

## 第二章



# 图像处理系统

李静

# 主要内容



一、系统组成

二、辅助光源

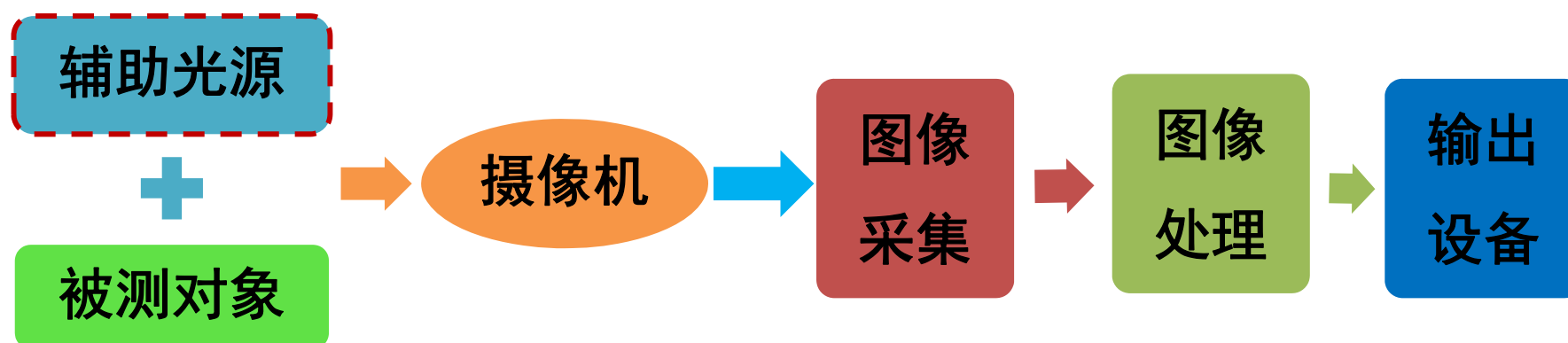
三、摄像机

四、图像采集与处理系统



# 一、基本组成

## 图像检测与跟踪系统基本组成



- **辅助光源：**用来对目标的特征区域进行照射以获得较为清晰的目标图像。
- **摄像机：**实现对目标图像的采集；
- **图像采集处理设备：**用来对摄像机获得的图像进行采集和处理，包括嵌入式采集处理和计算机采集处理。

## 二、辅助光源

### (1) 光源的作用

- 照亮目标，提高目标亮度；
- 形成最有利于图像处理的成像效果；
- 克服环境光干扰，保证图像稳定性；
- 用作测量的工具或参照。

### (2) 常用照明光源设计



条形光源



环形光源



同轴光源

## 三、摄像机

**摄像机**作为图像检测与目标跟踪系统的核心部件，通过**图像传感器**来获取图像。在使用时需配备相应的**光学镜头**，将目标成像在图像传感器的光敏面上。





## 三、摄像机

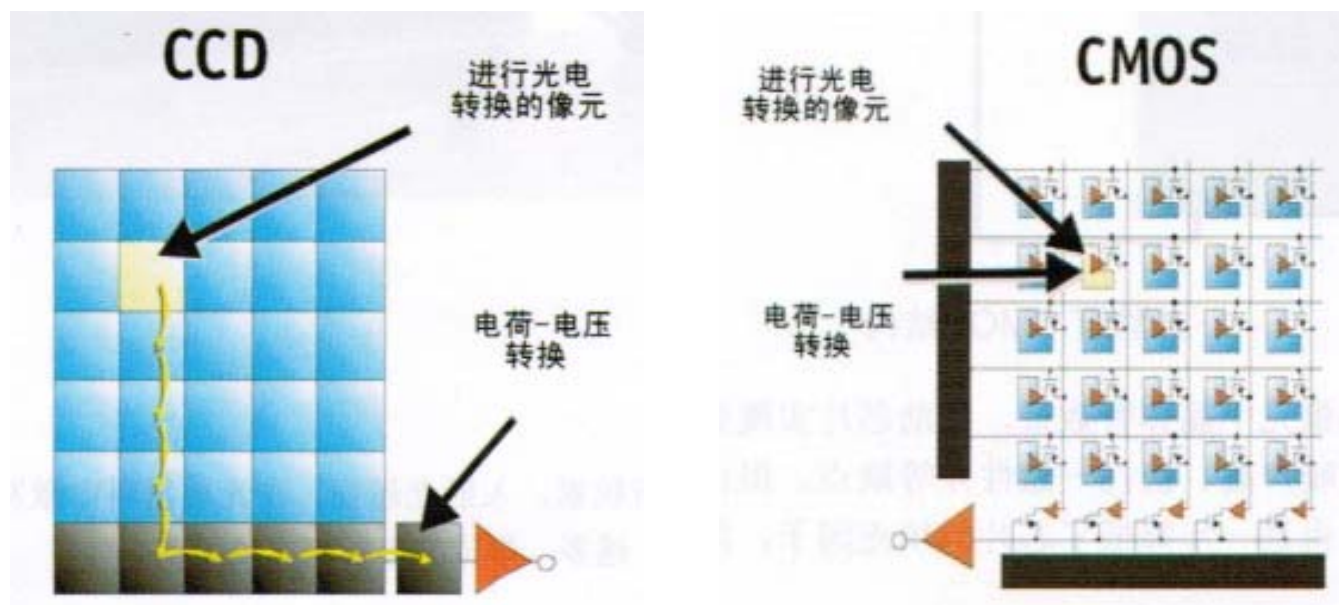
### 1、图像传感器

- CCD (Charge Coupled Device, 电荷耦合器件)
- CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Transistor, 互补金属氧化物半导体)

