

滤波片

滤波片对成像系统的影响

系统开发者理解了滤波片对图像分辨率及其他因素的影响，可以在成像系统开发过程中选用合适的滤波片来改善成像效果。

作者：Stuart W. Singer，施乃德光学副总裁

Claudia Baier，施乃德光学工业滤波片部门产品与销售经理

很多文献中都曾提到过如何使用各种功能的滤波片来改善成像系统的对比度。但奇怪的是，很少有文献涉及滤波片质量方面的内容，以及滤波片质量的差异是如何影响成像系统的。例如，在一些成像系统中，滤波片的质量差异对成像质量影响较小；而在另外一些情况下，滤波片的质量却会对成像质量产生显著的影响。

在滤波片的生产过程中，通常会对其进行研磨和抛光处理，尽管有一些滤波片是通过玻璃材料的融化和冷却成型制成的。高质量的滤波片都是通过精密研磨抛光制成的，这样波像差较小，为成像系统引入的波像差也较少。如果通过直接融化冷却成型玻璃材料制作滤波片，这样会为成像系统引入较大的误差。当然，精密研磨抛光的流程会耗费很多时间，意味着生产效率较低且成本相应增加，但是这个附加成本对于整个机器视觉系统的性能提升来讲，是非常值得的。在一些应用中，由于滤波片质量的优劣所导致的系统最终成像质量的差异，是非常明显的。



理解分辨率

为了解滤波片波像差是如何影响成像系统的，系统开发者必须了解光学系统的质量是如何测量的。例如，对于任何一个给定的镜头，可以用调制传递函数 (MTF) 的方式，来测量

镜头在不同空间频率下的分辨率 (见图 1)。

当然，光学系统的调制传递函数也取决于其他一些参数，例如图像传感器的像元大小。例如在图 1 中，假如像元大小为 $7\mu\text{m}$ ，那么在理想情况下，该图像传感能够分辨的最小物体尺寸是 $14\mu\text{m}$ (两个像素，根据奈奎斯特抽样理论)。因此，图像传感器的极限分辨率约为 $1000/14$ ，或大约 70lp/mm (线对/毫米)。当系统在奈奎斯特频率的 67% (大约是 47lp/mm 的空间频率)、MTF 值小于 30% 的时候，最终系统的成像质量会受到影响。

滤波片面型误差

更详细地讲，系统 MTF 是由镜头、滤波片、相机的 MTF 以及图像采集系统共同决定的。因此，在一些应用中，使用滤波片可以明显提升系统的分辨能力。为了用数字来说明滤波片的波像差，会用到干涉面型检测仪，参考波前是一个理想的基本上无像差的理想波前 (见图 2)。

当参考波前通过滤波片，波前

会被滤波片调制，意味着滤波片波像差将引入到参考波前内。参考平面反射镜会将调制过的波前反射回干涉仪，被调制波前与标准波前干涉，形成干涉条纹。

被滤波片调制的波前与理想参考波前干涉而形成的干涉条纹，可以被成像记录并用来测量滤波片的波像差。面型干涉仪供应商会提供专门的干涉条纹分析软件，通常可以用来分析波峰 - 波谷 (PV 值) 波像差。

根据滤波片的质量不同，干涉仪测量的数据可以反映出不同数量的干涉条纹的面型差异。例如对于一个近乎完美的滤波片，具有 $1/20$ 个波长单位 (λ) 的 PV 值，能在干涉仪中看到非常均匀的干涉条纹；但是一个面型加工较差的滤波片，可能有大于 5λ 的波像差，干涉条纹分布明显不均匀，区域差异较大 (见图 3)。

图像质量退化

为了研究在机器视觉中，各种误差导致的系统成像质量退化，将具有不同误差程度的滤波片应用到两个标准镜头——一个镜头焦距 35mm / 光圈 F/1.9，另一个镜头焦距 100mm / 光圈 F/2.6。这两款镜头都是机器视觉应用中较为常见的镜头。

使用 ZEMAX 光学系统设计软件，可以任意地模拟滤波片的各种波像差，并且将这些像差合成到镜头系统，得到包含了像差效果的 MTF 曲线图。为了实现这样的模拟，首先需要定义一些基本参数。用来测量波像差 PV 值的光学面型干涉仪的参考波长为 632.8nm，并且波像差可以转化为用标准长度单位表示，然后应用到 MTF 值中。

