

CTP 成像系统的 MTF 测量评价研究

陈羽茜, 唐正宁

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: 分析了 MTF 测量的正弦光栅法和倾斜刃边法, 总结了 2 种方法的优缺点, 并分别用 2 种方法对一简单成像系统的 MTF 进行了测量, 然后将结果与 ISO 标准进行了对比。结果表明, 用倾斜刃边法测量不仅操作简单、易控制, 测量结果也更精确。

关键词: 调制传递函数(MTF); 正弦光栅; 倾斜刃边法; 补偿修正

中图分类号: TS807; TS803.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)11-0115-03

Research on MTF Measurement and Evaluation of CTP Imaging System

CHEN Yu-xi, TANG Zheng-ning

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Sinusoidal grating method and slanted edge method of MTF measurement was analyzed. The advantages and disadvantages of the two methods were summarized. MTF of simple imaging system was then measured using the two methods and the compared with ISO standard. The results showed that slanted edge method is not only easy operation and simple control but also has higher accuracy of measurement results.

Key words: MTF; sinusoidal grating; slanted edge method; compensation

CTP 技术是一种很重要的数字化印刷技术。随着数字化印刷系统对图像质量要求的不断提高, 尝试对 CTP 成像系统的调制传递函数 MTF 的测量方法进行分析研究。

1 正弦光栅法

成像系统的物平面亮度分布为 $i(x)$, 像平面亮度分布为 $i'(x)$, 两者满足以下方程:

$$I'(s) = \text{MTF}(s)I(s) \quad (1)$$

其中: $I(s)$ 由 $i(x)$ 的傅里叶转换得到; $I'(s)$ 由 $i'(x)$ 的傅里叶转换得到; $\text{MTF}(s)$ 是成像系统的 MTF; s 是空间频率; x 空间距离。

只要获得 $i(x)$ 和 $i'(x)$, 对这 2 个函数进行傅里叶转换, 得出它们的比率, 从而得到 MTF 的值。

将一个正弦光栅作为物平面信号, 它的频率是均匀但不连续的, 那么, 像平面信号就是相对于物平面信号对比度减小且相位不同的正弦光栅。物平面的亮度分布为:

$$i(x) = i_{av}[1 + C\cos(2\pi xs + \varphi)] \quad (2)$$

式中: i_{av} 是照明体光照强度; x 是空间距离; s 是空间频率; φ 是相位角; C 是常数。

如图 1, 像平面与光栅平行, 在像平面的后方有

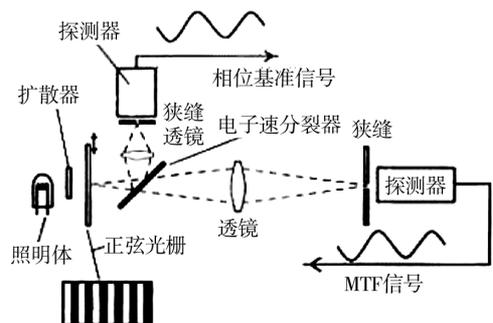


图 1 用扩大正弦光栅进行 MTF 测量的原理
Fig. 1 Principle of MTF Measurement using extended sinusoidal grating

一个探测器, 用于接收来自成像系统的所有光线, 并由此获得成像系统的线扩展函数为 $\text{LSF}(x)$ 。像平面的亮度分布为 $i(x)$ 与线扩展函数的卷积^[1-2]:

收稿日期: 2012-03-13

作者简介: 陈羽茜(1988—), 女, 江苏人, 江南大学硕士生, 主攻印刷工艺与原理。

$$i'(x') = \int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(x' - x) i(x) dx \quad (3)$$

其中: x' 是像平面空间距离。

将方程(2) 代入可以得到:

$$i'(x') = i_{av} \int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(x' - x) [1 + C \cos(2\pi s x + \varphi)] dx \quad (4)$$

令: $X = x' - x$

$$i'(x') = i_{av} \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(X) dX + C \cos(2\pi s x' + \varphi) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(X) \cos(2\pi s X) dX + C \sin(2\pi s x' + \varphi) \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(X) \sin(2\pi s X) dX \right\} \quad (5)$$