**作用：**通过光电效应将光信号转换成电信号（电压/电流）进行存储以获得图像，主要差异在于将光转换为电信号的方式不同。

## 三、摄像机

(1) 基本成像过程：电荷产生、电荷转移、信号输出。



- ❑ CCD芯片采用一个读出节点将电荷转换成电压，将阵列中的电荷依次转移到读出节点处，将电荷移到读出节点即电荷转移。
- ❑ CMOS像元中产生的电荷信号在像元内被直接转化成电压信号，当选通开关开启时直接输出。

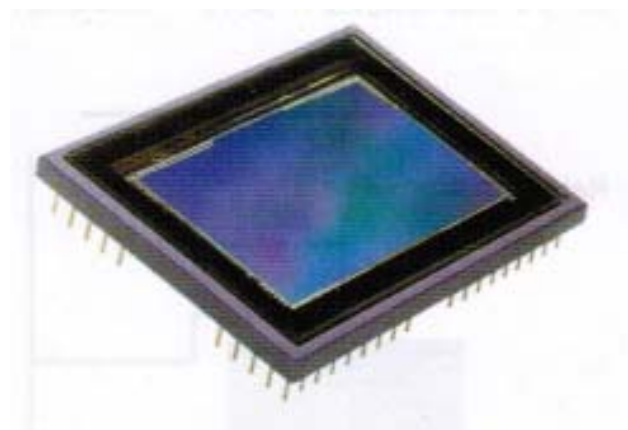
## 三、摄像机

### (2) 线阵芯片和面阵芯片

- ❑ 线阵芯片：像元呈一维线型排列
- ❑ 面阵芯片：像元呈二维排列



线阵芯片



面阵芯片





# 三、摄像机

## 2、摄像机

### (1) 摄像机的主要特性参数

□ **分辨率**：位于CCD&CMOS芯片上的像素数

□ **速度**

线阵摄像机指每秒钟能输出的**线数**（一维图像，单位lines/s），  
面阵摄像机指每秒钟能输出**多少幅图像**（二维图像，单位fps）

□ **像元深度**

灰度由暗到亮的灰阶数，8bit摄像机0代表全暗255代表全亮，  
10bit1024个灰阶，12bit4096个灰阶。增强测量精度的同时也降低了系统的速度。



## 三、摄像机

### □ 固定图像噪声FPN (Fixed Pattern Noise)

不随像素点的空间坐标改变的噪声，主要是暗电流噪声。

暗电流噪声是由于光电二极管转移栅的不一致性产生不一致的直流偏置，而引入的噪声。固定图像噪声对每幅图像都一样，可通过非均匀性校正电路或采用软件方法进行校正。

### □ 光学接口：摄像机与镜头之间的接口

接口类型	后截距	接口
C口	17.526mm	螺口
CS口	12.5mm	螺口
F口	46.5mm	卡口

接圈  
转换

## 三、摄像机

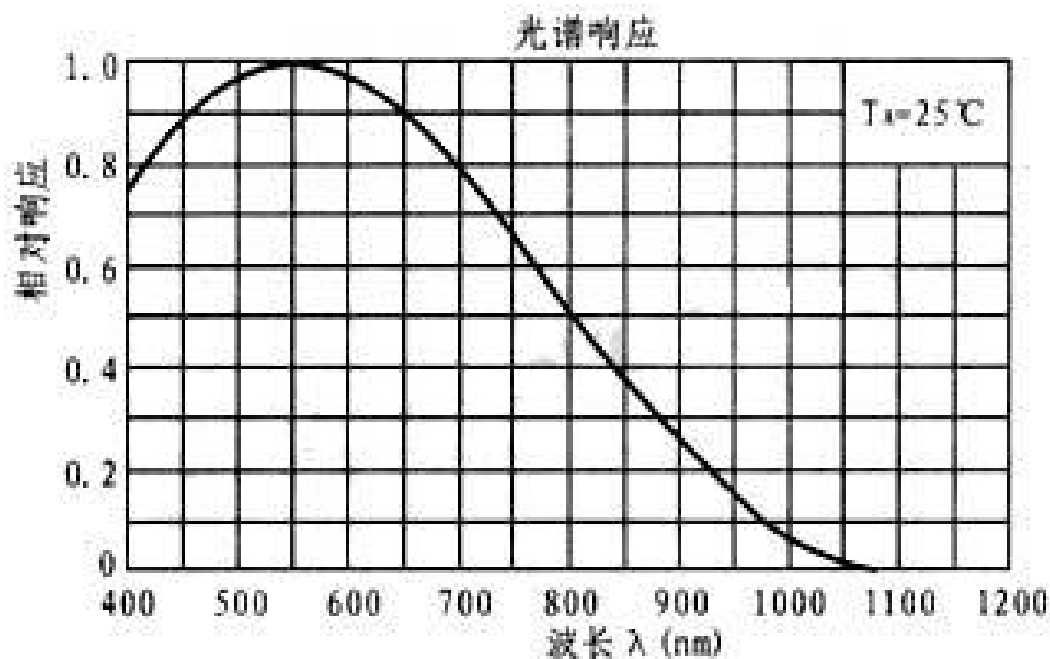


### □ 光谱响应

摄像机对于不同波长光线的响应能力，按响应光谱不同把摄像机分为

- 可见光相机（400nm~1000nm，峰值在500nm~600nm之间）
- 红外相机（响应波长在700nm以上）
- 紫外相机（可以响应到200nm~400nm的短波）

须根据接收被测物发光波长的不同来选择不同的光谱响应的摄像机。



# 三、摄像机



## (2) 摄像机的分类

### □ 按芯片技术分类：CCD摄像机vsCMOS摄像机

- CCD摄像机：光照射到像元上，像元产生电荷，电荷通过少量的输出电极传输并转化为电压信号输出。
- CMOS摄像机：每个像元自己完成电荷到电压的转换，同时产生数字信号。

