



机器视觉与图像处理

第2讲 图像的获取 Image Formation

汪凯巍
2019-03-05

部分资料取自互联网，版权归原作者所有

图像的获取很重要



0	3	2	5	4	7	6	9	8
3	0	1	2	3	4	5	6	7
2	1	0	3	2	5	4	7	6
5	2	3	0	1	2	3	4	5
4	3	2	1	0	3	2	5	4
7	4	5	2	3	0	1	2	3
6	5	4	3	2	1	0	3	2
9	6	7	4	5	2	3	0	1
8	7	6	5	4	3	2	1	0

人眼看到的 计算机“看到”的
Garbage in, garbage out!

作为算法处理的“原材料”，原始数据至关重要！

本节内容

- 人类视觉
- 机器视觉像感器
- 光源与照明
- 成像镜头

人类视觉

人类的视觉世界

□ **视觉系统**是最重要的知觉系统，人类接收的外界信息，80%以上来自视觉。

□ **人类的视觉功能**

感觉器官：眼睛(双眼)

刺激：光子

波长范围：380-780nm

亮度范围： $10^{-6} \sim 10^8$ cd/m²

基本功能：明暗分辨、空间分辨、时间分辨等

高级功能：形状图形视觉与图像识别、立体视觉、颜色视觉、运动视觉等

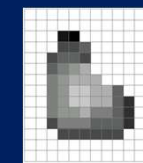
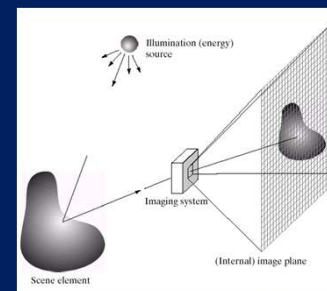
人类视觉的基本功能

- **明视觉**：亮度范围 $1 \sim 10^8$ cd/m²；
- **暗视觉**： $10^{-6} \sim 1$ cd/m²；
- 两者之间为**间视觉**
- **空间分辨能力**：分开明视距离处0.1mm的两点/线
正常眼视力：小数视力1.0，对数视力5.0
- **时间分辨能力**：视觉暂留时间约40 ms；

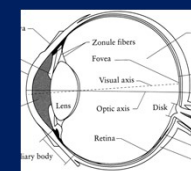
视觉识别的一般过程：轮廓->形状->图形->图像



图像的生成 (Image Formation)



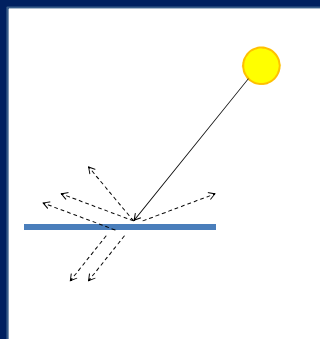
数字相机



人眼

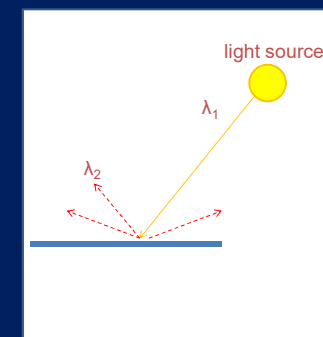
光子的传播行为

- ☐ Absorption (吸收)
- ☐ Diffusion (散射)
- ☐ Reflection (反射)
- ☐ Transparency (透过)
- ☐ Refraction (折射)
- ☐ Fluorescence (荧光)
- ☐ Subsurface scattering (内表面散射)
- ☐ Phosphorescence (磷光)



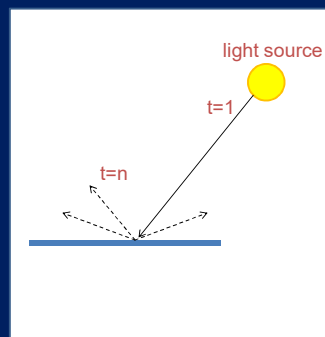
光子的传播行为

- Absorption
- Diffusion
- Reflection
- Transparency
- Refraction
- **Fluorescence**
- Subsurface scattering
- Phosphorescence



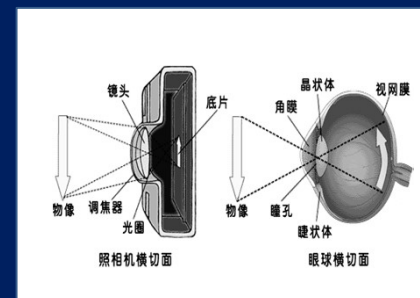
光子的传播行为

- Absorption
- Diffusion
- Reflection
- Transparency
- Refraction
- Fluorescence
- Subsurface scattering
- **Phosphorescence**



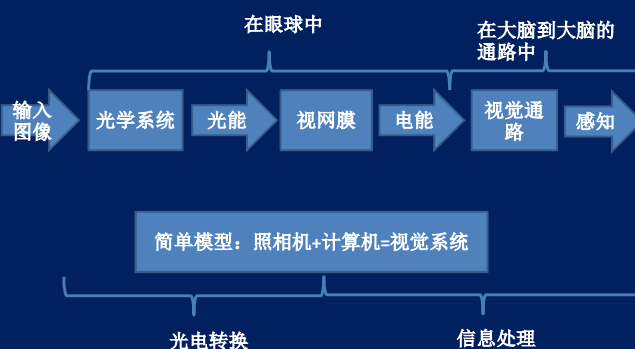
人类视觉系统

- 解剖学角度：视觉系统是由眼球和视神经系统组成的
- 物理结构角度：视觉系统是由光学系统、视网膜、视觉通路组成



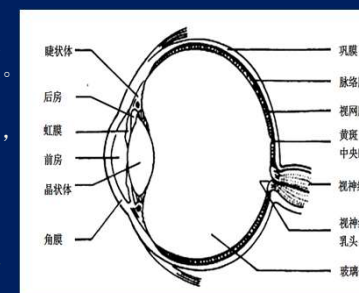
人类眼球光学系统和相机的对比

简单的视觉系统模型



视觉系统的基本构造

- 眼球：相当复杂、精细的光学仪器。将外界的三维景物投影到二维视网膜上。
- 眼底视网膜：起到光电传感器的作用，吸收光电子，输出生物电流
- 视觉通路：将生物电信号传送到大脑皮层
- 大脑皮层视觉区：工作机制非常复杂，还未被探究清楚



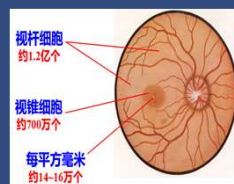
眼球包括屈光系统和感光系统
屈光系统：角膜、房水、晶状体和玻璃体
感光系统：视网膜