$\int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(X) \cos(2\pi s X) dX$ 和 $\int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(X) \sin(2\pi s X) dX$ 分别是 $\text{LSF}(X)$ 的余弦和正弦转换, 可以记作 $T_c(s)$ 和 $T_s(s)$, 将图像的线扩展函数的总通量由方程 $\int_{-\infty}^{+\infty} \text{LSF}(X) dX = 1$ 进行归一化, 相当于求物平面和像平面的平均亮度^[3]:

$$\begin{aligned} i'(x') &= i_{av} \{ 1 + C \cos(2\pi s x' + \varphi) T_c(s) + C \sin(2\pi s x' + \varphi) T_s(s) \} \\ &= i_{av} \{ 1 + \text{MTF}(s) C \cos(2\pi s x' + \varphi + \text{PTF}(s)) \} \end{aligned} \quad (6)$$

其中:

$$\text{MTF}(s) = [T_c(s)^2 + T_s(s)^2]^{0.5} \quad (7)$$

对比(3)和(6)可以看出, $\text{MTF}(s)$ 就是像平面与物平面对比度的比值。如果物平面有确定的对比度, 那么 MTF 可以直接由像平面的对比度得到^[4-5]。

在测量过程中, 由于狭缝有一定的宽度, 测量到的对比度比实际的有所减小, 因此需要对测量的 MTF 值进行补偿修正。

如像平面亮度分布 $i'(x)$ 是由 $i(x)$ 与线扩展函数 $\text{LSF}(x)$ 的卷积得到的原理一样, 探测器的信号可由 $i'(x)$ 与狭缝函数的卷积得到, 因此, 实际的像平面亮度分布 $i'_m(x)$ 的傅里叶转换与测得的亮度分布 $i'(x)$ 傅里叶转换的关系如下:

$$I_m(s) = I'(s) / B'(s) \quad (8)$$

$B'(s)$ 是狭缝函数的傅里叶传递, 并且:

$$B'(s) = \sin(\pi b s) / (\pi b s) \quad (9)$$

b 是狭缝的宽度, 它可以作为 MTF 测量的补偿修正因数。

$$\text{MTF}(s)_m = \text{MTF}(s) / |B'(s)| \quad (10)$$

$\text{MTF}(s)_m$ 是补偿修正后的 MTF 值^[6]。

用正弦光栅法测量 CTP 成像系统的 MTF 的优点是测量过程中的噪声干扰较小, 缺点是要产生连续空间频率的正弦波比较困难, 测量过程中狭缝的宽度会导致 MTF 的误差, 需要引入狭缝函数进行补偿修正, 且狭缝在其宽度变化上不一致, 因此校正的过程比较复杂。

2 倾斜刃边法

将一个包含倾斜黑色正方形的白色背景图像输入 CTP 成像系统中, 见图 2。

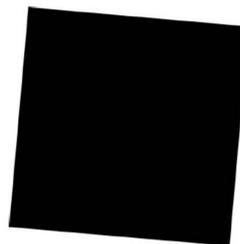


图 2 用于倾斜刃边法的倾斜正方形
Fig. 2 Slanted square for slanted edge method

在图像中选取计算 MTF 值的兴趣区域进行由黑白到转变分析见图 3a, 使用滤波器对兴趣区域的每一个行进行求导得到各行的阶段函数。找出兴趣区域的矩心并对它进行线性拟合见图 3b。计算所有相位转换的行数, 调整兴趣区域的尺寸使得兴趣区域包含整数个相位转换。将兴趣区域所有像素点的线性拟合投影到第 1 行见图 3c。计算所有线性函数的平均值, 对平均值进行求导然后输入滤波器, 输出信号的傅里叶转换即为成像系统的 MTF 值见图 3d^[7]。

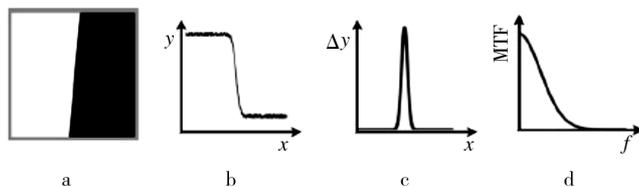


图 3 倾斜刃边法测量 MTF 的基本原则
Fig. 3 Basic principle of MTF measurement using slanted edge method

当分析刃边与成像系统像素垂直时 MTF 为:

$$\text{MTF}(s) = \sin(\pi s a) / \pi s a \quad (9)$$

式中: s 是空间频率; a 是像素宽度。

当分析刃边与成像系统像素呈 θ 角时 MTF 为:

$$\text{MTF}(s) = \frac{\sin(\pi sa)}{\pi sa} \frac{\sin[2\pi sH \cdot \sin(\theta/2)]}{2\pi sH \cdot \sin(\theta/2)} \quad (10)$$