### □ 按成像面类型分类：面阵摄像机vs线阵摄像机

### □ 按输出模式分类：模拟摄像机vs数字摄像机

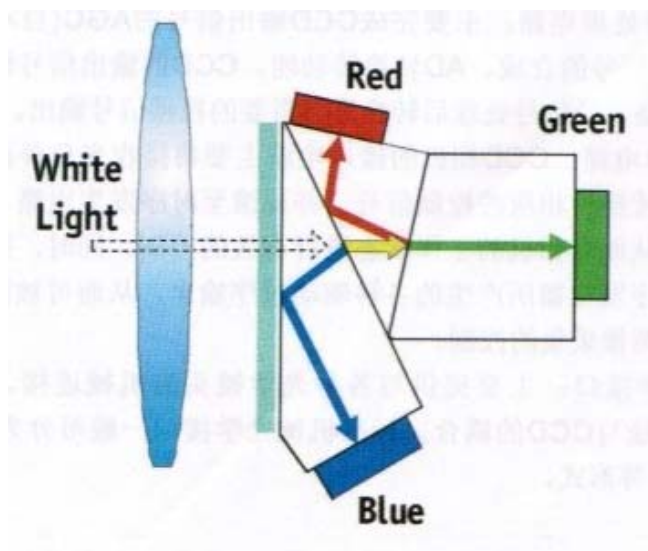
- 模拟摄像机：分为逐行扫描和隔行扫描两种，隔行扫描摄像机又包含EIA、NTSC、CCIR、PAL等标准制式。
- 数字摄像机：数据接口包括LVDS接口、Camera Link Base/Medium/Full、Firewire (IEEE 1394)、USB接口和GigE接口。

## 三、摄像机

### □ 按成像色彩划分：彩色摄像机vs黑白摄像机

- 黑白摄像机：直接将光强信号转换成图像灰度值，生成的是灰度图像；
- 彩色摄像机：能获得景物中红、绿、蓝三个分量的光信号，输出彩色图像。

棱镜分光法

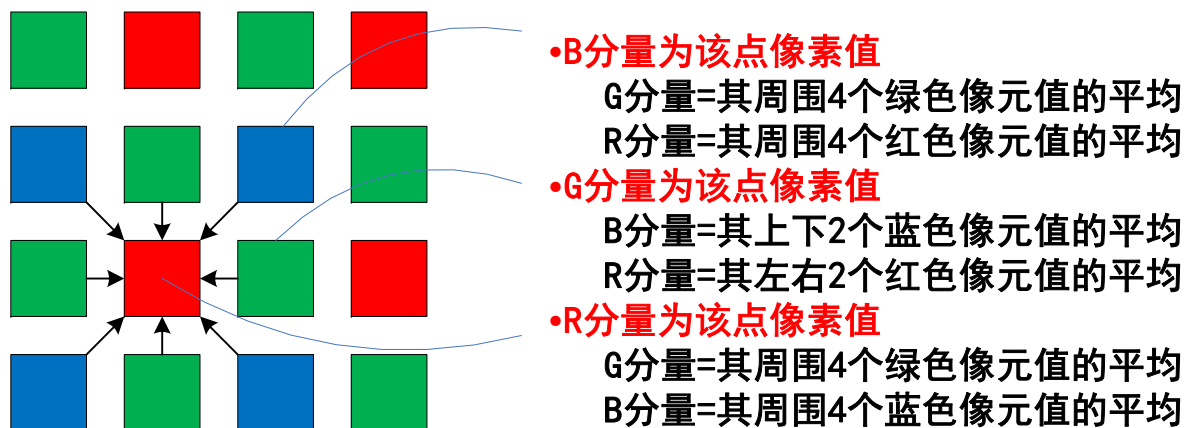


利用光学透镜将入射光线的R、G、B分量分离，在三片传感器上分别将三种颜色的光信号转换成电信号，最后对输出的数字信号进行合成，得到彩色图像。

# 三、摄像机



## Bayer 滤波法



在传感器像元表面按照Bayer 马赛克规律增加RGB三色滤光片，输出信号时，像素RGB分量是由其对应像元和其附近像元共同获得的。



## 三、摄像机

### □ 按光谱响应划分：可见光摄像机vs红外光摄像机

- 被动红外摄像技术：利用任何物质在绝对零度（ $-273^{\circ}\text{C}$ ）以上都有红外线辐射，物体的温度越高，辐射出的红外线越多。特殊的红外摄像机造价昂贵，因此仅限于军事或特殊场合使用。
- 主动红外摄像技术：采用红外灯辐射“照明”（主要是红外光线），应用普通摄像机采集，感受周围景物和环境反射回来的红外光实现夜视监控，主要用于夜视监控。

### □ 按传感器尺寸大小划分：1"、2/3"、1/2"、1/3"、1/4" 摄像机

CCD芯片尺寸	靶面宽×高/（mm×mm）	对角线长度/mm
1"	12.7×9.6	16
2/3"	8.8×6.6	11
1/2"	6.4×4.8	8
1/3"	4.8×3.6	6
1/4"	3.2×2.4	4



## 三、摄像机

### 3、镜头

#### (1) 镜头的主要参数

##### □ 焦距

- 镜头光学后主点到焦点的距离，从镜片中心到CCD成像平面的距离。
- 焦距的长短决定着拍摄的成像大小，视场角大小，景深大小和画面的透视强弱。
- 当对同一距离远的同一个被摄目标拍摄时，镜头焦距长的所成的象大，镜头焦距短的所成的象小。

