

## 关于CCD、CMOS采样频率的一点探讨

众所周知，根据奈奎斯特-香农采样定理，CCD、CMOS可以离散采样，不大于两倍像素尺寸空间频率的信号。而长春光机所的韩昌元研究员，却认为用三个像素还原信号是合适的。为什么会有这样的差异，CCD、CMOS成像的原理是，离散的采样连续信号，每个像素所发挥的作用是在像素尺寸内，积分信号强度。

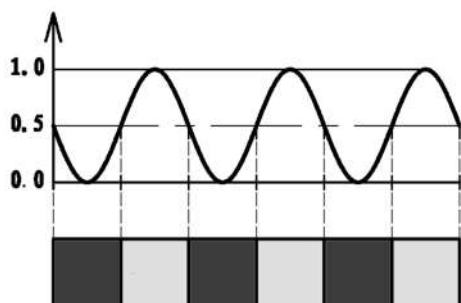


图1 两个像素采样信号无位相偏移

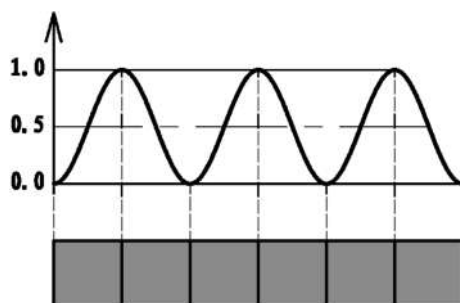


图2 两个像素采样信号有90度位相偏移

如图1所示，当两个像素尺寸恰好等于一个正弦波的空间长度时，每个像素积分相应的信号强度。假设一个周期内的积分信号强度为1，信号强度定义图3所示。此时每个像素所积分的强度存在差异，是可以分辨的，此时奈奎斯特-香农采样定理是合适的。

如图2所示，如果正弦波相位偏移90度，每个像素积分的强度数值一致，信号积分强度没有差异，因此是无法分辨的。此时，根据奈奎斯特-香农采样定理不适用，其实奈奎斯特-香农采样定理只规定最大可以还原的信号频率，并没有说还原到什么程度。

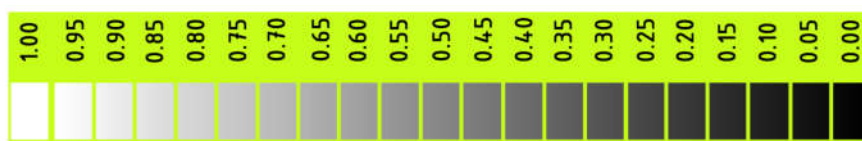


图3 信号积分强度定义

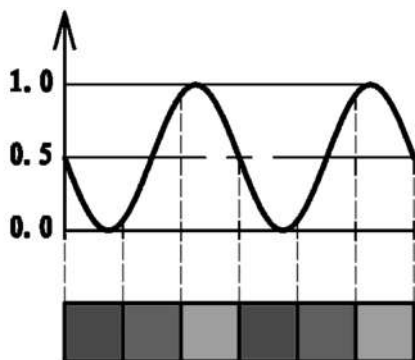


图4 三个像素采样信号无位相偏移

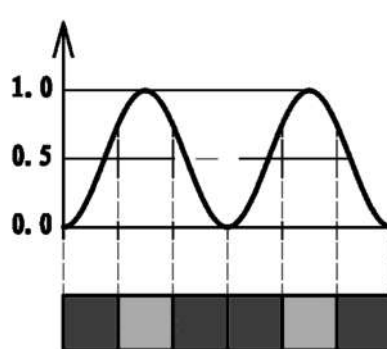


图5 三个像素采样信号有90度位相偏移

下面按照上述方法，我们来看一下韩昌元研究员用三个像素还原信号的经验，还原具体如何？不再详述，还原情况如图4、图5所示，不管正弦波相位是否偏移90度，总有两个像素积分信号强度有差异，因此是可以分辨的。

# 关于CCD、CMOS主光线角

近年来随着CCD、CMOS像素尺寸越来越小，光线的收集成了一个重大问题。因此，会给每个像素加一个微型透镜，用以收集更多的光线。摆在我们面前的问题是，微型透镜能收集多少角度以内的光线？

