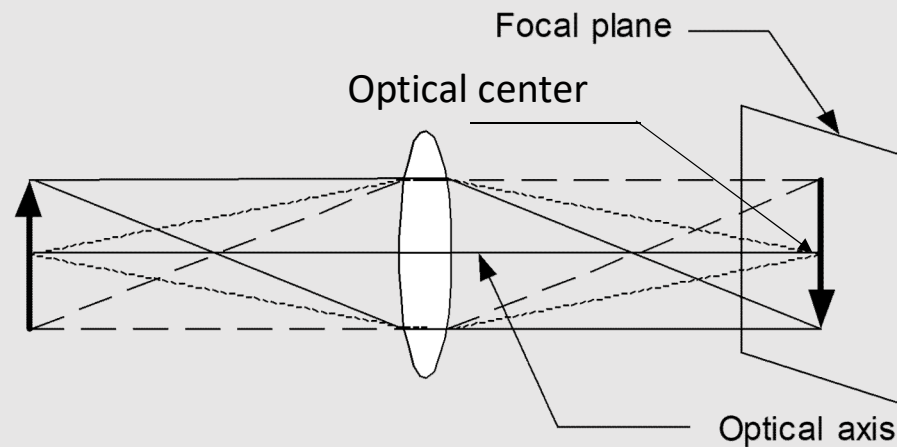
x': 像距减焦距

F: 焦距

m: 线性放大率

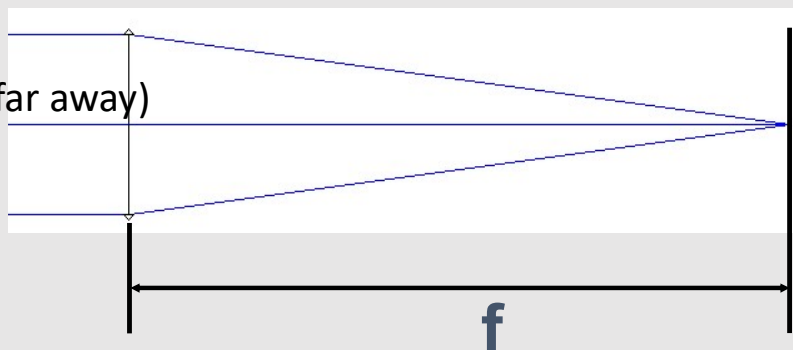
Y: 物高

Y': 像高

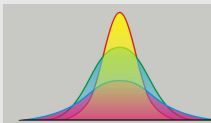


← Object (far away)