较常见的有8mm，15mm，24mm，28mm，35mm，50mm等。

##### □ 光圈/相对孔径

光圈和相对孔径是两个相关概念，相对孔径是镜头入瞳直径与焦距的比值；而光圈是相对孔径的倒数。





## 三、摄像机

### □ 视场/视场角

用来**衡量镜头成像范围**，在远距离成像中，例如望远镜、航拍镜头等场合，镜头的成像范围常用视场角来衡量，用成像最大范围构成的张角表示。

### □ 工作距离

镜头与目标物体之间的距离称作镜头的工作距离。需要注意的是，一个实际镜头并不是对任何物距下的目标都能做到清晰成像（即使调焦也做不到），所以它允许的工作距离是一个有限范围。

### □ 像面尺寸

一个镜头能清晰成像的范围是有限的，像面尺寸指它能支持的**最大清晰成像范围**。超过这个范围成像模糊，对比度降低。所以在给镜头选配CCD时，可以遵循“**大的兼容小的**”原则进行，就是镜头的像面尺寸大于（或等于）CCD尺寸。



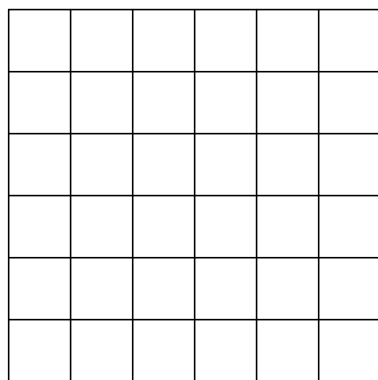
## 三、摄像机

### □ 像质（MTF、畸变）

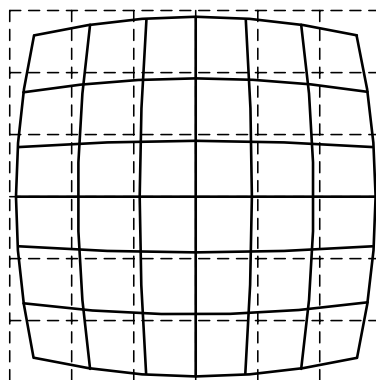
像质就是指镜头的成像质量，用于评价一个镜头的成像优劣。传函（调制传递函数的简称，用MTF表示）和畸变就是用于评价像质的两个重要参数。

**MTF**：在成像过程中的对比度衰减因子。实际镜头成像，得到的像与实物相比，成像出现“模糊化”，对比度下降，通常用MTF来衡量成像优劣。

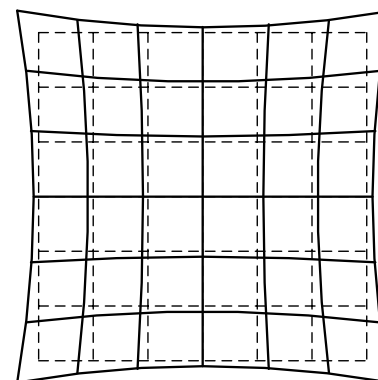
**畸变**：理想成像中，物象应该是完全相似的，就是成像没有带来局部变形，但是实际成像中，往往有所变形即畸变。畸变的产生源于镜头的光学结构、成像特性。



原始图像



桶形畸变



枕形畸变



## 三、摄像机

### □ 工作波长与透过率

镜头工作波长指对电磁波进行成像的波长范围。例如常见镜头工作在可见光波段（360nm—780nm），除此之外还有紫外或红外镜头。

镜头的透过率用于衡量镜头对光线的透过能力。为了使更多的光线到达像面，镜头中使用的透镜一般都是镀膜的，因此镀膜工艺、材料总的厚度和材料对光的吸收特性共同决定了镜头总的透过率。

### □ 接口

为提高个生产厂家镜头之间的通用性和规范性，业内形成了数种常见的固定接口，例如C口、CS口、F口等。

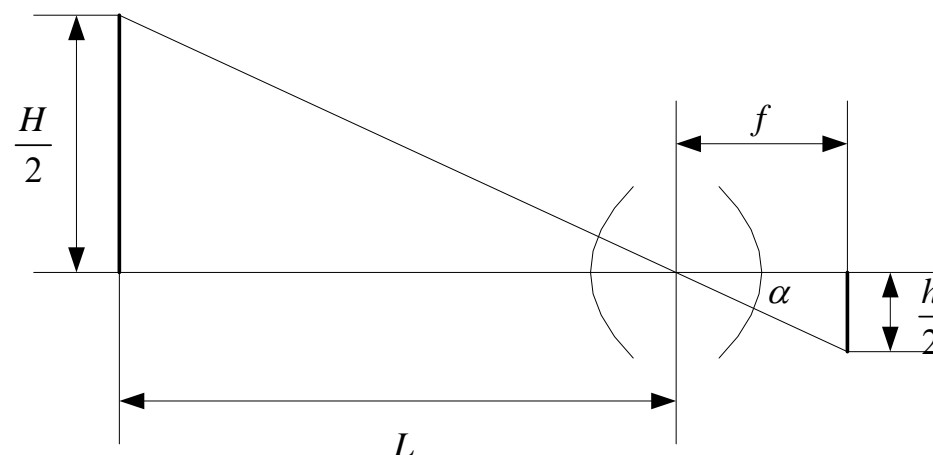
接口类型	后截距	接口
C口	17.526mm	螺口
CS口	12.5mm	螺口
F口	46.5mm	卡口



