监控摄像机图像采集部分(镜头和图像传感器) 1

监控摄像机典型结构

图一是个监控摄像机的典型结构，将光线转换为数字信号，并进行传输或保存;其中负责光 电转换的就是图像传感器(Image Sensor);

图二是个监控摄像机(枪机)的实物图，主要有:镜头、图像采集板(光电转换和图像ISP处理等)、电源板、主控板(图像编码、存储、传输等);

闪光灯或

变焦、光圈 红外灯

光线 拜耳滤光片 镜头 IR-CUT 感光片 放大 景物

RGB或

RAW数据 YUV数据 彩色插值 压缩编码 效果处理 ADC 进一步处理

图像传感器(Image Sensor)

本地存储 网络传输 图像传感器(Image Sensor)

图一 监控摄像机结构框图



下面主要说一下监控摄像机上成像的物理(硬件)因素:镜头和图像传感器;

2 镜头

理论上,镜头可以只由一个镜片组成,但由于光学原因,单个镜片的成像不可避免的存在色差、球差、彗差、像散等等一系列像差问题,尤其在边缘部分,成像很差。所以实际镜头都是多个(最多能有20多个)镜片的组合，可以在一定程度上校正像差。另外，变焦镜头的变焦和聚焦也是改变镜片的间距来实现的;

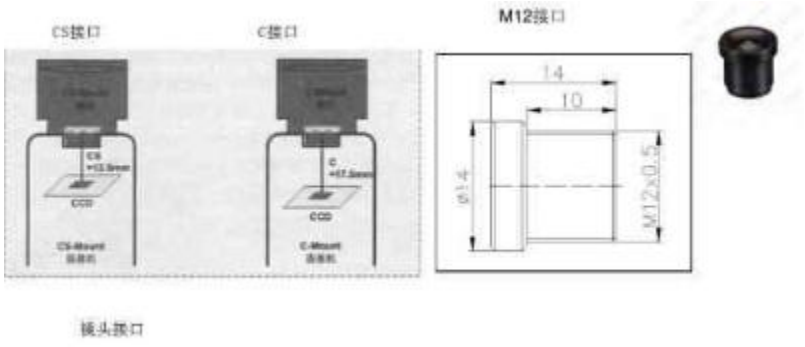
镜头的主要参数有接口类型、成像尺寸、分辨率、焦距与视野角度、光圈等;

2.1镜头接口

镜头的接口就是镜头与相机连接的装置，一般的单反相机的接口各家大多不同(如尼康的F接口，徕卡接口)，监控摄像机使用的大多是C/CS接口(标准镜头)或M20/M14/M12(小镜头)等;

C/CS接口都是国际标准接口，为1"X1/32"
(即25.4mmX0.8mm)英制螺纹连接口，区别在于C型接口的后截距为17.5mm，CS型接口的后截距为12.5mm。所以CS型接口的摄像机可以和C口及CS口的镜头连接使用，只是使用C口镜头时需要加一个5mm的接圈;

M20/M14/M12常用在半球机、单板机等小型监控上，M后面是代表接口直径;



镜头接口

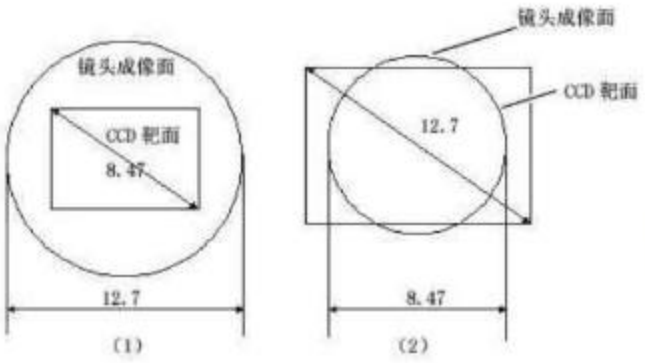
2.2 镜头成像尺寸

镜头一般分为1〃，2/3″，1/2″，1/4″等几种规格(表一)，它们分别对应着不同的成像尺寸，选用镜头时应使镜头的成像尺寸摄像机中CCD成像靶面大小相吻合或略大于CCD的成像靶，否则成像画面会被镜筒挡住，画面四周出现暗角(图三)。

（表一）镜头成像尺寸与CCD靶面尺寸对照表：

镜头尺寸	1"	2/3"	1/2"	1/3"	1/4"
CCD 尺寸	25.4	16.9	12.7	8.47	6.35
对角线	16	11	8	6	4.5
垂直高度	9.6	6.6	4.8	3.6	2.7
水平宽度	12.7	8.8	6.4	4.8	3.6

单位 mm



（1）镜头尺寸是12.7（1/2"），CCD成像靶面是8.47（1/3"），镜头尺寸大于靶面尺寸，成像不受影响；
（2）镜头尺寸是8.47（1/3"），CCD成像靶面是12.7（1/2"），镜头尺寸小于靶面尺寸，这时会影响成像，具体表现为：画面的四角被镜头遮挡，显示暗角；

图三　镜头成像尺寸与Sensor靶面尺寸关系

补充内容:

图像传感器的尺寸(如1〃、1/2〃等)，既不是任何一条边的尺寸，也不是其对角线尺寸，看着这样的尺寸，往往难以形成具体尺寸大小的概念。那么，这个尺寸到底是怎么来的呢，事实上，这种表示方法来源于早期的摄像机成像器件——光导摄像管。在CCD出现之前，摄像机是利用一种叫做“光导摄像管(Vidicon Tube)”的成像器件感光成像的，这是一种特殊设计的电子管，其直径的大小，决定了其成像面积的大小。因此，人们就用光导摄像管的直径尺寸来表示不同感光面积的产品型号。CCD出现之后，最早被大量应用在摄像机上，也就自然而然沿用了光导摄像管的尺寸表示方法，进而扩展到所有类型的图像传感器的尺寸表示方法上。

例如，型号为1/1.8〃的CCD或CMOS，就表示其成像面积与一根直径为1/1.8英寸的光导摄像管的成像靶面面积近似。光导摄像管的直径与CCD/CMOS成像靶面面积之间没有固定的换算公式，从实际情况来说，CCD/CMOS成像靶面的对角线长度大约相当于光导摄像管直径长度的2/3。

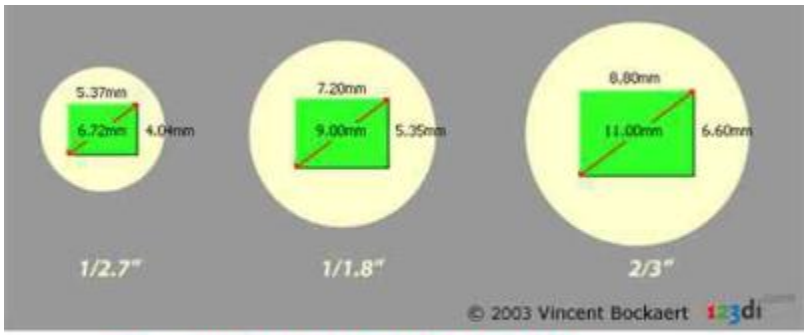


图4　摄像管与CCD/CMOS成像区域对比

2.3镜头的分辨率

镜头的分辨率是指在成像平面上1毫米间距内能分辨开的黑白相间的线条对数，单位是“线对/毫米”(lp/mm，line-pairs/mm);

镜头对黑白等宽的测试线对图并不是无限可分辨的。当黑白等宽的测试线对密度不高的时候，成像平面处黑白线条是很清晰的。当黑白等宽的测试线对密度提高时，在成像平面处还是可以分辨出黑白线条，但是白线已不是那么白了，黑线也不是那么黑了，白线黑线的对比度就会下降。当黑白等宽的测试线对密度提高到某一程度，在成像平面处黑白线的对比度非常小，黑白线条都变成了灰的中间色了，这就到了镜头分辨的极限。参见图五。



图五

用数线条的方法确定分辨率是一种方法，还有一种更为客观的方法是测量镜头的MTF(modulation transfer function调制传递函数)函数。

被测的黑白条纹图(分辨率图版)白线最亮处与黑线最暗处的差别，反映了被测图形的反差(或称对比度)。设白线最大亮度为Imax，黑线最小亮度为Imin，我们用调制度(Modulation)来表示反差的大小。调制度M定义如下:

M=(Imax,Imin)/(Imax，Imin)

同样通过镜头成像的图形白线最亮处与黑线最暗处的差别，反映了成像图形的反差(对比度)。设白线最大亮度为I*max，黑线最小亮度为I*min，调制度M*如下:

M*=(I*max,I*min)/(I*max，I*min)

如果原来图像的调制度M和经过镜头后成像的调制度M*，那么MTF值为:

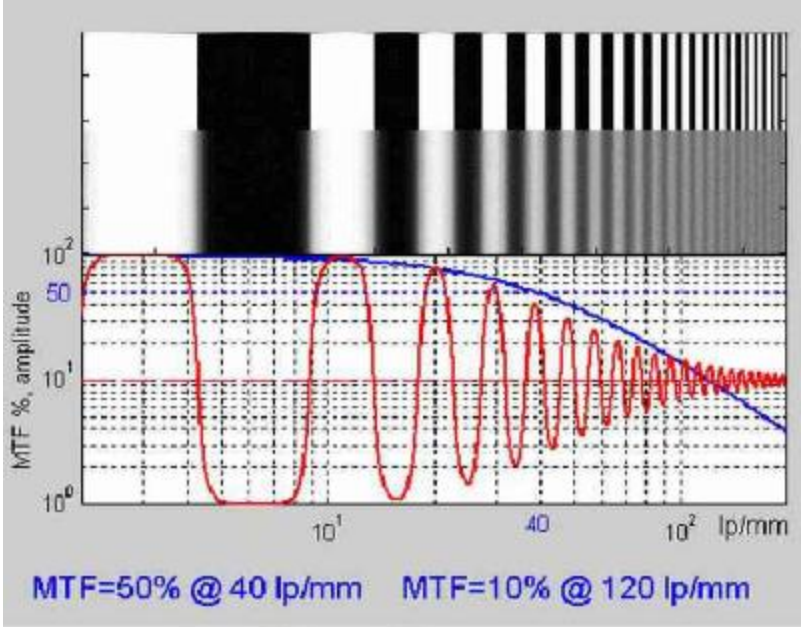
MTF=M*/M

当然我们希望原来图像的调制度M和经过镜头后成像的调制度M*能“原汁原味”M*=M，即
MTF=1。这时经过镜头后成像的反差(对比度)和原图像一样，但实际情况是经过镜头成

像的M*要小于原来图像的M。当被测的黑白条纹图密度不高时，M*和M几乎相等。随着被测的黑白条纹图密度逐渐提高时，I*max和I*min会逐渐接近，M*会逐渐变小，直到为0，MTF也同样逐渐变小，直到为0。