在图 4 中，假设传感器芯片尺寸

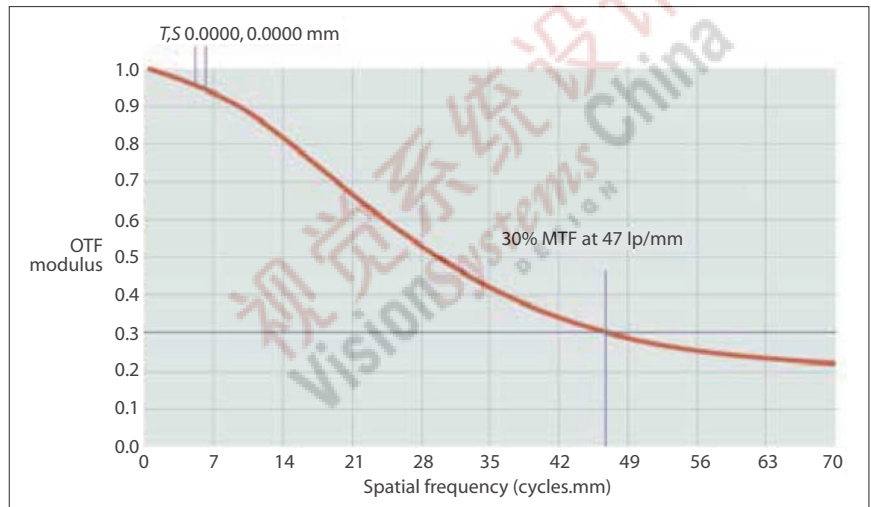


图1：施乃德推荐在机器视觉系统中使用的镜头的最小MTF值。当镜头在67%奈奎斯特频率时（或者47lp/mm），MTF值如果低于30%，光学系统就开始对成像质量造成影响。

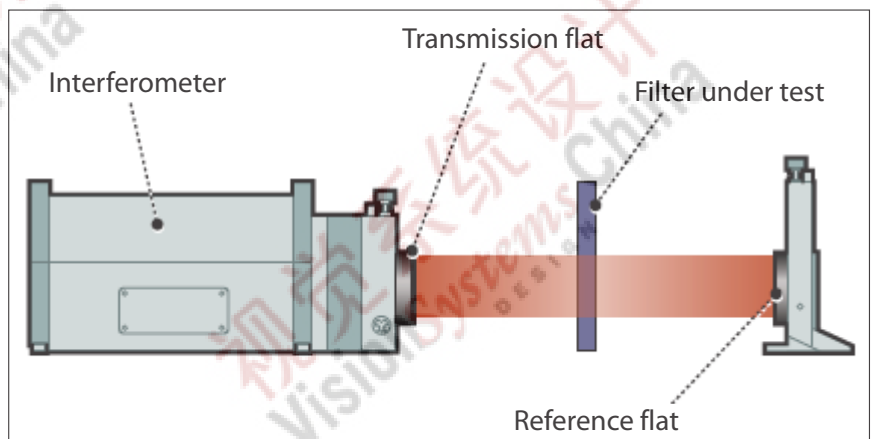


图2：在准备计算滤波片波像差之前，采用激光面型干涉仪来测量滤波片的波像差，通过一个几乎完美的平面参考波投射到滤波片上，然后透过滤波片的光束被一个参考平面反射。参考波面与滤波片反射光束相干得到干涉条纹图像，可以用来计算滤波片的面型误差。

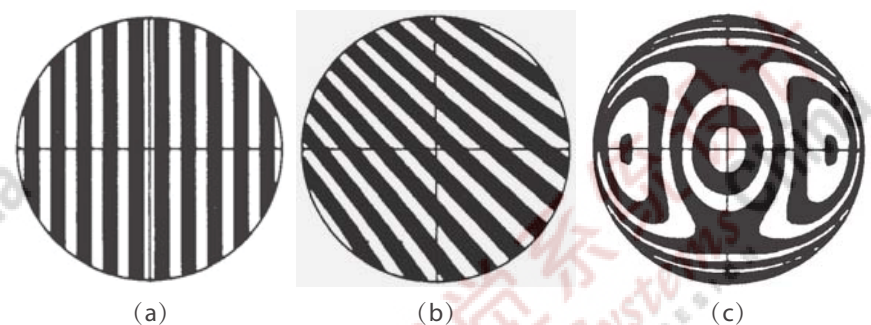


图3：不同质量的滤波片的面型干涉图样。(a) 一个几乎接近完美的滤波片，产生相对均匀的干涉条纹，波像差PV值接近 $1/20\lambda$ ；(b) 一个相当不错的滤波片的波像差PV值约为 1λ ；(c) 一个较差的滤波片会产生 5λ 以上的不规则波像差。