视细胞

视细胞：视锥细胞（Cone），视杆细胞（Rod）

- 视锥细胞，主要分布在黄斑（中央凹）区域；
- 视杆细胞，主要分布在视网膜周边区；

视细胞	形态	数量	分布	视色素	功能	主管视觉
视锥细胞	锥状	700万	黄斑区	紫蓝质	分辨颜色细节	明视觉
视杆细胞	杆状	1.2亿	周边区	紫红质	不能...光敏感运动	暗视觉



两类视觉细胞

Cones（视锥细胞）：
cone-shaped
less sensitive
operate in high light
color vision

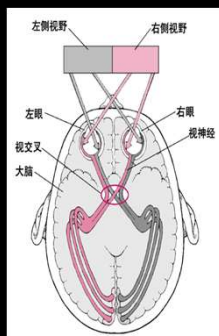
Rods（视杆细胞）：
rod-shaped
highly sensitive
operate at night
gray-scale vision



© Stephen E. Palmer, 2002

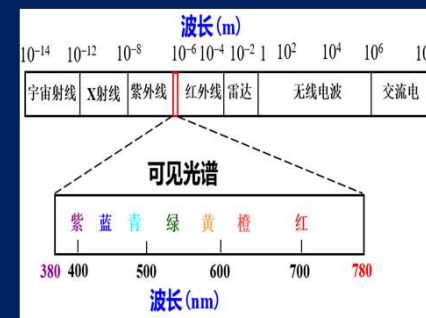
视觉通路

- 视觉信息在经过视网膜初步处理之后，聚汇在第三级视觉神经元——**视神经节细胞**
- 后者发出的轴突在视网膜的视乳头聚合，形成视神经，通向中枢。
- 大脑：视觉信息最终汇合于初级视觉皮层



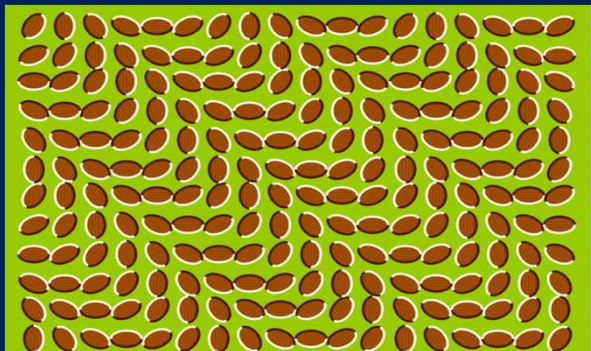
人类视觉的高级功能——颜色视觉

- 可见光波长范围：380-780nm
- 颜色辨认：人眼可分辨光谱色，也可分辨它们的中间色；
- 光波长改变1~2nm，人眼即可分辨(但不可量化)。
- 整个光谱中，**只有三种颜色**，不论光强如何，其颜色似乎始终保持不变，它们是波长570nm的黄绿色，505nm的绿色，以及473nm的蓝色。



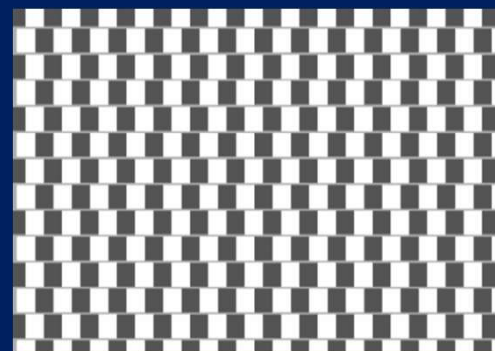
整个电磁波谱及人眼的可见光谱

视错觉



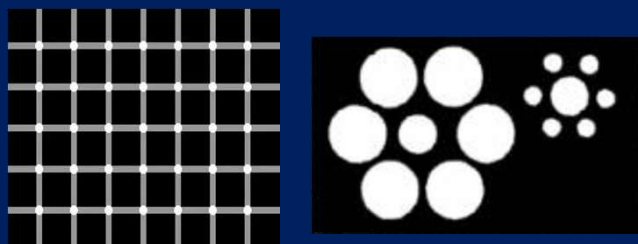
蠕动错觉

视错觉



平行线错觉

视错觉



若隐若现错觉

大中见小

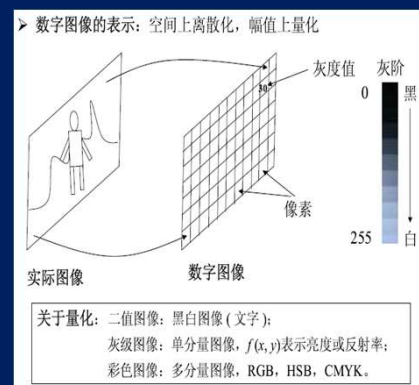
基于经验主义或不当的参照形成的错误的判断和感知

数字图像的获取

- 数字图像的获取
- 光学系统、光电转换和图像数字化

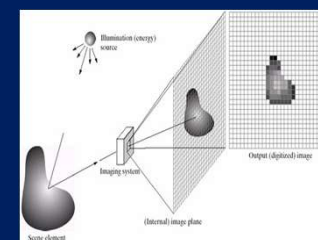
图像的数字化

- 采样和量化
- 空间上采样离散化
- 像素幅值上量化（一般量化到0-255）



数字图像获取

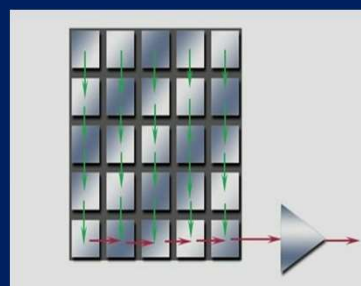
- 物景通过光学系统成像在像面上，由传感器得到像面上的光强信息
- 现代成像器件：**CCD**和**CMOS**，之前是胶片



数字图像的获取过程

光电转换器件——CCD

- 电荷耦合器件CCD (Charge Coupled Device)
- 将光能转换为电荷，并将转换得到的电荷进行储存。
- 线阵列式，扫描仪
- 面阵列式，数码相机

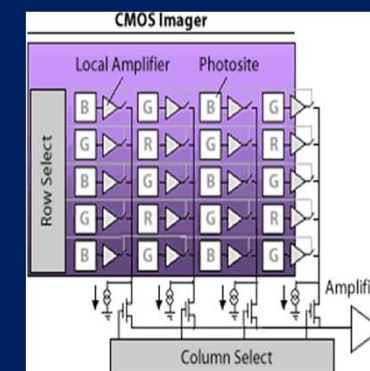


CCD芯片工作方式：

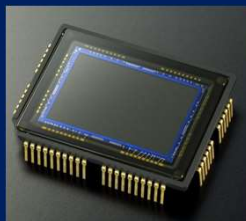
- 光电转换装置把入射到每一个感光像素的光子转化为相应的电荷
- 电荷被储存起来
- 电荷有序地转移出感光区域
- 电荷经放大器转化为电压量