式中: H 是像素高度。

在测量过程中,空域的拉伸过程会导致频率的压缩,从而使得测得的 MTF 值产生误差,但可以通过将倾斜正方形旋转一定角度来对测得的 MTF 值进行补偿修正:

$$\text{MTF}'(s) = \text{MTF}(s \cos \theta) \quad (11)$$

式中: $\text{MTF}'(s)$ 是修正后的 MTF; s 是倾斜刃边的 MTF 所在空间的频率; θ 为修正的旋转角度。

用倾斜刃边法来测量 CTP 成像系统的 MTF 优点是倾斜刃边法的测试图像容易绘制,并且操作简单容易控制。虽然成像系统和算法过程会导致 MTF 值的误差,但是通过倾斜角度法可以进行补偿修正。在某些系统的 MTF 测量中,倾斜刃边法已经被作为标准 MTF 测量方法^[7-9]。

3 方法对比

ISO 16067-2 可以用作成像系统标准 MTF 测量方法,因此用正弦光栅法和倾斜刃边法分别对一简单成像系统的 MTF 进行测量,然后与 ISO 16067-2 中的 MTF 测量标准法得到的测量值进行对比^[10],见图 4 和表 1。

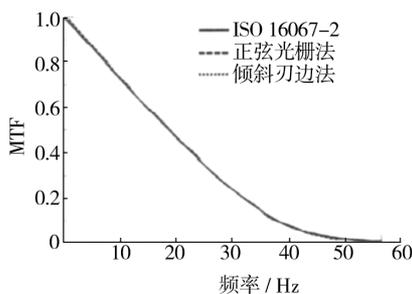


图 4 2 种方法测量结果与 ISO 16067-2 的比较

Fig. 4 Comparison between result of the two methods and ISO 16067-2

表 1 2 种方法的测量结果与 ISO 16067-2 误差的最大值、平均值和均方根值

Tab. 1 E_{\max} , E_{mean} , E_{rms} of the two methods with ISO 16067-2

	E_{\max}	E_{mean}	E_{rms}
正弦光栅法	0.014 5	0.004 6	0.005 5
倾斜刃边法	0.007 8	0.003 8	0.004 3

从表 1 中也可以看出,倾斜刃边法测得的 MTF 值与 ISO 16067-2 相比,误差最大值为 0.007 8,误差平均值为 0.003 8,明显小于正弦光栅法的误差。

4 结论

基于对 CTP 成像系统的 MTF 测量的研究,分析了正弦光栅测量法和倾斜刃边法。正弦光栅法的缺点在于正弦信号难以获得并且结果校正比较复杂,倾斜刃边法测试图像易形成且校正过程相对简单。用 2 种方法对一简单成像系统进行测量,结果分别与 ISO 16067-2 标准 MTF 测量法的结果进行比较,结论是倾斜刃边法误差较小,测量的精度较高。

参考文献:

- [1] CORBETT F J. Sensor Performance Evaluation of the Skylab Multispectral Photographic Facility[J]. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, 1974 (5): 239-246.
- [2] TZANNES A, MOONEY J M. Toward the Characterization of Infrared Cameras[R]. Rome: SPIE, 1993.
- [3] MCCANN J J. Color Gamut Mapping Using Spatial Comparisons[R]. Marcu: SPIE, 2009.
- [4] 贺文琼. LCD 显示器颜色特性文件质量分析[J]. 包装工程, 2006, 27(4): 41-42.
HE Wen-qiong. Analysis of LCD Color Profile Quality [J]. Package Engineering, 2006, 27(4): 41-42.
- [5] 陈亚雄. 输出设备颜色特性文件中信息的读取方法[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 25-28.
CHEN Ya-xiong. How to Get Color Data from an output Profile[J]. Package Engineering, 2005, 26(1): 25-28.
- [6] BURNS P D, WILLIAMS D. Using Slanted Edge Analysis for Color Registration Measurement[R]. New York: Eastman Kodak Company, 1999.
- [7] MAIDMENT A D A, ALBERT M. Conditioning Data for Calculation of the Modulation Transfer Function [J]. Med Phys, 2003, 30(2): 248-253.
- [8] IKONOS T C. Satellite on Orbit Modulation Transfer Function (MTF) Measurement Using Edge and Pule Method [D]. Brooking: South Dakota State University, 2002.
- [9] ISO 16067-1, ISO 16067-1:2003, Photography-electronic Still Picture Cameras-resolution Measurements of Electronic Scanners for Photographic Images-part 1: Scanners for Reflective Media ISO[S].