当我们改变测试图的黑白条纹图密度时，所成图像的条纹密度即所代表的分辨率或称每毫米线对(lp/mm)也在改变。

将lp/mm值作为横坐标将镜头MTF值作纵坐标连成图，我们就得到了 MTF-lp/mm图，参见图六。



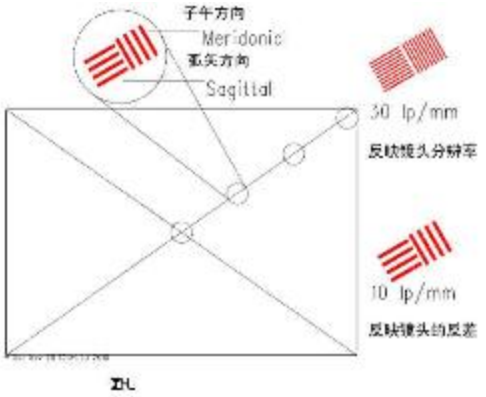
图六　MTF-lp/mm图

在图六中最上面是一组逐渐变密的黑白测试线条，中间是一组通过镜头成像的线条，下图中红色曲线就是镜头所成图像的亮度变化曲线，蓝色曲线就是MTF-lp/mm曲线。当黑白线条很粗时(分辨率很低<10 lp/mm)测试图和成像的黑白线条的亮度一样，都很黑或很白，体现在红色曲线就是曲线上下幅度很大，蓝色这部分MTF-lp/mm曲线都接近100%。当测试线条变密，通过镜头成像的白线条就会变暗，黑线条也不怎么黑了，看40lp/mm处，代表黑白亮度的红线幅度变小，即反差变小(I*max-I*min)，调制度M*变小，所以蓝色的MTF值下降到50%。进一步提高黑白测试线条密度，如上图的接尾处200 lp/mm代表黑白亮度的红线幅度变得非常小，趋于黑白的中间值，成像的黑白线已经很不分明而成了中间的灰色，蓝色曲线的MTF=3%，到了这个镜头的分辨率极限。

人眼对反差5%时尚能察觉，对反差低于2%时就不能察觉了。所以一般选定MTF值为3%时的lp/mm值作为镜头的目视分辨率。

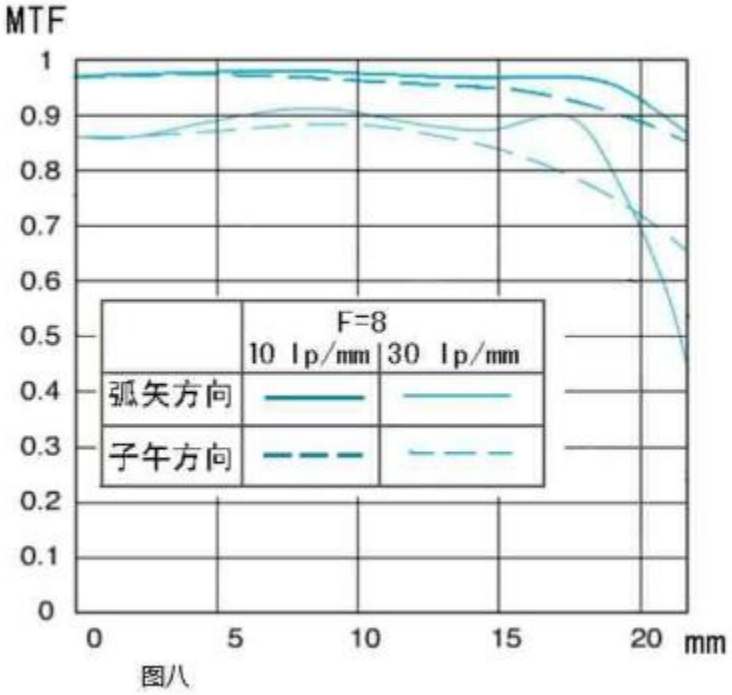
上面的MTF图是镜头中心处的MTF值随分辨率lp/mm变化的曲线图。但MTF还和很多因素有关。测试时镜头的光圈，测试点偏离中心的距离。

另外测试黑白线条是平行于径线(弧矢方向)，还是垂直径线即切线方向(子午方向meridional一般标M)，MTF值都不一样。



镜头公司往往会以一个固定光圈，用10lp/mm分辨率的黑白线条，在偏离镜头中心不同距离处测试MTF值，来表示镜头中心外其他各点反差特性。也会用30 lp/mm在偏离镜头中心不同距离处测试MTF值，来表示镜头中心外其他各点的分辨率特性。

所以镜头公司会提供有两组曲线，一组是10lp/mm用粗线表示，另一组是30lp/mm用细线表示。每组曲线有两条，弧矢方向(测试黑白线条是平行于径线)测得的MTF曲线一般用实线表示，子午方向(测试黑白线条是垂直于径线)测得的MTF曲线一般用虚线表示，总共4条曲线。如图八;



图八

图八是某镜头距中心不同距离(mm)处的MTF图。由图中线条我们可以看出，代表反差(10
lp/mm)的蓝色粗线很高，接近于0.97，说明该镜头有着非常好的透光性(反差很大)。代表分辨率(30
lp/mm)的蓝色细线也在0.86以上，说明该镜头的分辨率也很好。蓝色曲线直到距离中心18毫米左右依然平直、仅在边缘略有下降，说明该镜头在整个成像范围内有着一致的特性，边角分辨率略有一点下降。实线与虚线距离很近，反映出该镜头像散也很小。