Light →



Image



牛顿公式在自动对焦中的一个应用： 计算对焦马达（actuator）的冲程范围

已知：

f （焦距）： **4 mm**

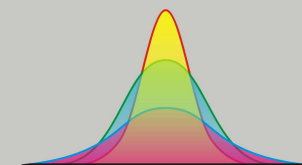
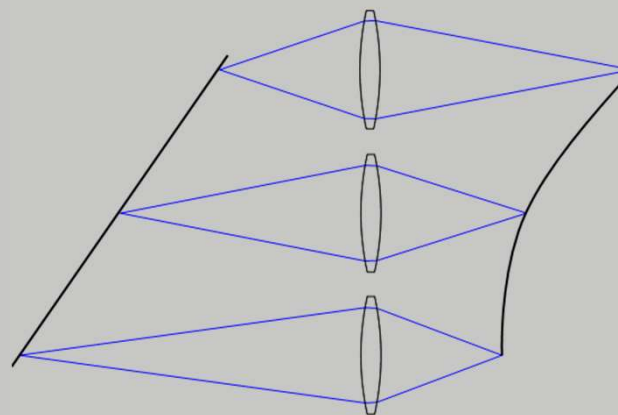
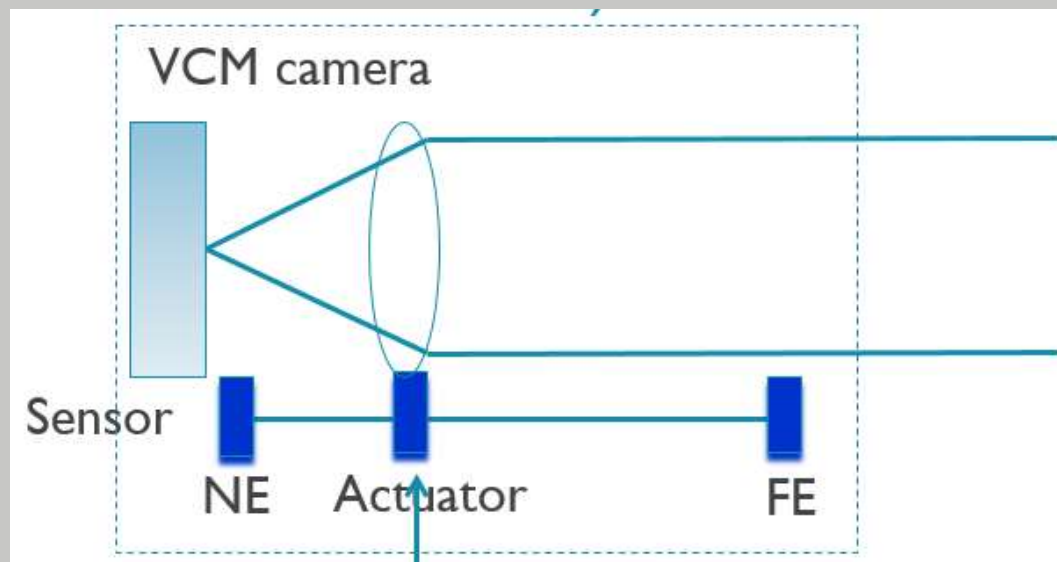
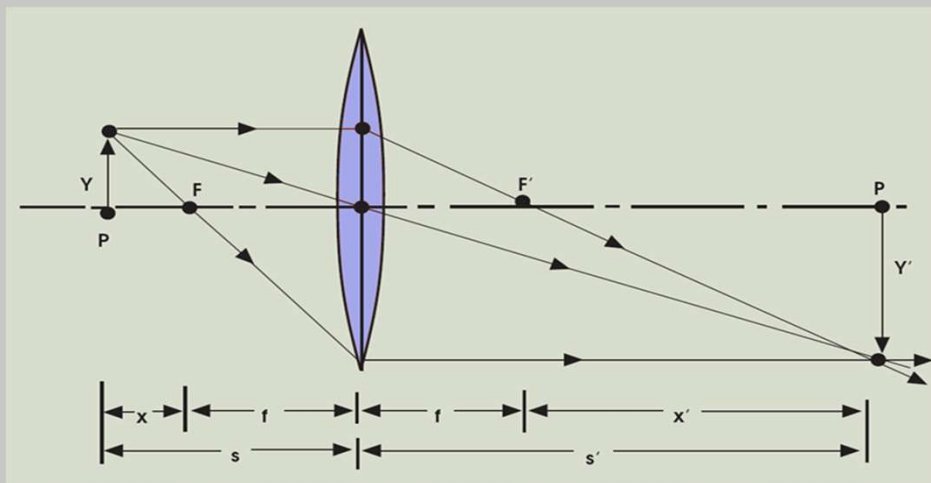
X （物距）： Infinity to ~ 10 cm