光电转换器件——CMOS

- CMOS金属-氧化物-半导体 (Metal-Oxide-Semiconductor)：
- CMOS传感器的构造如同一个存储器，每个成像点包含一个光电二极管、一个电荷/电压转换单元、一个重新设置和选择晶体管，以及一个放大器
- 可以通过简单的X-Y寻址技术读取信号。



CCD图像探测器



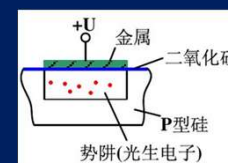
Charge-Coupled Device 电荷耦合装置

现在用的很多所谓CCD相机，已经不是电荷耦合装置了，而是CMOS相机。

CCD (charge-coupled device) 像传感器的工作原理

基本单元：MOS光敏元

– MOS光敏元的结构是以硅Si半导体作为衬底，在其上部生长一层二氧化硅，然后再蒸涂具有一定形状的金属层作为电极。由此可见，它是由金属(M)、氧化物(O)和半导体(S)三层组成。



MOS光敏元结构

加压时：
具有吸引电子的趋势，
形成电子“势阱”。
电压越高，阱越深。

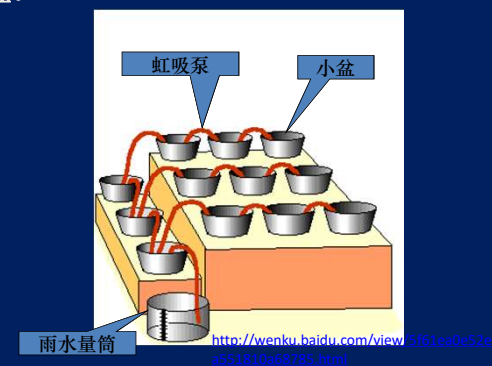
30

电荷耦合原理

- 电压愈高则“势阱”越深
 - 电压一定则势阱深度随电荷量的增加而线性下降。
- CCD由成千上万个MOS光敏元组成
 - 有光照时不同的光敏元所受光照不同，势阱产生的电荷也不同。
 - 若能将各光敏元电荷读出来，即可反映所拍摄的“图像”。
 - 如何才能读出来呢？

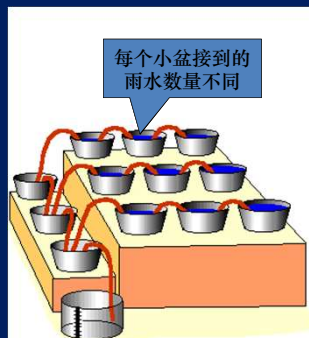
CCD的工作过程类比说明

下面通过类比说明 CCD 收集、转移和测量电荷的过程。



CCD的工作过程类比说明

类比中，雨滴表示光子；
收集的雨水表示CCD探测的电荷；
小盆表示像元，小盆的深度表示每个像元可以容纳多少电荷；
虹吸泵表示CCD的移位寄存器；
雨水量筒表示CCD的输出放大器。

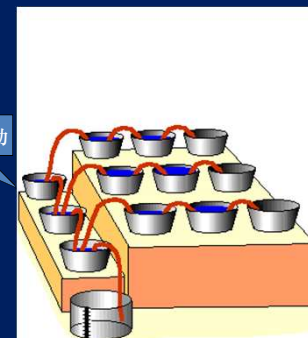


CCD的工作过程类比说明

为了测量每个小盆中的雨水（雨停以后），虹吸泵将每个小盆中的雨水向雨水量筒转移。

先将雨水向左移动

首先，最左边一行接雨水的小盆将所接的雨水通过虹吸泵转移到与雨水量筒排成一行的小盆（读出寄存器）中。

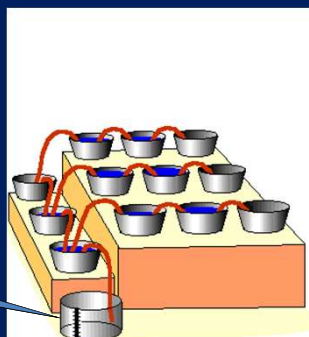


CCD的工作过程类比说明

- 然后将最靠近量筒小盆中的雨水通过虹吸泵导入量筒中测量它的数量。
- 每次测量完成以后，都要将量筒倒空，准备下一次测量。

图示的状态是一次测量后的状态。

倒空量筒

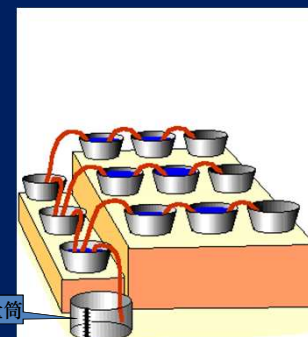


CCD的工作过程类比说明

又一次测量结束。

<http://wenku.baidu.com/view/5f61ea0e52ea551810a68785.html>

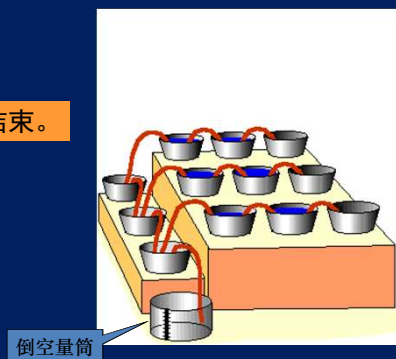
倒空量筒



CCD的工作过程类比说明

一行电荷测量结束。

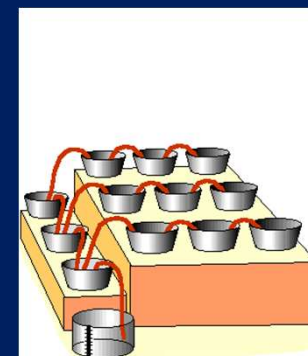
<http://wenku.baidu.com/view/5f61ea0e52ea551810a68785.html>