1mm内有N条黑白线对，那么就有N条白线和N条黑线总共2N条线。以摄像机的一个感光元对应以一条白线或黑线，那么摄像机在1mm内需要有2N个感光元来对应N条白线和N条黑线，摄像机的感光元密度就是
2N/mm;这时摄像机感光元件的分辨率和镜头的分辨率正好匹配，谁都没有浪费。下面是个例子:

1/2英寸。我们有一个2百万像素摄像机，像素数为1600×1200=1920000，感光面尺寸是

知道1/2英寸的感光面的水平尺寸是6.4mm、垂直尺寸是4.8mm，它的水平像素密度是1600/6.4=250 pixel/mm，垂直像素密度是1200/4.8=250 pixel/mm，感光像元尺寸是4um×4um。水平像素密度和垂直像素密度一样，像素是正方形的，如果像素不是正方形的镜头分辨率应参考像素密度高的。在这里水平像素密度和垂直像素密度都是250 pixel/mm，所以镜头分辨率应选125 lp/mm。

如果一个2百万像素摄像机感光面尺寸是
1/3英寸，1/3英寸感光面的水平尺寸是4.8mm，垂直尺寸是3.6mm，它的水平像素密度是1600/4.8=333.3 pixel/mm，垂直像素密度是1200/3.6=333.3 pixel/mm，所以镜头分辨率应选167 lp/mm。

有时摄像机的指标会给出感光像元的尺寸L(mm)，那么所对应镜头分辨率的黑白线宽应该

都是L(mm)，所以黑白两条线对应的一条线对的宽度是2L
(mm)，那么其倒数1/(2L)(lp/mm)就是镜头的分辨率。比如一个摄像机标出感光元的尺寸是4um,那么所选镜头的极限分辨率线宽(白线或黑线)也应该是4um

,一对黑线白线的宽度2×0.004 mm，镜头的分辨率就是1/(2×0.004)=125 lp/mm。

MTF曲线一般高端的镜头(如单反用镜头)才会提供，出于成本考虑，监控用的镜头大多只会测试中心和边缘几个点的MTF值，往往只有标出成像尺寸和分辨率(几百万)，使用时要

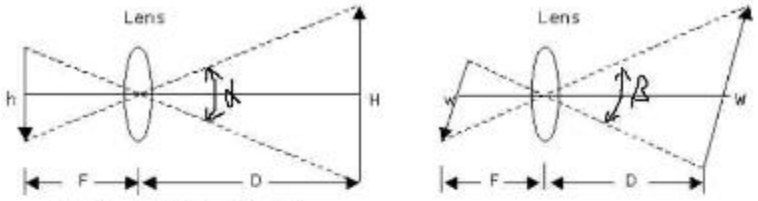
像尺寸和分辨率的对应(如上面的例子，都是200万镜头，但成像尺寸不一样，对应注意成

的分辨率也不同);

2.4 镜头焦距与视野角度

焦距是镜头中心和感光元件之间的距离，通过改变镜头的焦距，可以改变镜头的放大倍数，改变拍摄图像的大小。

在工程实际中，我们常用水平视场角来反映画面的拍摄范围。焦距 f 越大，视场角越小，在感光元件上形成的画面范围越小;反之，焦距 f 越小，视场角越大，在感光元件上形成的画面范围越大。



焦距 F = D*h/H = D*w/W

水平可视角度 = 2*tan-1((w/2)/F)=2*tan-1((W/2)/D)

垂直可视角度 = 2*tan-1((h/2)/F)=2*tan-1((H/2)/D)

其中：

h，被摄物体在感光器（CCD或CMOS）上的高度；

w，被摄物体在感光器（CCD或CMOS）上的宽度；

H，被摄物体的实际高度；

W，被摄物体的实际宽度；

D，物距，被摄物体与镜头的距离；

F，焦距，镜头与感光器（CCD/）的距离;

图八 焦距与视野角度

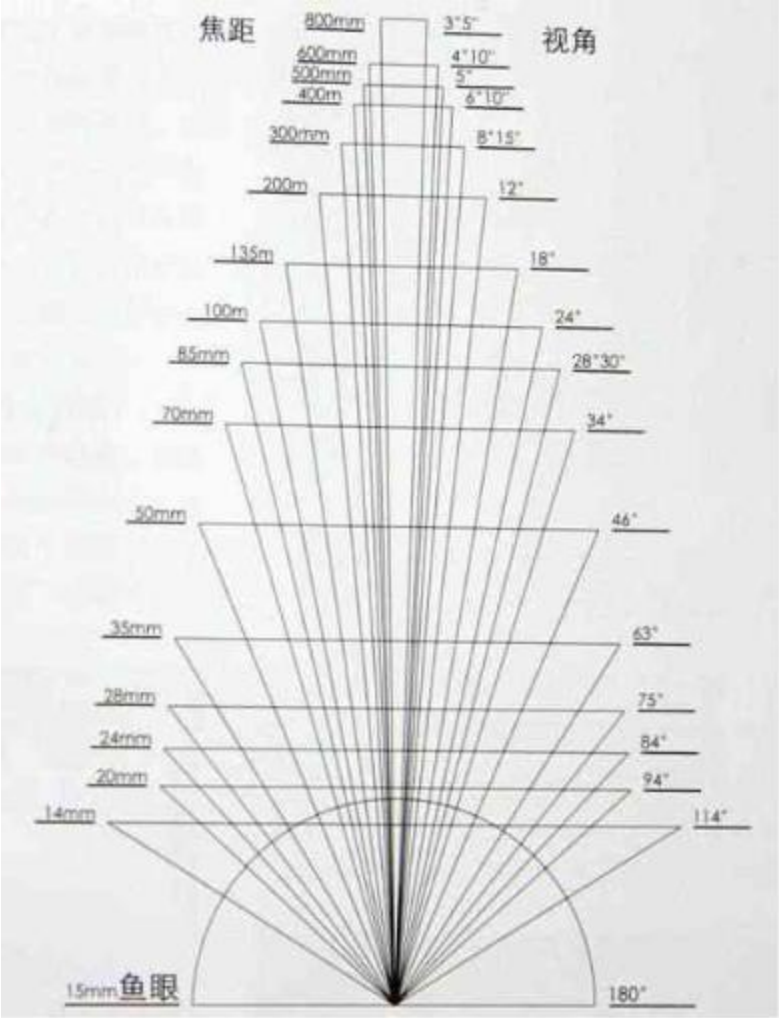
实际使用中，是根据所使用摄像机的成像尺寸，和被监控物体的尺寸大小、监控摄像机与被监控物体的距离，来确定所选镜头的焦距;

