

基于汉字靶板的数码相机像质评测方法

李振杰 周桃庚 朱泰然 刘琳 李桂萍 沙定国

(北京理工大学光电学院, 北京 100081)

摘要 基于对汉字使用频率及其空间频谱的分析,设计了一种数码相机像质评测用的汉字靶板。通过对 37 台不同型号数码相机的空间频率响应(SFR)、主观质量因子(SQF)及汉字靶板测试结果的统计分析,获得了最小可识别汉字磅值分别与 SFR、SQF 之间的经验公式。另抽取 10 台数码相机验证,结果显示调制传递函数测试法获得的 SFR、SQF 值均落在汉字靶板测试法获得 SFR、SQF 的 95% 的置信区间内。这种汉字靶板测试法类似于判读视力表的方式,简化了测试设备,操作方法也简单。

关键词 测量;汉字靶板;空间频率响应;主观质量因子;像质评价

中图分类号 O435.2 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201333.0112003

Evaluation Method of Digital Camera Image Quality Based on Chinese Characters Testing Chart

Li Zhenjie Zhou Taogeng Zhu Tairan Liu lin Li Guiping Sha Dingguo

(School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract Based on the use frequency of Chinese characters and its space frequency spectrum analysis, a Chinese characters testing chart is designed for digital camera image-quality evaluation. Under statistical analysis of test results of spatial frequency response (SFR), subjective quality factor (SQF) and the Chinese characters testing chart for 37 different models of digital cameras, the empirical formulas between the just recognizable Chinese characters point size and SFR/SQF are obtained. Verification tests of 10 other digital cameras show that measured SFR/SQF values fall in 95% confidence interval. The Chinese characters testing chart is similar to visual testing chart. This evaluation method has some advantages compared to other methods, such as convenient operation, simplified equipment.

Key words measurement; Chinese characters testing chart; subjective quality factor; spatial frequency response; image-quality evaluation

OCIS codes 220.4800; 040.1490; 110.3000; 110.4850; 120.0120

1 引言

数码相机自 20 世纪 90 年代问世以来,在影像领域发展迅速,并已渗透到民众的日常生活和科技活动中。由于数码相机在各种拍摄条件下的清晰度性能是影像扩印、显示乃至目标图像识别的一个十分关键的因素,它自然就成为了人们关注的焦点。

20 世纪 60 年代以来,光学和光电系统的成像性能一直沿用光学调制传递函数(MTF)来测量和评价其优劣。MTF 是评价光学相机成像质量的重

要指标之一,反映了成像系统对不同空间尺度目标的调制传递特性^[1,2]。刀口测量法因为操作方便、靶标易于加工和不受衍射干扰等优点得到普遍应用^[3]。

对于数码相机清晰度的评测主要是基于倾斜刀口法的 MTF 测量,且 ISO12233^[4]将该方法作为电子静态图像相机分辨率测试的标准方法。该方法通过对包含刀口特征的图像进行梯度分析,计算得到系统的 MTF,从中提取出对应给定 MTF 数值的空

收稿日期: 2012-07-26; **收到修改稿日期**: 2012-08-21

基金项目: 国家科技支撑计划(2011BAI02B06)资助课题。

作者简介: 李振杰(1987—),男,硕士研究生,主要从事阈值对比度方面的研究。E-mail: lzhenjie@163.com

导师简介: 周桃庚(1966—),男,博士,副教授,主要从事光学测试、像质评价等方面的研究。E-mail: bitzhtg@bit.edu.cn

间频率数(一般是 MTF50,即 MTF 为 0.5 所对应的空间频率),并以每像高线数(LW/PH)来表征。这种用空间频率来描述数码相机清晰度性能的方法,称之为空间频率响应(SFR)法,是目前最为常用的用于评价成像系统解像能力的指标^[4]。实验结果表明,倾斜刀口法计算结果的误差最大值不超过 1.7%^[5]。

基于 MTF 评测镜头及数码相机广泛采用的成像质量判据还有主观质量因子(SQF)^[6,7]。SQF 定义为成像镜头的 MTF 在 $10\sim 40\text{ mm}^{-1}$ 范围内对数空间频率域的积分值,是评价摄影镜头的一个主观质量因子。

以上 SQF 和 ISO12233 所采用的 SFR 的这两种判据虽然都已得到了业内广泛认可,但由于对检测设备及其检测条件的要求比较苛刻,对图像数据的采集与处理更是需要在一个专业评测软件的支持下才能完成。因此,该评测手段现阶段也只在一些实验和专业评测部门使用。

在 MTF 和 SQF 的评测方法的基础上,本文采用由具有代表性的多组不同汉字按一定的字高顺序排列成的汉字靶板,通过人眼直接判读放大拍摄的标准字体影像的方式评测出数码相机的清晰度性能。

2 汉字靶板的设计

汉字靶板设计时需要选出一组可代表所有常用汉字的特征汉字,而且理想情况下应该同时具备横向、垂直、斜向和弧形的笔画。由于数码相机是一个低通空间滤波器,所以要求这一组汉字在等字高的情况下经过相同的空间滤波后,空间频率成分基本相同^[8]。