一般的CMOS结构如下图6所示：

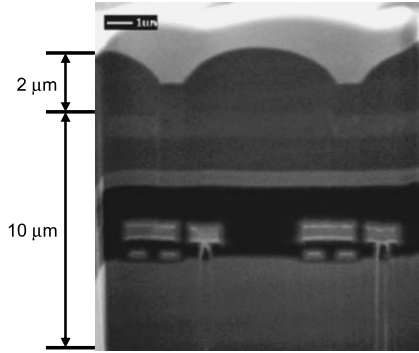


图6 CMOS结构图

当微透镜中心对齐光电探测膜中心时，如图7a所示：

可以收集10度以内的光线。但是20度以内的光线，只能收集部分。此时我们可以认为此CMOS主光线角为10度。

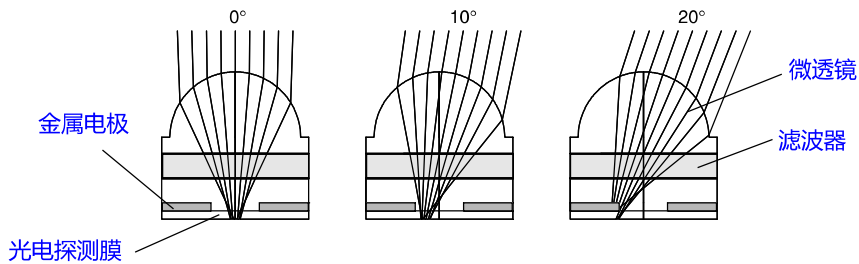


图7a 微透镜中心对齐光电探测膜中心

图7b展示了，微透镜中心与光电探测膜中心存在少量偏移时，则可以完全收集20度以内的所有光线。

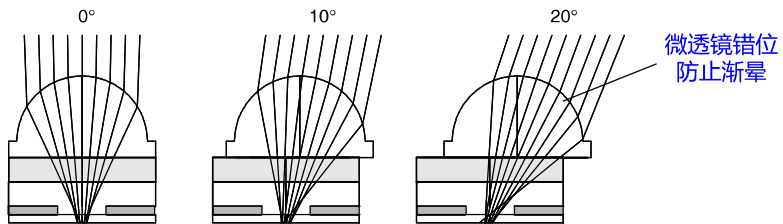


图7b 微透镜中心与光电探测膜中心存在少量偏移

## 几点论述：

为了提高填充因子，特别是在CMOS传感器上，通常使用微透镜阵列。图7a、b说明了带有微透镜的像素的结构。这由图6中的图像进一步描述，图6示出了实际CMOS像素结构的横截面。

微透镜的优点是可以避免像素边缘的不敏感区域。在CMOS传感器的情况下，当与结构中的周围层相比时，像素的感测部分可以是深的。这就形成了一个光必须穿过的

隧道。一个微透镜将光通过那个通道导入敏感层。如果像素较低，微透镜也有助于改善光线收集情况，在像素的边缘或角落附近响应。类似地，如果像素之间存在间隙，则可以将光重定向到像素的中心，以提高对入射光的总体响应。

微透镜的缺点是光学设计人员在设计时必须考虑微透镜的主光线角。必须控制主光线照射焦平面的角度，使其与阵列的接收锥相匹配。在图7a中，当微透镜阵列以每个像素为中心时，通过远心设计实现最佳光收集，即主光线正常照射图像平面。主射线与焦平面的夹角通常被称为“主光线角（CRA）”。图7a显示一旦主光线角超过10度，像素结构中埋置的金属电极上的入射辐射会出现渐晕现象；检测到的信号会显著降低。当主光线角大20度，几乎所有信号都消失了。

有时微透镜的间距和像素间距略有不同。这意味着最佳接受角不再是远心的。图7b提供了一个例子，一旦了解阵列传感器和微透镜的远心要求，就可以在设计中优化所需的角度。如果无法实现匹配，则在传感器边缘收集的光线将少于在中心收集的光线。其结果是从图像中心到角落的亮度降低，这称为相对照度的降低。

为了避免显著的渐晕引起的相对照度的降低，光学系统主光线角通常应小于10度或者12度。在大多数情况包含微透镜的阵列传感器中，要从视场边缘开始，这是由于视场边缘会在焦平面上会出现一个更大的主光线角，因此随着光学系统孔径的增加，这种角度会减小。这是一个隐藏的问题，需要更加小心的检查每一个新的设计！