例如，需要在4米远的墙上，安装监控摄像机(使用的感光元件大小1/3英寸，宽4.8mm，高3.6mm)，监控进出大门(3米X2米)的人员;水平方向需要的焦距f = 400*4.8/300=6.4mm，垂直方向需要的焦距f =400*3.6/200=7.2mm，一般选择比计算值小的，这样视角还会大一

些，所以应选择的镜头焦距要小于等于6.4mm，实际的监控范围是3米X2.25米(焦距6.4mm);
要注意的是上述计算是基于理想镜头，实际镜头会与计算值有细微差异(因为实际的镜头往往会存在折射现象，光线没有走直线，特别是广角镜头与公式计算的差异会比较大); 工程中，可以通过镜头、场景计算软件—View Designer来确定摄像机的安装位置和参数;

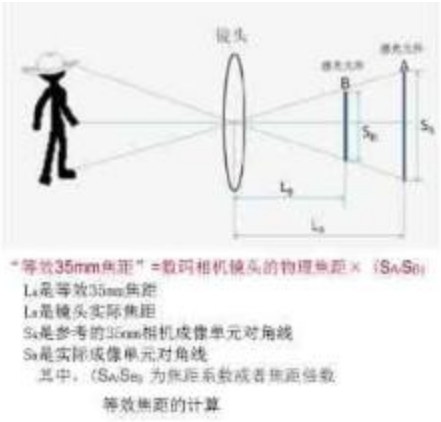
补充:等效焦距

在数码相机的镜头上，常常会看到等效焦距，还会根据等效焦距，把镜头分为鱼眼(等效焦距小于14mm)、广角(等效焦距16-28mm)、普通(等效焦距28-80mm)、长焦(等效焦距大于80mm)等，如下图;



等效焦距与视角

因为相机的感光元件(CCD或CMOS)的尺寸是随相机的不同而不同(如有1/2.5英寸，1/1.8英寸等)，所以同样焦距的镜头在不同尺寸感光元件的数码相机上，成像的视角也是不同;所以仅仅以镜头的真实焦距，无法比较不同相机的拍摄范围(成像视角)。但对于用户来说，真正有意义的正是相机的拍摄范围(视角大小)。而由于一直以来大家通常以135胶片相机(35mm相机，成像单元尺寸36mmX24mm)的镜头焦距来界定拍摄视角(135胶片相机的感光面是固定不变的)，所以大家也习惯于将不同尺寸感光元件上成像的视角，转化为135相机上同样成像视角所对应的镜头焦距，这个转化后的焦距就是135等效焦距，也就是等效焦距，见下图。



“等效35mm焦距”=数码相机镜头的物理焦距×（S_A/S_B）
L_A是等效35mm焦距
L_B是镜头实际焦距
S_A是参考的35mm相机成像单元对角线
S_B是实际成像单元对角线
其中，（S_A/S_B）为焦距系数或者焦距倍数

等效焦距的计算

格式	长度（mm）	宽度（mm）	对角线	放大系数
全画幅	36	24	43.27	1
佳能APS-H	27.9	18.6	33.53	1.3
尼康APS-C	23.6	15.8	28.43	1.5
佳能APS-C	22.3	14.9	26.82	1.6
佳能1.5英寸	18.7	14	22.58	1.93
4/3英寸	17.3	13.0	21.64	2.0
尼康1系列	13.2	8.8	15.86	2.73
1/1.7英寸	7.59	5.62	9.43	4.58
1/1.8英寸	7.2	5.3	8.96	4.84
1/2.0英寸	6.4	4.8	8.0	5.41
1/2.3英寸	6.16	4.62	7.70	5.62
1/2.5英寸	5.76	4.28	7.18	6.02
1/2.7英寸	5.3	4.0	6.64	6.52