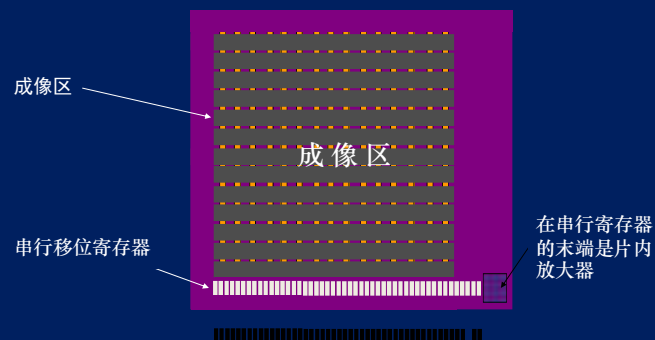
CCD的工作过程类比说明

- 重复上述转移—测量的过程，直到所有小盆中雨水的数量都测量完毕。
- 准备好进行下一次开始接雨水（曝光）。

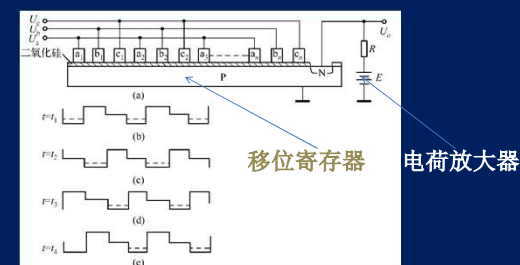
实际电荷转移和测量过程是怎样的呢？



电荷的转移和输出



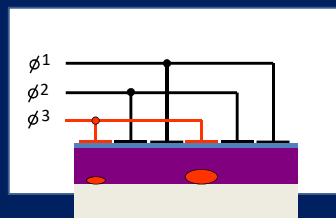
• MOS结构的移位寄存器和电荷放大器



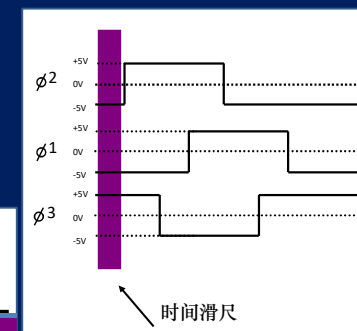
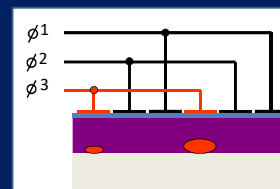
40

电荷的转移

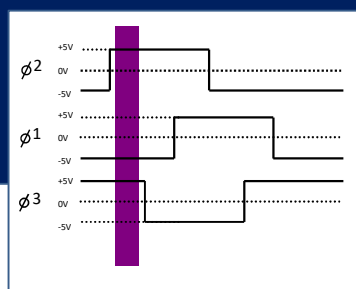
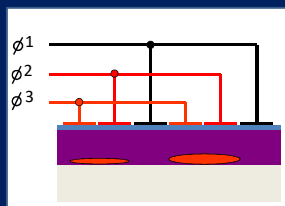
- 电荷包的转移是通过变换CCD电极电压来完成的。
- 标注红色的电极为高电势，标注黑色的电极为低电势。



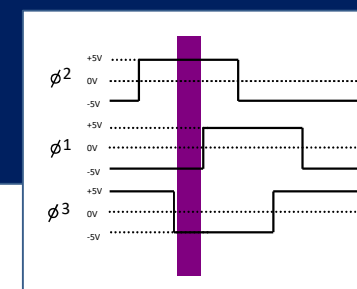
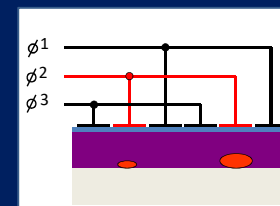
电荷的转移



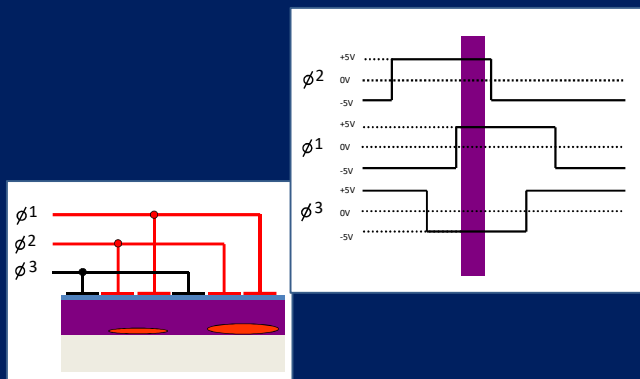
电荷的转移



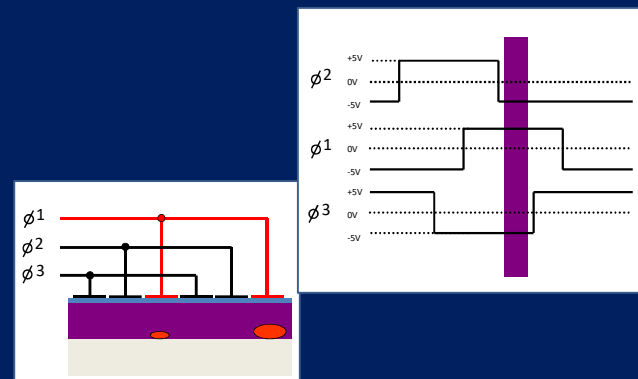
电荷的转移



电荷的转移

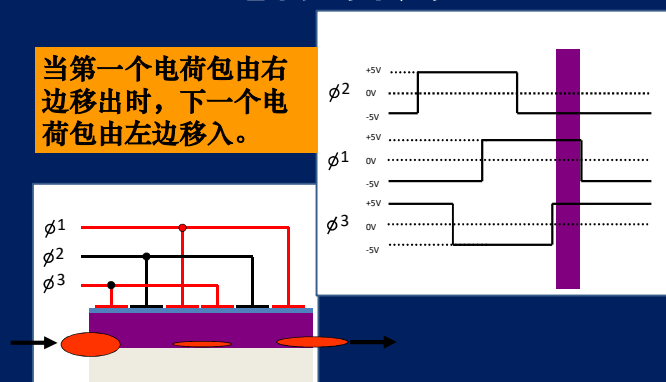


电荷的转移

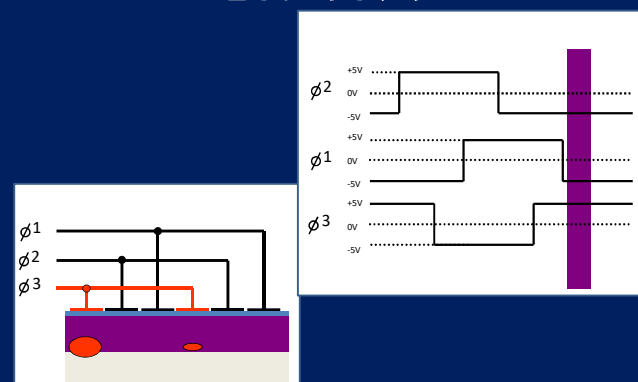


电荷的转移

当第一个电荷包由右边移出时，下一个电荷包由左边移入。



电荷的转移

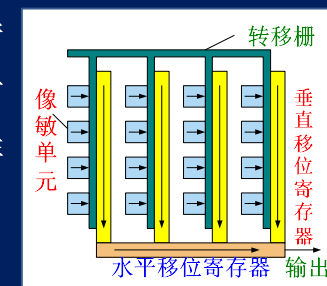


电荷耦合原理

- 因上述过程是一个电荷逐个电极传递并放大的过程，采用这种原理的器件被称为电荷耦合装置 (Charge Coupled Device), 即 CCD。

面阵CCD工作原理

1. 像敏单元呈二维排列
2. 每列像敏单元被遮光的垂直移位寄存器隔开
3. 像敏单元与垂直移位寄存器之间有转移控制栅
4. 像敏单元中信号电荷在转移栅电压控制下转移到垂直移位寄存器
5. 逐行转移到水平移位寄存器中
6. 由水平移位寄存器快速输出
7. 复合得到视频信号