### 三、摄像机



#### (2) 镜头主要参数的计算方法



f——镜头焦距  
h——摄像机像面尺寸  
L——镜头到物体的距离  
H——物体的高度

水平视场角  $\alpha = 2 \arctan(h / 2f)$

竖直视场角  $\beta = 2 \arctan(v / 2f)$

$$f = Lh / H$$



## 三、摄像机

### (3) 镜头的选择

#### □ 波长、变焦与否

成像过程中需要改变放大倍率的，采用变焦镜头，否则用定焦镜头。

镜头的工作波长，常见的是可见光波段，也有其他波段的应用。

#### □ 工作距离、焦距

明确系统的分辨率，结合CCD像素尺寸确定放大倍率

结合空间结构约束确定大概的物像距离，进一步估算镜头的焦距。

#### □ 像面大小和像质

所选镜头的像面大小要与摄像机感光面大小兼容，遵循“**大的兼容小的**”原则。

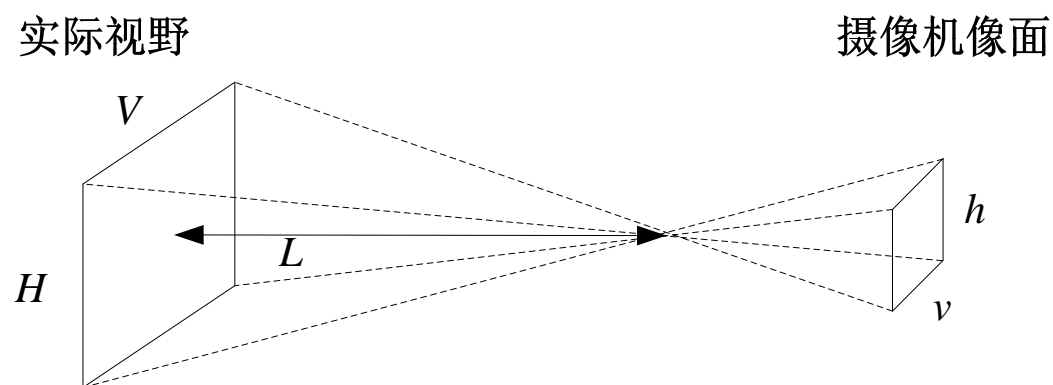
#### □ 光圈和接口

镜头的光圈主要影响像面的亮度，接口应与摄像机的接口匹配。



## 三、摄像机

**实例1：**给一硬币检测成像系统选配镜头，约束条件：CCD摄像机2/3英寸，像素尺寸4.65um，C口。工作距离大于200mm，系统分辨率0.05mm。光源采用白色LED光源。



$$f = Lh / H$$



## 三、摄像机

**实例1：**给一硬币检测成像系统选配镜头，约束条件：CCD摄像机2/3英寸，像素尺寸4.65um，C口。工作距离大于200mm，系统分辨率0.05mm。光源采用白色LED光源。

- 1) 与白色LED光源配合使用的，镜头应该是可见光波段。没有变焦要求，选择定焦镜头即可。
- 2) 用于工业检测，其中带有测量功能，所以所选镜头的畸变要求小。
- 3) 工作距离和焦距

$$\text{焦距 } f = L * h / H = 200 * 4.65 / (0.05 \times 1000) = 18.6 \text{ mm}$$

若物距要求大于200mm，则选择的镜头要求焦距应该大于18mm。

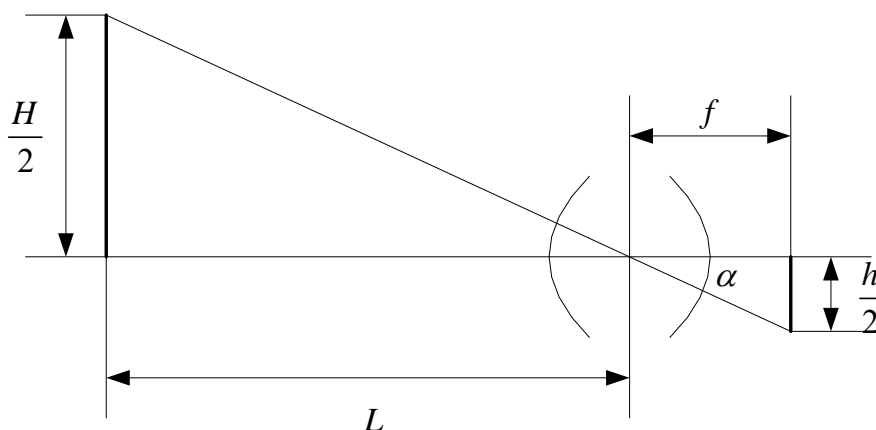
- 4) 选择镜头的像面应该不小于CCD尺寸，即至少2/3英寸。
- 5) 选择镜头的接口要求是C口，能配合摄像机使用。光圈暂无要求。

**镜头要求：**焦距大于18mm，定焦，可见光波段，C口，至少能配合2/3英寸CCD使用，而且成像畸变要小。



### 三、摄像机

**实例2：**选用以1/2" 摄像机，拍摄物体垂直方向高度330mm，水平方向长度440mm，镜头到拍摄物体间距离为2500mm，求焦距。



尺寸	W×H/mm×mm
1 "	12.7×9.6
2/3 "	8.8×6.6
1/2 "	6.4×4.8
1/3 "	4.8×3.6
1/4 "	3.2×2.4