2.5镜头光圈

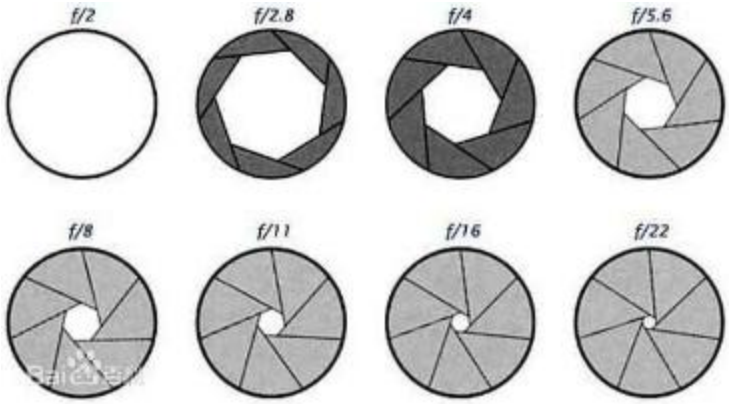
光圈是一个用来控制光线透过镜头，进入机身内感光面的光量的装置，它通常是在镜头内。表达光圈大小我们是用f值。对于已经制造好的镜头，我们不可能随意改变镜头的直径，但是我们可以通过在镜头内部加入多边形或者圆形，并且面积可变的孔状光栅来达到控制镜头通光量，这个装置就叫做光圈。

光圈F值=镜头的焦距/镜头光圈的直径;

光圈值一般有:F1.0，F1.4，F2.0，F2.8，F4.0，F5.6，F8.0，F11，F16，F22，F32，F44，F64;

光圈的档位设计是相邻的两档的数值相差1.4倍(2的平方根1.414的近似值)相邻的两档之间，透光孔直径相差根号2倍，透光孔的面积相差一倍，
底片上形成的影像的亮度相差一倍，维持相同曝光量所需要的时间相差一倍。

光圈 F
值越小，通光孔径越大(图九)，在同一单位时间内的进光量便越多，而且上一级的进光量刚好是下一级的两倍。



图九　不同光圈大小

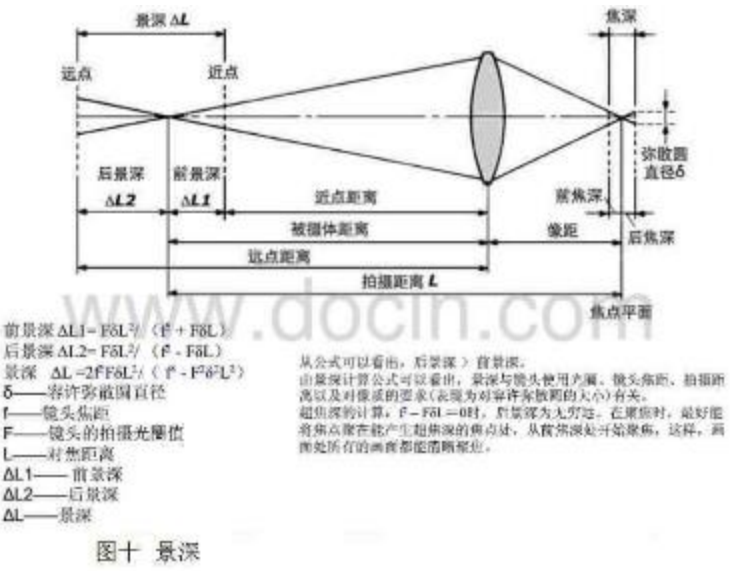
一般镜头的光圈大小都是可调的(一般都会是自动调整)，但会标出光圈的最大值(F最小)，最大光圈的意义是:最大光圈越大，进光量越多，画面越明亮，越有利于夜景的拍摄;

2.6 景深(DOF，Depth of field)

当相机的镜头对着某一物体聚焦清晰时，在镜头中心所对的位置垂直镜头轴线的同一平面的点都可以在胶片或者接收器上相当清晰的图像，在这个平面沿着镜头轴线的前面和后面一定范围的点也可以结成眼睛可以接受的较清晰的像点，把这个平面的前面和后面的所有景物的距离叫做相机的景深。

光轴平行的光线射入凸透镜时，理想的镜头应该是所有的光线聚集在一点后，再以锥状扩散开来，这个聚集所有光线的一点，就叫做焦点。在焦点前后，光线开始聚集和扩散，点的影像变成模糊的，形成一个扩大的圆，这个圆就叫做弥散圆。在现实当中，观赏拍摄的影像是以某种方式(比如投影、放大成照片等等)来观察的，人的肉眼所感受到的影像与放大倍率、投影距离及观看距离有很大的关系，如果弥散圆的直径小于人眼的鉴别能力，在一定范围内实际影象产生的模糊是不能辨认的。这个不能辨认的弥散圆就称为容许弥散圆(permissible

circle of confusion;



图十 景深

、焦距f、及拍摄物的距离是影响景深的重要因素: 光圈F

1、光圈越大(光圈值F越小)景深越浅，光圈越小(光圈值F越大)景深越深。
2、镜头焦距越长景深越浅、反之景深越深。

3、主体越近，景深越浅，主体越远，景深越深。

在监控方面，景深要尽量做大(最好是后景深无穷远)，这样就可以保证要监控的所有画面都可以聚焦清楚;

在摄影上，为了追求摄影的效果，突出被摄物体，可以减小景深，使背景虚化;

来计算; 可以用专门的景深计算器(http://so.ooidea.com/tools/dofjs.html)

3 图像传感器

像传感器，或称感光元件，是一种将光学图像转换成电子信号的设备;可分为CCD(Charge Coupled Device，电荷耦合元件)和CMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor，金属氧化物半导体元件)两大类。