50

光伏探测器的特性

- 选择图像探测器的依据有哪些？为什么有的好几十万，有的几十块？



十几块RMB



约60万RMB

<http://www.highspeedimaging.com.cn/>

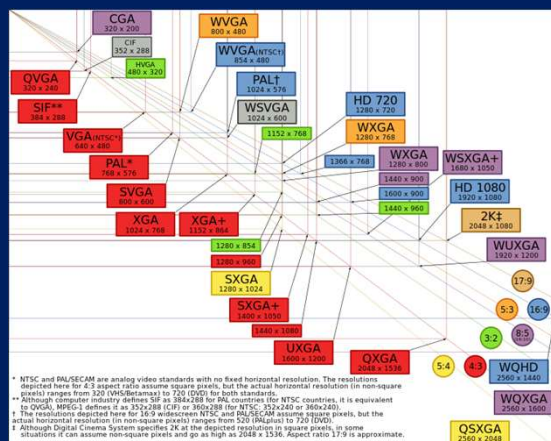
像传感器的特性

- ①像素分辨率
- ②芯片尺寸
- ③噪声
- ④光谱响应范围
- ⑤帧频
- ⑥黑白/彩色：

52

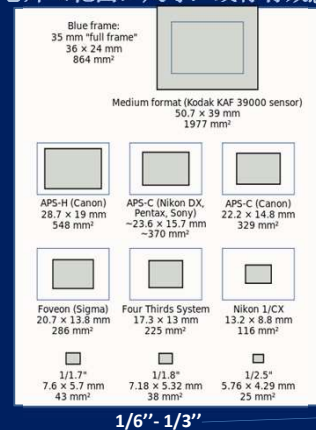
像感器特性

像素：通常像素数越高，价格越贵，但...



像感器特性

芯片（靶面）尺寸，或称有效感光面积：通常尺寸越大价格越高
对应的相机级别



高端单反

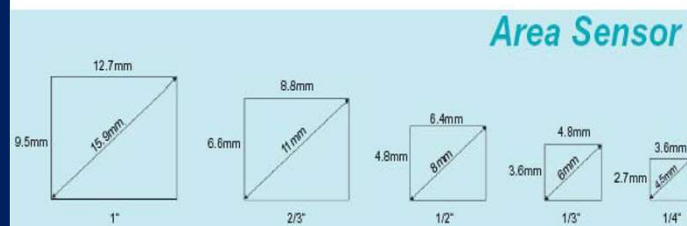
中低端单反

高端数码相机

中低端数码相机
手机、网络摄像头

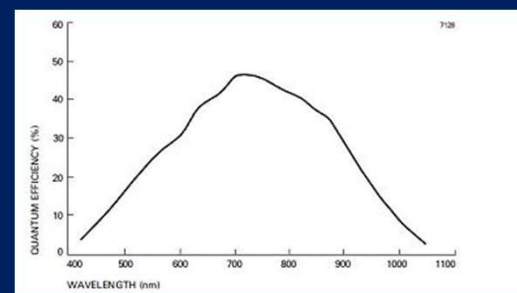
图像探测器特性

特殊之处：1inch = 16mm ≠ 25.4mm



图像探测器特性

光谱响应范围：常见可见光（硅材料探测器）比较便宜



硅图像探测器的光谱响应

<http://www.camyu.net/2010/2009/cy-ab752a/>

<http://www.camyu.net/2010/2009/gyd-sg4096b12f4a/>

图像探测器特性

读取速度（帧频）：速度越快，价格越贵

普通相机：每秒数帧

高速相机：每秒近万帧



图像分辨率有关，降低分辨率可提高帧频

图像探测器特性

读出噪声：越小，价格越高

普通相机：数百e

科学级相机：1-2e

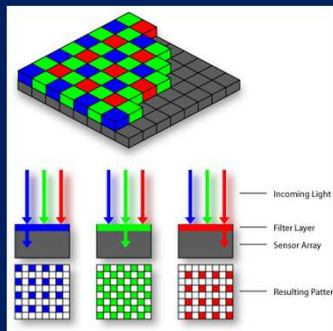


<http://www.andor.com/scientific-cameras/neo-and-zyla-scmos-cameras>

黑白相机或彩色相机？

基于前述工艺的CCD本质上为黑白CCD，它无法确定入射到光敏元上的各个颜色的光的组成。

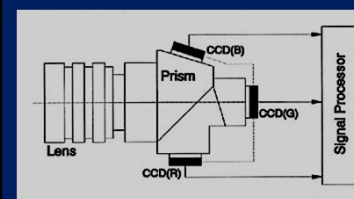
若想获取被摄物体的色彩信息，需要使用彩色CCD。一般的彩色数码相机是在黑白CCD上覆盖拜尔滤镜（Bayer Filter）



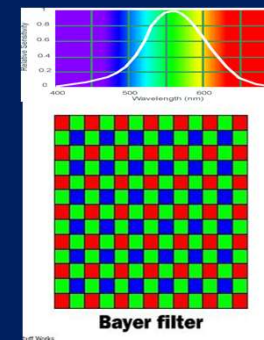
用拜尔滤镜产生彩色图像

彩色图像

- 像感器原理上并不直接测量彩色
- 3-chip vs. 1-chip: quality vs. cost
- Why more green?



Why 3 colors?