1/2" 摄像机像面尺寸6.4mm\*4.8mm

$$f_h = Lh / H = 2500 * 6.4 / 440mm = 36mm$$

$$f_v = Lv / V = 2500 * 4.8 / 330mm = 36mm$$

注意：实际应用时，根据视野的V和H得出的值可能不一样，应该取较小的值，从而获得较大的视野。

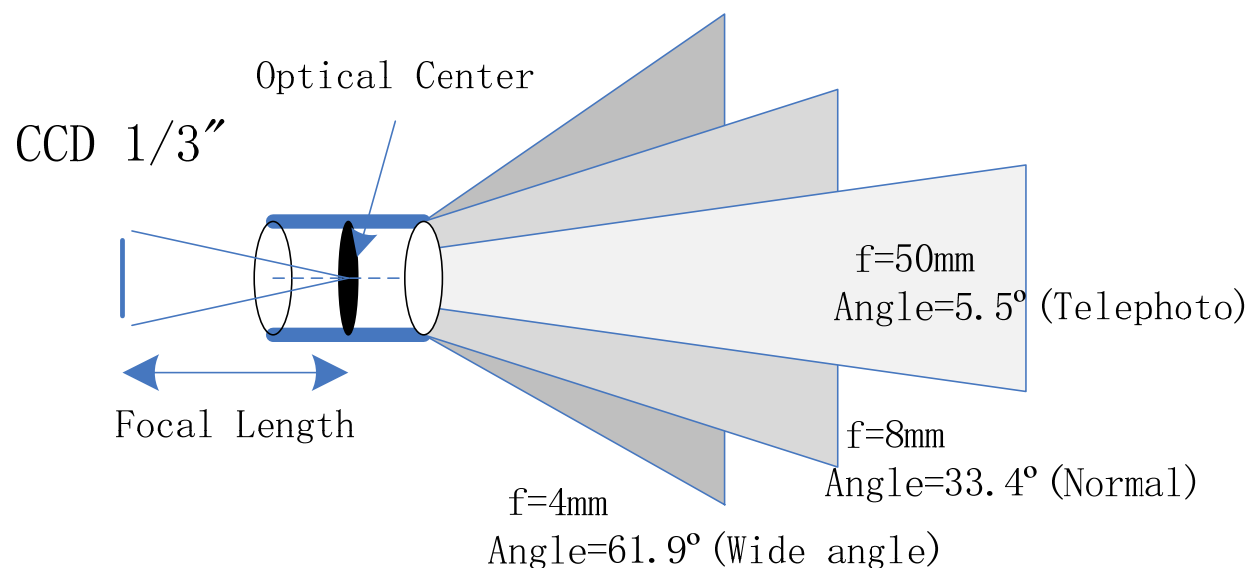




### 三、摄像机

**实例3：**以1/3 “CCD为例，配合焦距不同的镜头，则采集场景的视场角不同。

$$\alpha = 2 \arctan(h / 2f)$$



尺寸	W×H/mm×mm
1 "	12.7×9.6
2/3 "	8.8×6.6
1/2 "	6.4×4.8
1/3 "	4.8×3.6
1/4 "	3.2×2.4

采用1/3 " CCD，则靶面的长和宽分别为3.6mm和4.8mm，若镜头焦距为4mm，则水平角度  $\alpha = 2 \arctan \left( (4.8/2) / 4 \right) = 61.9^\circ$ 。



## 三、摄像机

### 3、图像采集处理系统

#### (1) 图像采集处理设备接口

##### □ 模拟接口

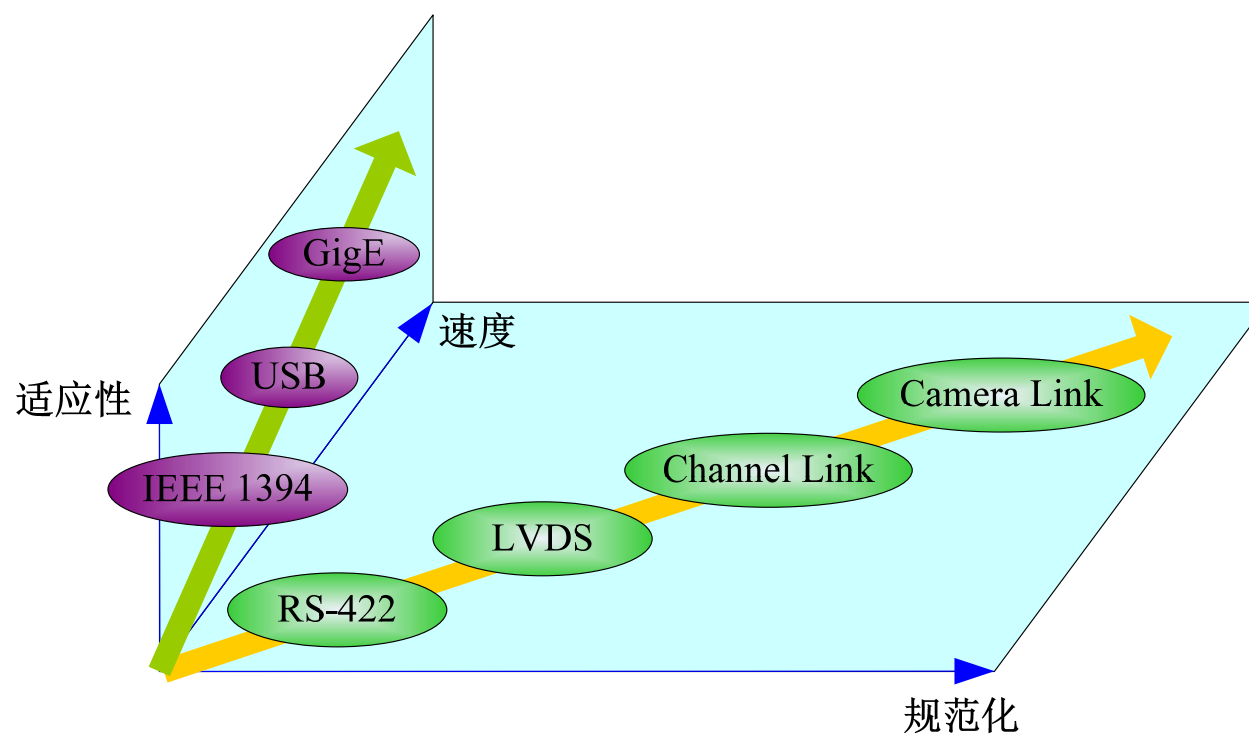
视频信号	参数	应用地区
EIA	30帧/秒 525线/场 黑白	美国、日本等国家和地区采用
NTSC	30帧/秒 525线/场 彩色	
CCIR	25帧/秒 625线/场 黑白	中国、香港、中东地区和欧洲
PAL	25帧/秒 625线/场 彩色	
SECAM	25帧/秒 625线/场 彩色	俄罗斯、法国、埃及等国家