求：

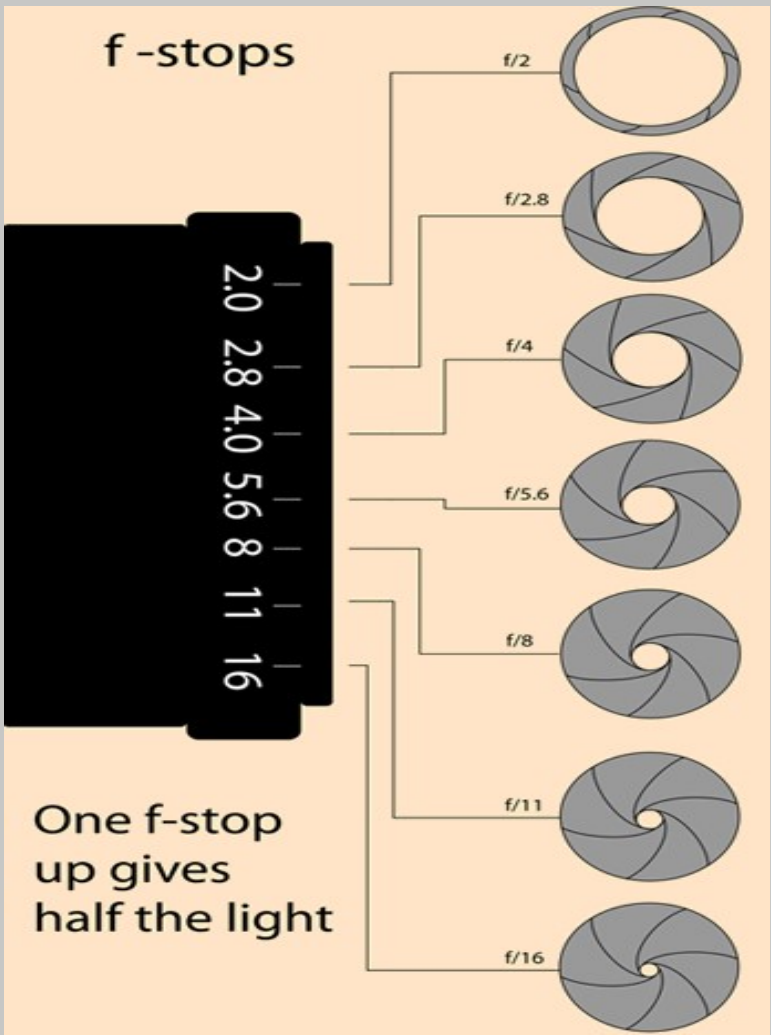
x' （对焦点移动范围） = 马达冲程

$x' = 0$ ，当物距在Infinity时

$x' = f^2 / x = (4 \text{ mm})^2 / (100 \text{ mm}) = \mathbf{0.16 \text{ mm}}$

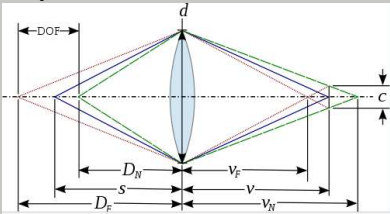


aperture 光圈 depth of field 景深



$$N = \frac{f}{D} = \frac{\text{focal length}}{\text{Diameter of aperture}}$$

<https://en.wikipedia.org/wiki/Aperture>

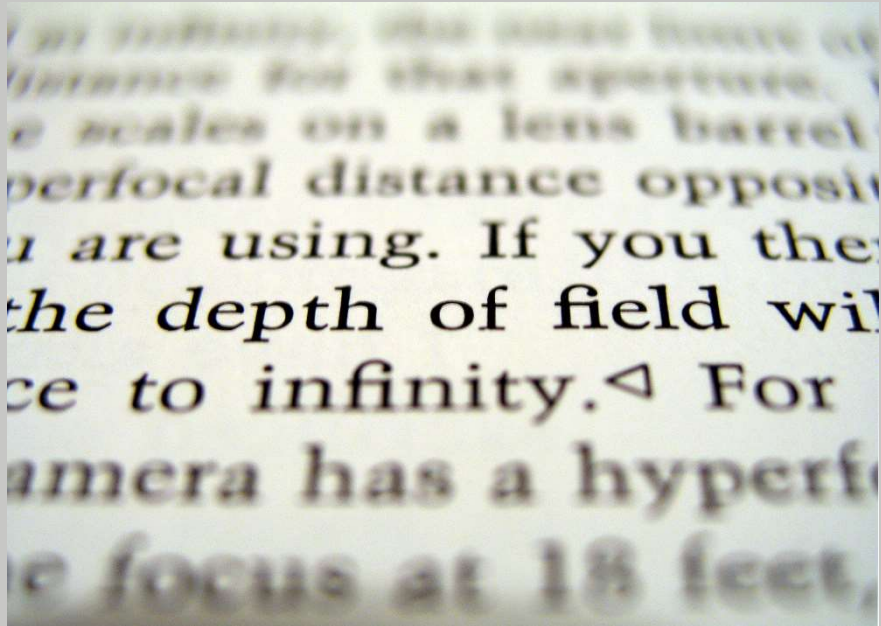


$$DOF \approx \frac{2Ncf^2s^2}{f^4 - N^2c^2s^2}$$