<http://www.cooldictionary.com/words/Bayer-filter.wikipedia>

Slide by Steve Seltz

光源选型及使用方法

光源与照明

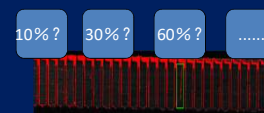
- 如果允许人工照明（大多数生产线上的机器视觉），任务会简单很多
 - 合适的照明决定了合适的图像
 - 合适的图像容易带来正确的结果

光源与照明

- 光源的重要性
- 光源的需求分析（用途）
- 光源颜色
- 照射方式（结构与角度）
- 打光过程中常用的辅助手段

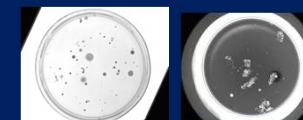
光源的重要性

- 不同光源将直接影响图像的成像质量和效果



- 不同的应用场合，光源的重要性体现（比重）

选择合适的光源，可突显良好的图像效果（特征点），可以简化算法，提高检测精度、保证检测系统的稳定性。

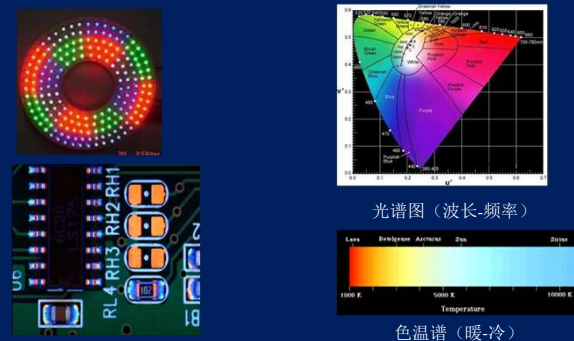


由上图可见不同的光源产生了完全不同的成像效果，从而也导致不同的检测算法（优选及简化）。

光源的需求分析-根据任务选照明

- ◆任务：检测（识别）、测量、定位、条形码、字符识别、三维扫描等。
- ◆性能要求：如检测内容、检测速度、检测精度等。
- ◆其他配合：如相机、镜头、软件、安装方式等

光源颜色



常用光源颜色有：白色、蓝色、红色、绿色、红外、紫外。

LED光源型号参数示意图

代码	颜色	波长 (nm)
R	红	625
G	绿	517
B	蓝	465
V	紫	400
W	白	色温: 5500k
IR	红外	850
UV	紫外	385

光源颜色

白色光源 (W)

白色光源通常用色温来界定, 色温高的颜色偏蓝色(冷色, 色温>5000K), 色温低的颜色偏红(暖色, 色温<3300K), 介于3300与5000K之间称之为中间色, 白色光源适用性广, 亮度高, 特别是拍摄彩色图像时使用更多。

蓝色光源 (B)

蓝色光源波长为430-480之间, 适用产品: 银色背景产品 (如钣金, 车加工件等)、薄膜上金属印刷品

光源颜色

红色光源 (R)

红色光源的波长通常在600-720之间，其波长比较长，可以透过一些比较暗的物体，例如底材黑色的透明软板孔位定位、绿色线路板线路检测，透光膜厚度检测等，采用红色光源更能提高对比度；

绿色光源 (G)

绿色光源波长510-530，介于红色与蓝色之间，主要针对产品：红色背景产品，银色背景产品（如钣金，车加工件等）。

光源颜色

红外光 (IR)

红外光的波长一般为780-1400，红外光属于不可见光，其透过力强。一般LCD屏检测、视频监控行业应用比较普遍；

紫外光 (UV)

紫外光的波长一般为190-400，其波长短，穿透力强，主要应用于证件检测、触摸屏ITO检测、布料表面破损、点胶溢胶检测等方面，金属表面划痕检测等；

光源颜色-X射线



特点：是一种波长范围在0.01nm到10nm之间的电磁波，波长短，透视效果良好（密度，透量，阴影，灰阶图）。

应用：工业上应用广泛，常用于各种行业的透视检测

X-Ray射线检测女鞋

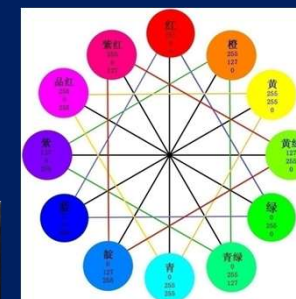
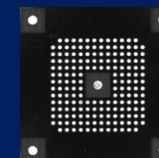
光源颜色

通过互补色增加对比度

互补色：也称为对比色，互补色在色环（右图）上相互对应。两种互补色等强度混合可以得到白色。

如果希望更加鲜明地突出某些颜色，则选择色环上想对应的互补颜色，这样可以明显地提高图像的对比度。

右图中，绿色背景采用红色光源提高对比度（灰阶图像）



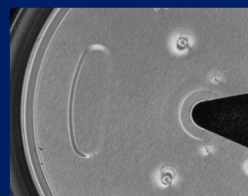
主色：红、黄、蓝、绿

光源颜色

- 合理运用颜色过滤背景



白色光源



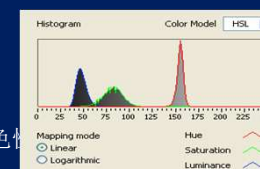
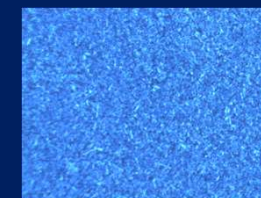
红色光源
红色的光源过滤掉红色的文字

光源颜色

显色性好的光源可以比较真实的还原物体的真实原色。



采用自然光源可提高颜色的显色性



照射方式

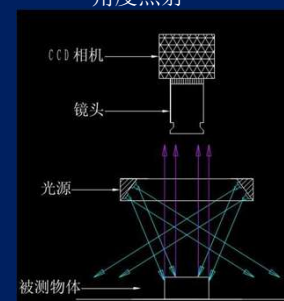
光源是影响 机器视觉图像质量 的重要因素，照明对输入数据的影响至少占到 30 % 。好的打光方式可以准确捕捉物体特征，提高物体与背景的对比度。

常见的打光方式有以下几种：

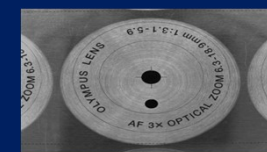
- ❑ 前面打光法
- ❑ 后面打光法
- ❑ 结构光打光法
- ❑ 混合多方式照明
- ❑ 特殊式

照射方式

角度照射



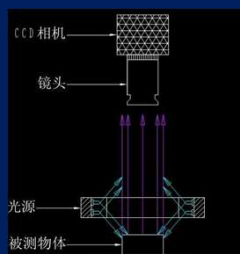
应用



特点：在一定工作距离下，光束集中、亮度高、均匀性好、照射面积相对较小。常用于塑胶容器检查、工件螺孔定位、标签检查、管脚检查、集成电路印字检查等(30、45、60、75等角度环光*)。