## 三、摄像机

### □ 数字接口

包括LVDS、Camera Link、IEEE 1394、USB3.0和GigE等。



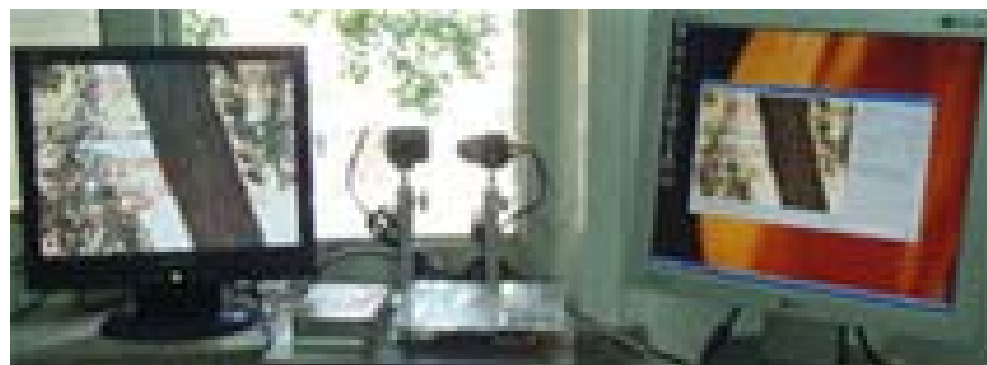
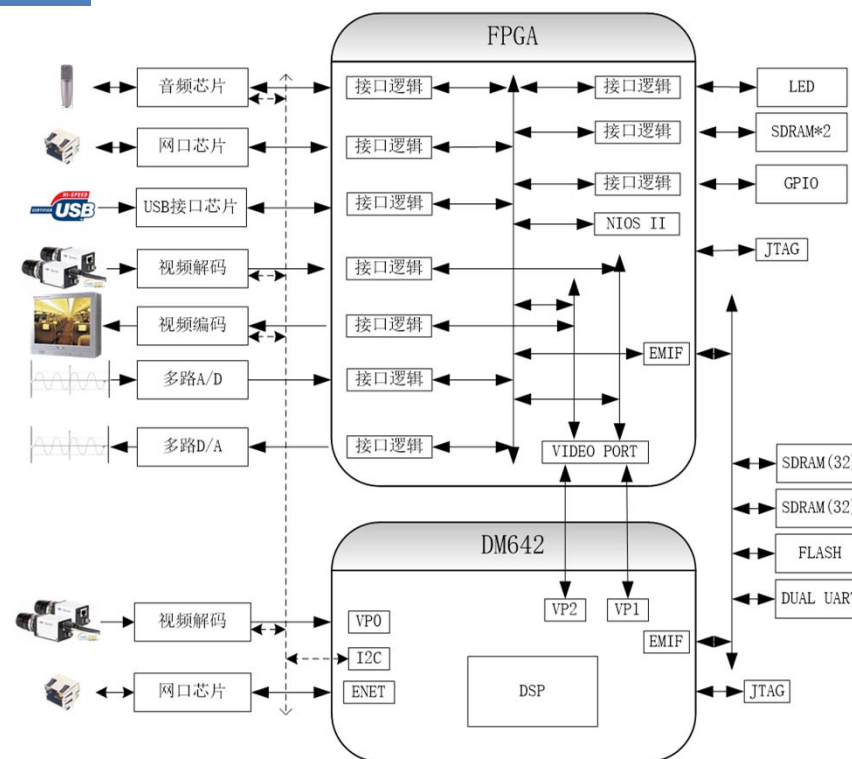
数字接口发展趋势

# 三、摄像机

## (2) 嵌入式图像采集处理

### 1) 基于DSP和FPGA的图像采集处理

- DSP运算能力强大，主要完成图像算法处理
- FPGA要完成控制、图像采集处理和通讯等功能，

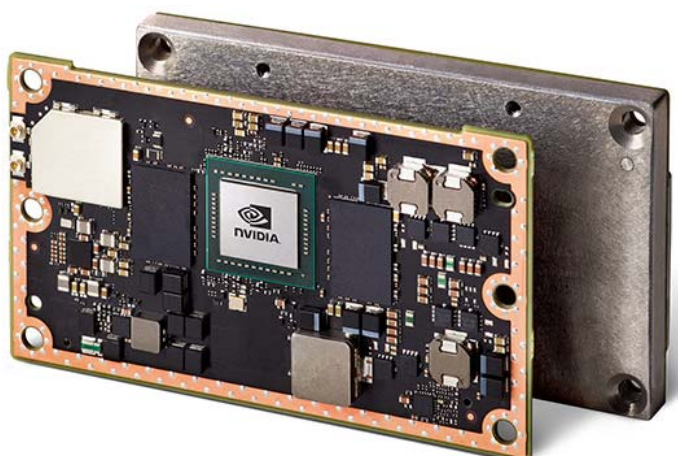




## 三、摄像机

### 2) Jetson TX2 模块

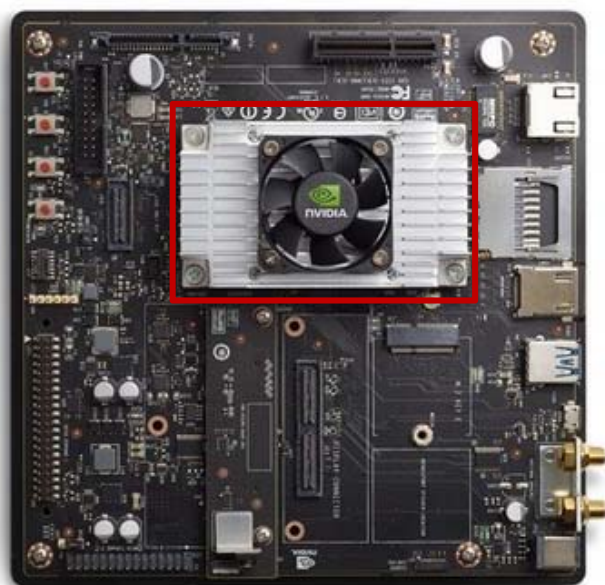
一台模块化 AI 超级计算机，采用 NVIDIA [Pascal™ 架构](#)。更棒的是，它性能强大，但外形小巧，节能高效，非常适合机器人、无人机、智能摄像机和便携医疗设备等智能边缘设备。它支持 Jetson TX1 模块的所有功能，同时可以铸就更大型、更复杂的深度神经网络。