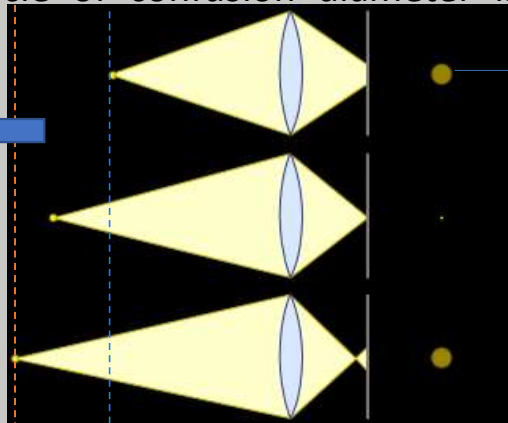
<https://zh.wikibooks.org/wiki/Maple/准确的景深公式>

DOF in CoC=c

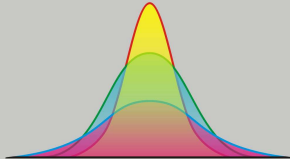
https://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field



[https://en.wikipedia.org/wiki/Circle_of_confusion#Circle of confusion diameter limit in photography](https://en.wikipedia.org/wiki/Circle_of_confusion#Circle_of_confusion_diameter_limit_in_photography)