照射方式

低角度照射



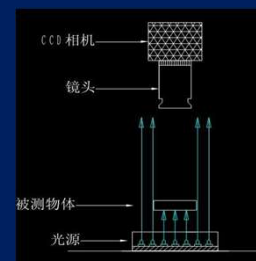
应用



特点：对表面凹凸表现力强。适用于晶片或玻璃基片上的伤痕检查

照射方式

背光照射



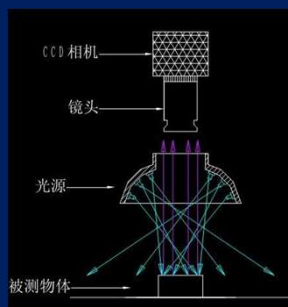
应用



特点：发光面是一个漫射面，均匀性好。可用于镜面反射材料，如晶片或玻璃基底上的伤痕检测；LCD检测；微小电子元件尺寸、形状，靶标测试。（背光源、平行背光源）

照射方式

多角度照射



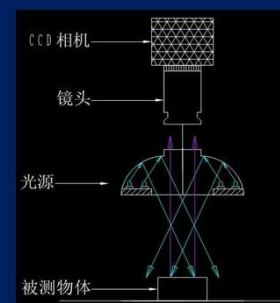
应用



特点：RGB三种不同颜色不同角度光照，可以实现焊点的三维信息的提取。适用于组装机板的焊锡部份、球形或半圆形物体、其它奇怪形状物体、接脚头（AOI光源）

照射方式

碗状光照明



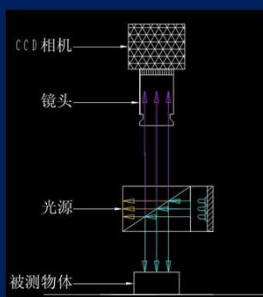
应用



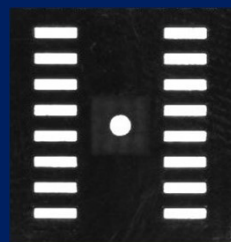
特点：360度底部发光，通过碗状内壁发射，形成球形均匀光照。用于检测曲面的金属表面文字和缺陷。（球积分光源，通常也叫圆顶光）

照射方式

同轴光照明



应用



特点:

类似于平行光的应用，光源前面带漫反射板，形成二次光源，光线主要趋于平行。用于半导体、PCB板、以及金属零件的表面成像检测，微小元件的外形、尺寸测量。（同轴光源，平行同轴光源）

辅助手段

有时受限于具体的应用环境，不能直接通过光源类型或照射角度的调整而获取良好的视觉图像，我们就常常需要借助于一些特殊的辅助光学器件。

常见的辅助光学器件有：

反射镜：反射镜可以简单方便地改变优化光源的光路和角度，从而为光源的安装提供了更大的选择空间。

分光镜：分光镜通过特殊的镀膜技术，不同的镀膜参数可以实现反射光和折射光比例的任意调节。机器视觉光源中的同轴光就是分光镜的具体应用。

棱镜：不同频率的光在介质中的折射率是不同的，根据光学的这一基本原理可以把不同颜色的复合光分开，从而得到频率较为单一的光源。

辅助手段

- **偏振片：**光线在非金属表面的反射是偏振光，借助于偏振片可以有效的消除物体的表面反光。同时，偏振片在透明或半透明物体的应力检测上也有很好的应用。
- **漫射片：**漫射片是机器视觉光源中比较常见的一种光学器件，它可以使光照变得更均匀，减少不需要的反光。
- **光纤：**光纤可以将光束聚集于光纤管中，使之想水流一样便于光线的传输，为光源的安装提供了很大的灵活性。

照明规则

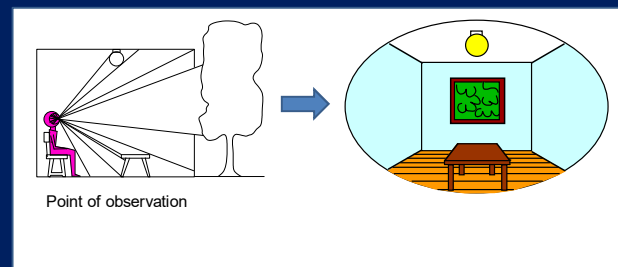
- 1、光线太暗会影响视觉系统
- 2、光线太亮会影响视觉系统
- 3、照明的主要功能是产生有用的光学信号
- 4、减少噪声（干扰）是照明要解决的主要问题之一
- 5、只有来自于目标并到达镜头的光线才是有效的光线
- 6、进入镜头但非来自目标的光线为杂散光，它降低图像质量

成像镜头

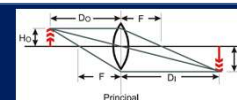
相机将三维世界成像到二维平面
Dimensionality Reduction Machine (3D to 2D)

3D world

2D image



Point of observation



Figures © Stephen E. Palmer, 2002

长度信息并不一定会保留
Length is not preserved

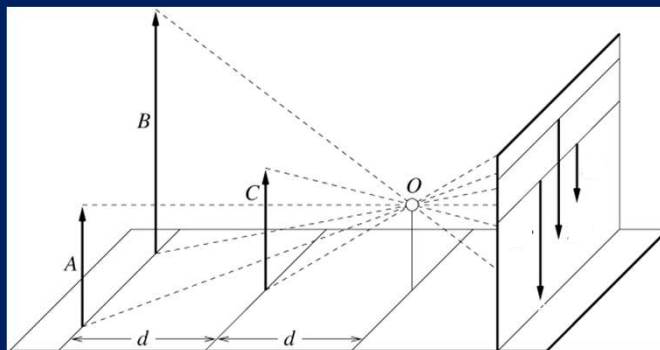


Figure by David Forsyth

投影可能会产生错觉
Projection can be tricky...

Slide source: Seitz



CoolOpticalIllusions.com

投影可能会产生错觉 Projection can be tricky...

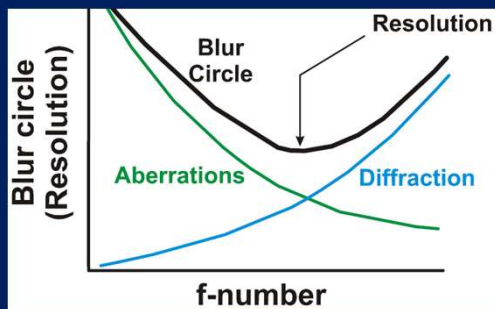


镜头的相关参数

- 放大率
- 焦距
- 对焦范围
- f-number F数
- 失真
- 视场

F数 (f-number)