为 8.8mm × 6.6mm，即 2/3 英寸，传感器芯片的对角线尺寸为 11mm，像元尺寸 $7\mu\text{m}$ 。镜头的 MTF 曲线都是按照如下分类的：轴上视场（蓝色）；

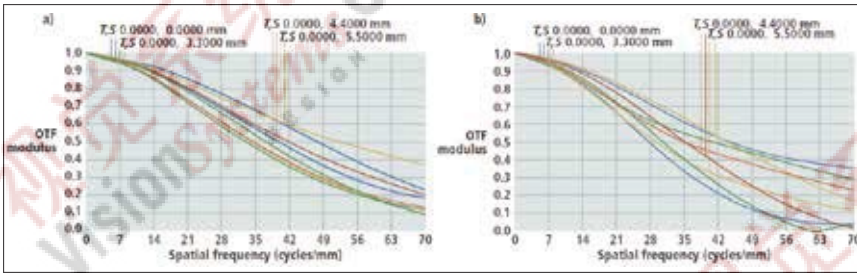


图4: (a)使用焦距35mm/放大倍率0.1x/光圈值为F1.9的镜头,以及在全尺寸范围PV值为1的滤波片,系统的图像质量下降微小,几乎可以忽略。(b)使用同样的镜头,但PV值为3的滤波片,系统成像质量下降非常明显。

垂直方向边缘视场(绿色);水平方向边缘视场(红色);对角线边缘视场(金色)。每个镜头对应一个MTF曲线图。MTF是通过标准测试图样来完成的,包含了镜头的午子方向(T)和弧矢方向(S)两个数据曲线。因此,T和S的MTF差异越大,表明镜头的像散越大。

如果使用短焦距镜头(如

35mm/F1.9),对于图像芯片来说,每一个像素的成像光束在滤波片上的通光面积,与整个滤波片的面积相比,要小很多,这就使得镜头对滤波片误差不太敏感(如图4a)。因此,一个低质量的滤波片并不会造成较明显的成像质量下降。如果要成对成像质量有显著影响,滤波片的波像差需要达到足够大。

如果在最高分辨率47lp/mm处,MTF下降到低于30%,光学系统的表现就会有所下降。当滤波片波像差还不是很大的时候,MTF下降不明显;当滤波片波像差逐渐增大后,MTF下降非常明显。比如当滤波片全口径PV值达到 4λ 时,成像质量明显退化(见图4b)。

使用质量较差的滤波片(波前PV值为 4λ),即使在镜头的入瞳很小的情况下,图像质量开始下降,但尚未严重退化,这是因为对于镜头成像光束来说,被滤波片调制的带有波像差的光束只占较小的比例。

如果使用焦距100mm/F2.6的长焦镜头大光圈,情况就完全不同了。在这种情况下,图像质量对滤波片波像差更加敏感。焦距100mm的镜

高分辨率镜头 现已有售!

马上采购吧!



TECHSPEC®
高分辨率的定焦镜头



TECHSPEC®
高品质500万像素
远心镜头

TECHSPEC®

高分辨率镜头,以用于1"和 $\frac{1}{2}$ "传感器

需要帮助?

联系我们的专家今天!

www.edmundoptics.cn/imaging

自主研发 | 自主生产 | 值得信赖

Edmund
optics | china

Tel: +86 (0755) 2967 5435

www.edmundoptics.cn

在2014年
3月18-20日,
光顾我们
慕尼黑上海光博会
E1-1602展位.