3.1 工作原理

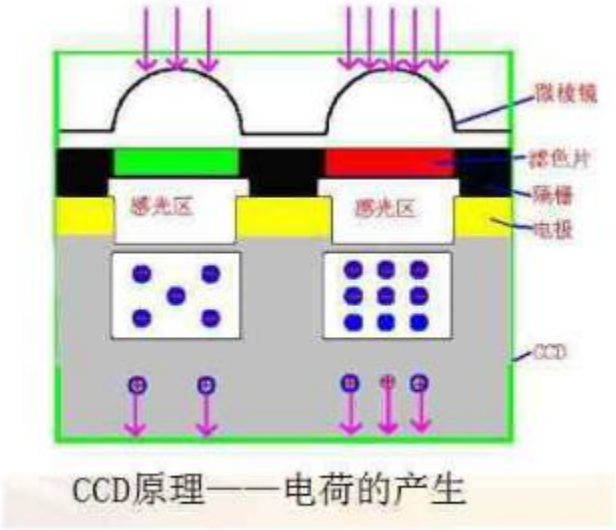
3.1.1 CCD的原理

电荷耦合摄像器件CCD的突出特点是以电荷为信号的载体，不同于大多数以电流或电压为载体的器件，CCD的基本功能是电荷的存储和电荷的转移，因此、CCD的基本工作过程主要是

信号电荷的产生、存储、转移和检测;

电荷的产生是通过感光二极管，光线照射后，由于光子的撞击，感光二极管就会产生电子迁移，产生电荷(光越强，光子越多，迁移的电子越多，电荷也越多);

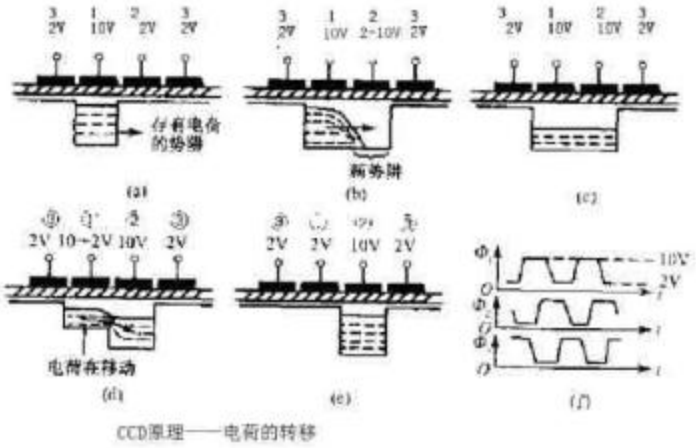
滤色片的作用是:感光二极管只能感应光的强度，无法捕获色彩信息，所以必须要加彩色滤光片，后面的处理单元根据这个像素点滤光片的颜色来分辨还原颜色;



CCD原理——电荷的产生

电荷的产生后，会存在势阱里(MOS的反型层);

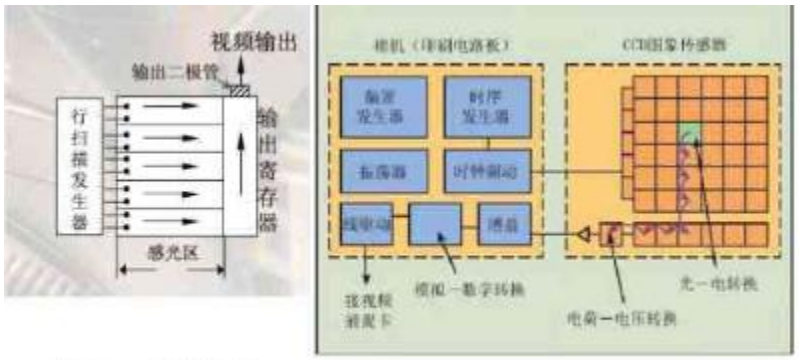
按照一定的电压顺序，在MOS的栅极上施加不同的扫描电压，存在势阱里的电荷会转移到下一个单元的势阱里，且转移过程中的电荷损耗很小，如下图;



CCD原理——电荷的转移

电荷在CCD传感器中不停的转移，最终经过电荷—电压转换电路并放大后输出;
下图是CCD图像传感器输出的示意图，可以看到整个画面(阵列)是按照一行一行依次处理

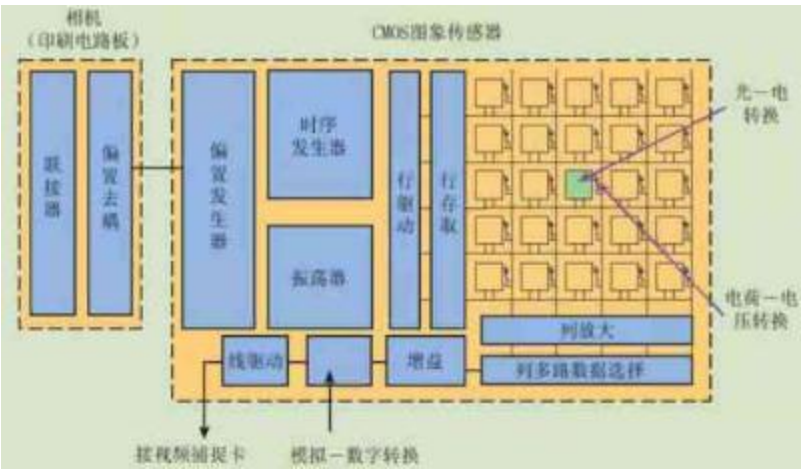
的，整个传感器只有1个电荷—
电压转换电路和放大电路，这样的结构决定了CCD获取整幅画面的时间较长(快门时间)，但画面整体的噪声要小些(所有像素都经过相同的转换和放大电路);