- 收集光线的
能力
- 景深
- 分辨率
- 失真



分辨率和调制传递函数

成像系统的品质通常用调制传递函数 **MTF** 来描述，其定义如下：

V_B 低频暗区最低亮度。

V_W 低频亮区最高亮度。

V_{min} 频率 f 处的最低亮度。

V_{max} 频率 f 处的最高亮度。

低频对比度 $C(0) = (V_W - V_B) / (V_W + V_B)$ 。

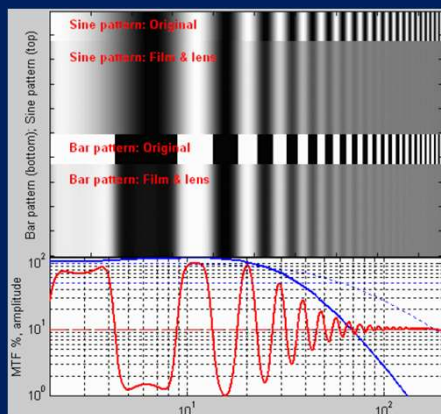
频率 f 处的对比度

$$C(f) = (V_{max} - V_{min}) / (V_{max} + V_{min})$$

$$MTF(f) = 100\% * C(f) / C(0)$$

表征分辨率的指标是MTF

MTF 描述的是成像系统的空间频率响应



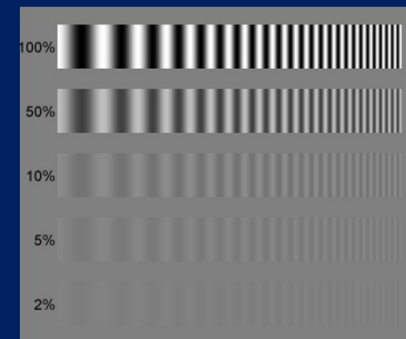
表征分辨率的指标是MTF

由100% 到2% 的对比度图形。

□ MTF =50%为中等对比度

□ MTF = 2%被认为是人视觉对比度的极限，低于2% 无法分辨。

□ 通常需要MTF有10%以上



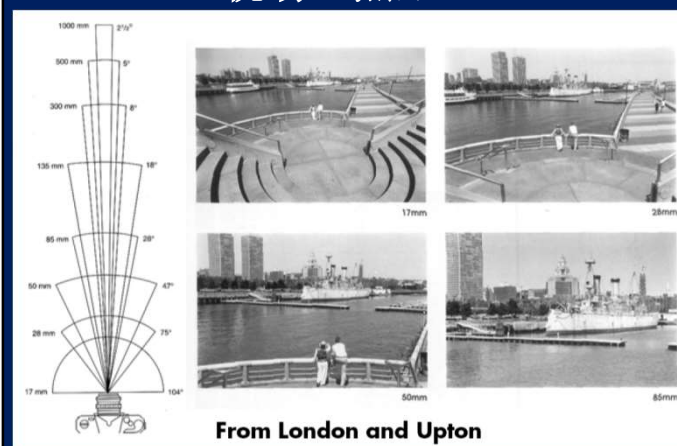
表征分辨率的指标是MTF

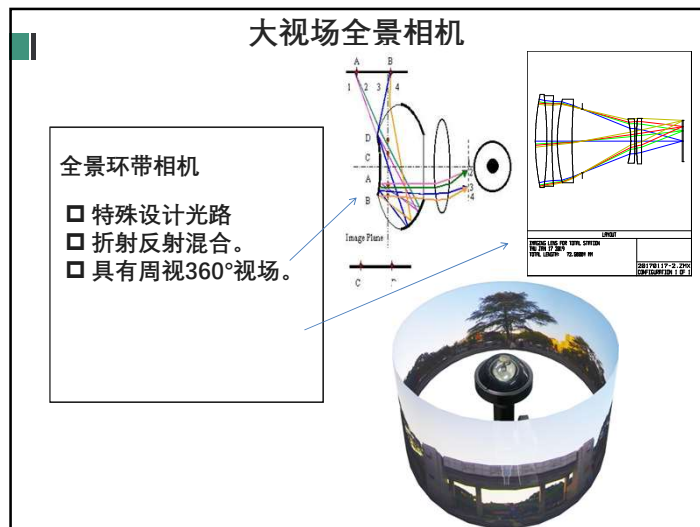
□ 像传感器相面上，每毫米像元数的1/2称为该 CCD 的Nyquist 频率，表征了选用该像感器时镜头分辨率的设计目标

□ 如某相机像元尺寸为3微米，则其Nyquist频率

$$1000/(2*3)=167 \text{ (lp/mm)}$$

视场（焦距）

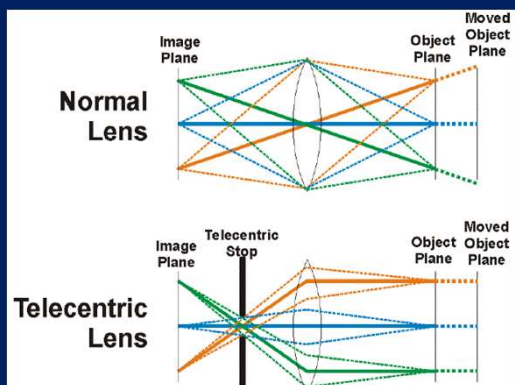




远心镜头 (Telecentric Lens)

- 在测量系统中，物距常发生变化，从而使像高发生变化，所以测得的物体尺寸也发生变化，即产生了测量误差；
- 即使物距是固定的，也会因为CCD敏感表面不易精确调整在像平面上，同样也会产生测量误差。
- 采用远心物镜中的像方远心物镜可以抑制物距变化带来的测量误差、
- 而物方远心物镜则可以抑制CCD位置不准带来的测量误差。

远心镜头 (Telecentric Lens)



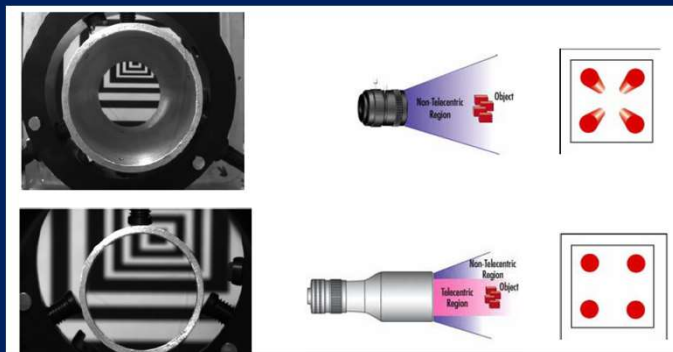
远心镜头 (Telecentric Lens)

远心镜头：

- 抑制物体位置变化引起比例尺改变；
- 抑制畸变
- 抑制投影误差
- 改善物体边缘测量误差大问题



远心镜头 (Telecentric Lens)



讨论

1. 蓝宝石玻璃是高级腕表的首选，出厂前如果要用机器视觉检测蓝宝石玻璃片（边长40mm）有无的1微米宽度的划痕，应分别选用什么样的照明、镜头和像感器？
2. 农场为了效益最大化，需要将苹果按照大小分开装，计划用机器视觉进行分选，应分别选用什么样的照明、镜头和像感器？
3. 仿生爱好者想要通过机器视觉分析蜜蜂在飞行时的扑翼速度，帮他们建议应分别选用什么样的方案获取图像。