CoC=c



https://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field#DOF_formulae

zoom

Optical zoom = Change the lens focal length

Digital zoom = Crop and upscale

Zoom factor

= Longest focal length / shortest focal length

= Wide FOV / Tele FOV

FOV = Field of View

A **simple** zoom has two moving lens groups

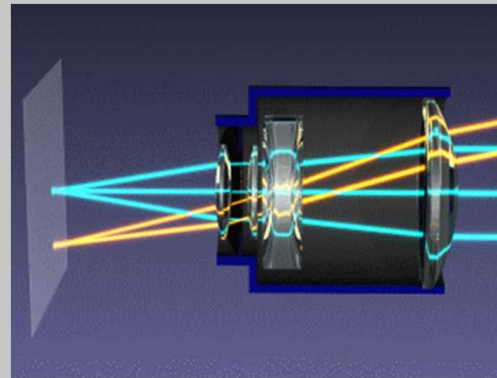
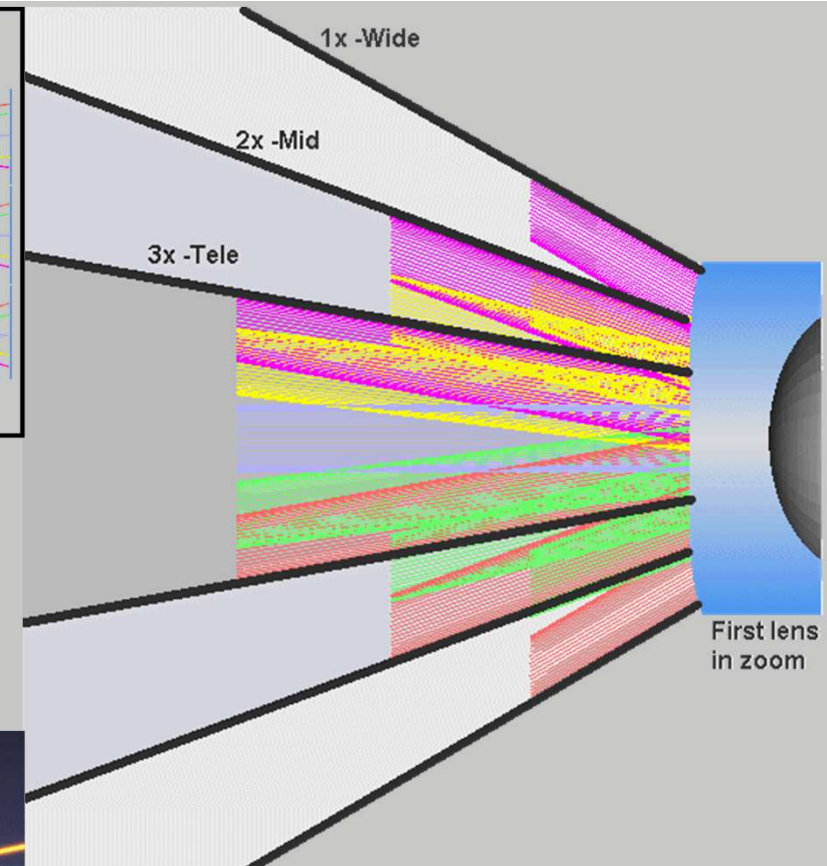
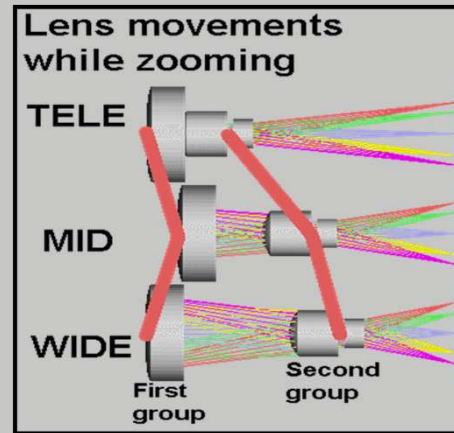
Zooming:

Mostly second group (also longest travel range)

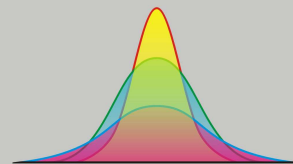
Partially first group

Focusing:

Either first group or both groups together

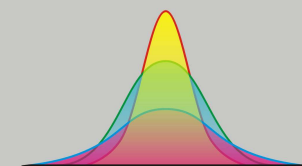


https://en.wikipedia.org/wiki/Zoom_lens



THANKS

本课程由 Maver Jiang提供



大话成像之 数字成像系统 32 讲

内容目录

1. 数字成像系统介绍
2. CMOS image sensor基础
3. 光学基础
4. 颜色科学基础
5. ISP 信号处理基础
6. 3A概述
7. 黑电平与线性化
8. Green Imbalance
9. 坏点消除
10. Vignetting与Color shading
11. SNR 与Raw Denoise
12. Dynamic Range与Tone Mapping
13. MTF与Demosaic
14. 色彩空间与色彩重建
15. Color Correction Matrix与3D LUT
16. Gamma与对比度增强
17. Sharpening
18. Color Space Conversion
19. 空域去噪
20. 时域去噪
21. Color Aberrance Correction and Depurple
22. ISP 的统计信息
23. 自动曝光
24. 自动白平衡
25. 自动对焦
26. 闪光灯
27. HDR
28. Exif 和DNG
29. Encoder
30. 图像防抖
31. 图像质量评价工具与方法
32. 画质调优