### 三、摄像机



TX2开发板



	JETSON TX2
GPU	NVIDIA Pascal™, 256 CUDA cores
CPU	HMP Dual Denver 2/2 MB L2 + Quad ARM® A57/2 MB L2
Video	4K x 2K 60 Hz Encode (HEVC) 4K x 2K 60 Hz Decode (12-Bit Support)
Memory	8 GB 128 bit LPDDR4 59.7 GB/s
Display	2x DSI, 2x DP 1.2 / HDMI 2.0 / eDP 1.4
CSI	Up to 6 Cameras (2 Lane) CSI2 D-PHY 1.2 (2.5 Gbps/Lane)
PCIE	Gen 2   1x4 + 1x1 OR 2x1 + 1x2
Data Storage	32 GB eMMC, SDIO, SATA
Other	CAN, UART, SPI, I2C, I2S, GPIOs
USB	USB 3.0 + USB 2.0
Connectivity	1 Gigabit Ethernet, 802.11ac WLAN, Bluetooth
Mechanical	50 mm x 87 mm



## 三、摄像机

### 3) Jetson AGX Xavier

可以在 30 瓦以下的嵌入式模块上获得 GPU 工作站的卓越性能。此开发者套件搭载全新的 Xavier 处理器，专为自主机器设计，性能和能效分别比前代产品 NVIDIA Jetson TX2 高出 20 倍和 10 倍。该产品非常适合运行现代 AI 工作负载和构建应用程序，适用于制造、物流、零售、服务、农业、智能城市、医疗保健等领域。





## 三、摄像机



### AGX Xavier开发板

GPU	512-core Volta GPU with Tensor Cores
CPU	8-core ARM v8.2 64-bit CPU, 8MB L2 + 4MB L3
Memory	16GB 256-Bit LPDDR4x   137GB/s
Storage	32GB eMMC 5.1
DL Accelerator	(2x) NVDLA Engines*
Vision Accelerator	7-way VLIW Vision Processor*
Encoder/Decoder	(2x) 4Kp60   HEVC/(2x) 4Kp60   12-Bit Support
Size	105 mm x 105 mm
Deployment	Module (Jetson AGX Xavier)





## 三、摄像机

### 4) X86+GPU信息处理平台

基于X86的车载处理器比较典型的为晨曜科技的GPU嵌入式、宽温、抗震动系列产品，该设备配置CPU I7-8700、内存2\*16G DDR4, GPU RTX2060、6个网口、4个串口、2个CAN总线接口等。



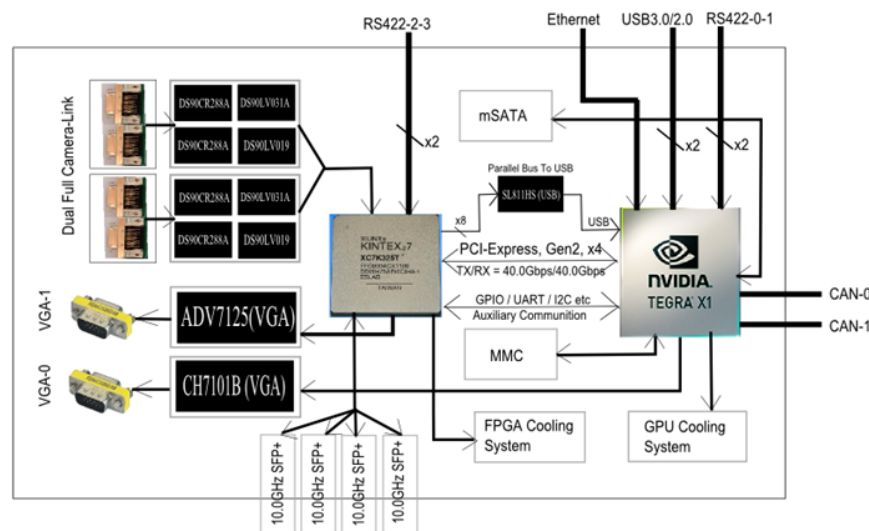
晨曜科技Nuvo-7160GC

## 三、摄像机

### 5) TX2-FPGA机器视觉深度学习算法复合加速平台

FPGA除了作为前端用于控制核心还可以对所采集的图像进行滤波、降噪、提取图像金字塔等**预处理**——对后续机器视觉的算法实施进行初步加速。

GPU在不超过15W的功耗下，可以提供2TFLOPS的强大的运算性能，足以支持任何机器视觉/深度学习领域内算法的**实时嵌入式应用**。其256个强大的Pascal流处理核（每核最高主频为1.3GHz）对算法的实施完成2次加速（FPGA算是第一次加速）。





## 三、摄像机

### (3) 计算机图像采集处理

计算机处理设备一般采用**图像采集卡与计算机处理**的模式。采用Windows环境**VC+OpenCV**（开源计算机视觉库）、**Linux环境QT+OpenCV**，调用相应的开发包实现计算机对图像的采集和处理。

### (4) 图像采集与处理流程