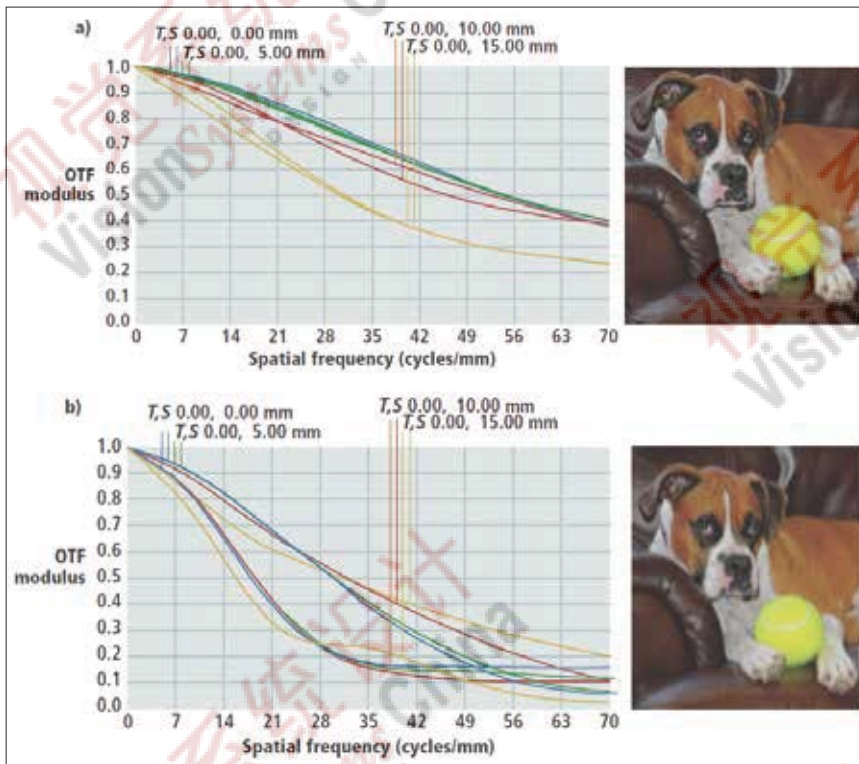


图5: (a)使用焦距100mm的镜头,放大倍率1x,光圈F2.6,当滤波片波像差PV值为 $1/20\lambda$ 时,47lp/mm的MTF值勉强大于30%。(b)使用相同的镜头,换成波像差PV值为 1λ 的滤波片,图像质量出现非常明显的退化。

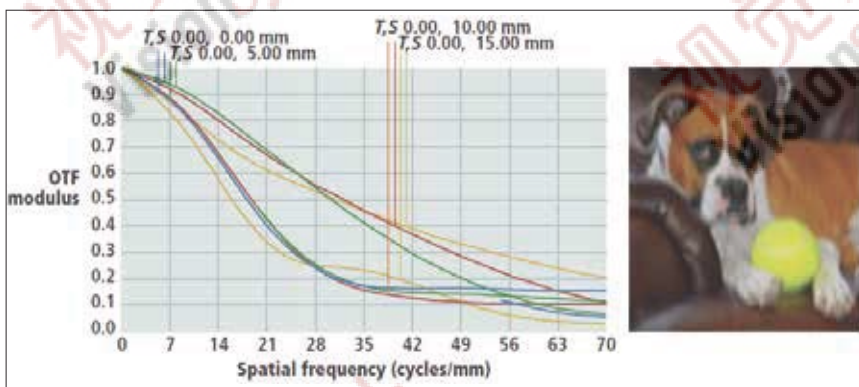


图6: 焦距100mm的镜头,放大倍率为1x,光圈为F2.6,滤波片波像差PV值为 1.5λ 。可以看到,图像质量严重下降。

头加上F2.6的光圈,设定光学系统的放大倍率为1x,其比焦距35mm的镜头更容易受滤波片面型质量的影响。

例如,焦距100mm的镜头,附带PV值仅 $1/20\lambda$ 的滤波片,才刚好能满足分辨率为47lp/mm时,MTF不小于30%,如图3中所示。

当该镜头应用到更大的倍率时,图像退化更加严重,对滤波片波像差的要求也更加严格(见图5a)。用同样的100mm镜头,如果附带PV值为 1λ 的滤波片,则图像质量下降非常大(见图5b)。

当滤波片的波像差PV值达到 1.5λ 时,图像质量下降非常严重(见

图6)。从这个例子可以看出,镜头对滤波片的波像差相当敏感,即使是使用质量较好的滤波片(PV值 1.5λ),图像质量的下降已经很严重。在这种情况下,如果想不影响成像质量,只有使用近乎完美的滤波片了。

选择滤波片

光学系统如果是采用短焦镜头或是小光圈值,这两种情况下可以容忍使用波像差较差的滤波片。但是当光学系统增大光圈值或增大镜头焦距、相机图像传感器像元分辨率要求小于 $7\mu\text{m}$ 时,又或者系统需要更大放大倍率时,滤波片波像差对镜头的影响就不可忽略。在这种情况下,需要谨慎选择滤波片以保证最优的图像质量。

毫无疑问,滤波片质量会影响视觉系统最终采集图像的质量。不幸的是,滤波片厂商很少会提供滤波片光学质量信息。尽管出于多种原因很多滤波片制造商无法提供有关滤波片质量的相关数据,但是类似于波像差这样的参数能够很容易用激光面型干涉仪测量得到。

通过为客户提供这些详细的滤波片数据,供应商也可以帮助系统开发商以最优的方式来制定光学系统参数规格。如果对滤波片影响的评估和分析不是在系统集成之前完成的,那么系统开发者需要进行一个测试,通过分别测试滤波片放入光学系统前后的成像效果,来判断滤波片质量对像质造成了多大的影响,以评估可能潜在降低图像质量的因素。