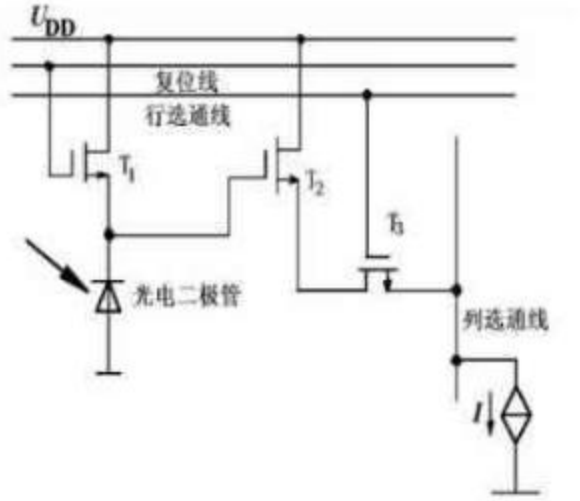


CCD原理——电荷检测和转换

3.1.2 CMOS的原理

CMOS图像传感器采用一般半导体电路最常用的CMOS工艺，其与CCD的最大不同是:CMOS的图像传感器的每个像素单元都会进行光到电荷再到电压的转换，每个像素中的器件数目要比CCD多，如下图;





CMOS图像传感器的像素单元

CMOS图像传感器的每个像素单元主要有1个光电二极管和3个MOS管;工作过程如下: 1、 复位线上发出复位信号，T1导通，光电二极管复位;

2、
撤销复位信号，T1截至，光电二极管进行光电感应，并将电荷积分，转换成电压;
3、 T2为源极跟随器，将光电二极管的高阻抗输出进行放大;

、 T3为选址模拟开关，当行列地址选通后，T3导通，将被放大的信号放到总线上;
4

3.1.3 CCD和CMOS的对比

从CMOS的结构上可以看到其与CCD相比的优点:

1、 转换速度更快，因为每个像素都进行独立的电荷—电压的转换;

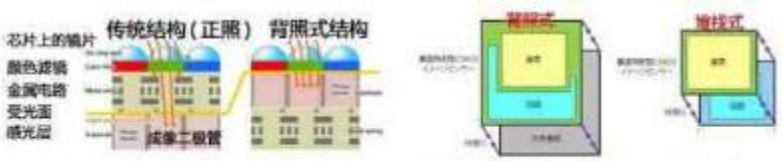
2、 成本较低，因为采用了一般的CMOS工艺生产;

3、
功耗较低，因为不需要像CCD那样进行电荷转移，工作电压没有那么高，同一时间激活

的单元也更少;

其比CCD的缺点:

1、
感光灵敏度低，因为每个像素中的元件更多，相应留给感光二极管的开口面积必然更小; 2、 噪声一般较大，因为很难保证每个像素的放大和电荷-
电压转换电路的一致性;
随着技术的进步，CMOS的性能越来越好，其感光灵敏度和噪声并不比一般的CCD差多少了;
特别是近几年左右出现的背照式和堆栈式技术(见下图)，更是大幅提高了CMOS传感器的开口受光面积，灵敏度有了很大的提高。



背照式结构主要是将感光层放在了电路层的上面
堆栈式结构主要是将行列选通等信号处理电路放在了感光面的下面（基板上）

CMOS 背照式和堆栈式技术

目前，在安防监控领域，大多选用的是CMOS的图像传感器;主要厂家有sony、OmniVision(OV)、Aptina等;

3.2 图像传感器的主要参数

图像传感器的主要参数有:传感器尺寸和像素尺寸、像素总数和有效像素、输出格式、动态范围、灵敏度等;

3.2.1 传感器尺寸和像素尺寸

说到传感器的尺寸，其实是说感光器件的面积大小。

传感器尺寸越大，感光面积越大，成像效果越好。

相同尺寸的传感器像素增加固然是件好事，但这也会导致单个像素的感光面积缩小，有曝光不足的可能。

图像传感器的尺寸用英寸表示，在监控摄像机中常用的有:1〃，2/3″，1/1.8″，1/2.3″，1/2.5″，1/2.7″，1/3″等，其实际的感光区域(靶面)大小如下图;



像素尺寸是每个像素点(单个感光原件的尺寸)，像素尺寸越大，感光性能越好，特别是在弱光条件下;一般单反相机的像素尺寸要大于4um，手机上用的一般小于2um:比如楼下暗室的星光相机的像素尺寸为5.04um，iphone6的是1.5um;

像素尺寸乘以最大分辨率，就是感光区域(靶面)的尺寸;

3.2.2像素总数和有效像素

像素总数是图像传感器中拥有的所有像素，用像素阵列表示(XX行、XX列);
总体像素中被用来进行有效的光电转换并输出图像信号的像素为有效像素。

有效像素总数隶属于像素总数集合(有效像素外的像素用于黑电平校准和插值计算);
有效像素数目直接决定了CMOS图像传感器的分辨能力;

针对安防的摄像机，其主要是用于记录视频，所以还要关注视频输出的最大分辨率和帧率;这点主要取决于图像传感器的处理能力和输出接口的带宽;

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。
如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/298067067011006124