从 2500 个常用汉字中分别选择 7、8、9 笔画汉字(共 890 个)作为靶板的备选汉字。选择 7~9 笔画汉字的依据为:1)在 5991 个比较常用的汉字中,使用几率较高的前 500 汉字的平均笔画为 7.24;2)现代汉语常用 2500 字中,以 8 笔画和 9 笔画字居多;3)现代汉字中使用几率最高字“的”的笔画为 8 笔画^[9]。

将以上所选的 890 个汉字逐个制作字高为 72 pt,画幅为 $100\text{ pixel}\times 100\text{ pixel}$ 的图像,逐一进行二维傅里叶变换,得到的傅里叶频谱图像如图 1 所示。给定一个截止频率 f_i ,对该傅里叶频谱图像进行低通滤波,即将大于该截止频率的频率全部衰减掉,然后计算滤波后图像的频谱能量 $E(f_i)$ 。

用最小二乘法进行拟合得出截止频率 f_i -滤波后图像的频谱能量 $E(f_i)$ 曲线如图 2 所示;对该拟

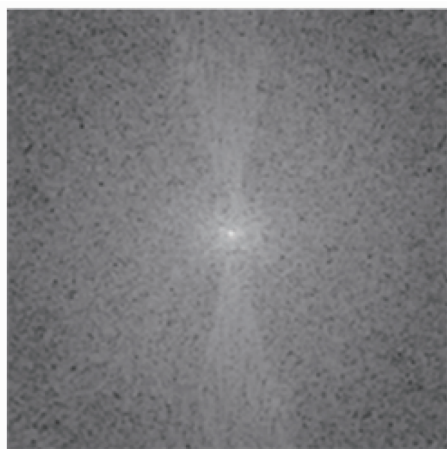


图 1 汉字的傅里叶谱图像

Fig. 1 Fourier spectral image of Chinese characters

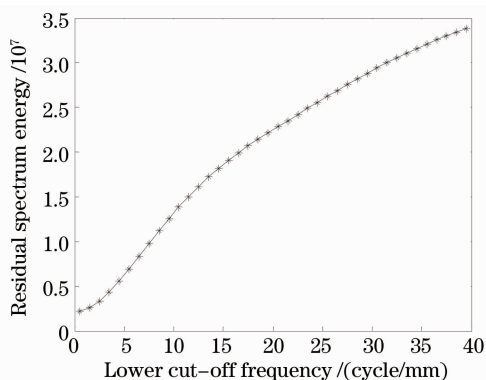


图 2 “秋”字截止频率-滤波后图像的频谱能量曲线

Fig. 2 Lower cut-off frequency-residual spectrum energy curve of Chinese character “秋”

合曲线一阶微分得到频率-频谱能量曲线。依此作为参照,从中选取空间频率的频谱能量值相似的汉字。

由于理想的汉字视标应该同时具备横向、垂直、斜向和弧形的笔画^[9],因此,所选十个汉字分别为

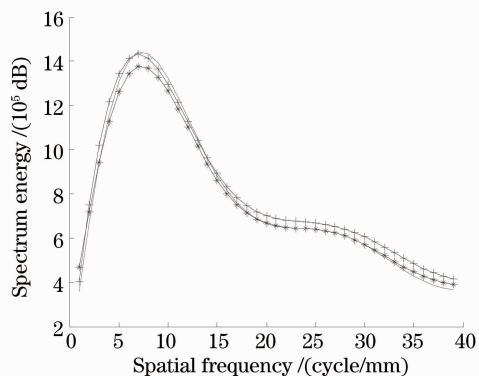


图 3 “秋”、“祝”、“择”的频谱能量分布图

Fig. 3 Spectral energy curve of Chinese characters “秋”、“祝”、“择”

相机 12 台、单反数码相机 8 台、手机 17 台)进行测试,得到每台相机的 MTF 及 SFR。根据(3)式计算出扩印尺寸为 40 cm、视距为 60 cm 下的 SQF。

将汉字靶板放置在均匀光照条件下,用上述被

测数码相机拍摄靶板并读出图片上可识别出的最小汉字的磅值。最小可识别汉字磅值与 SQF 数值和 SFR 之间的关系分别如图 5 和图 6 所示,并利用最小二乘法,拟合得到的经验公式分别为

$$y_{SQF} = -30.26 \ln x + 119.64, \quad u(y_{SQF}) = s_{SQF} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (5)$$

$$y_{SFR} = 5847.8x^{-1.157}, \quad u(y_{SFR}) = s_{SFR} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \quad (6)$$

式中 s_{SQF} 和 s_{SFR} 分别为剩余标准差, $u(y_{SQF})$ 和 $u(y_{SFR})$ 分别为 y_{SQF} 和 y_{SFR} 的标准不确定度。以(5)式和(6)式分别表示的最小可识别汉字的磅值与 SQF 和 SFR 的关系都高显著度相关,样本相关系数分别为 0.970 和 0.988。

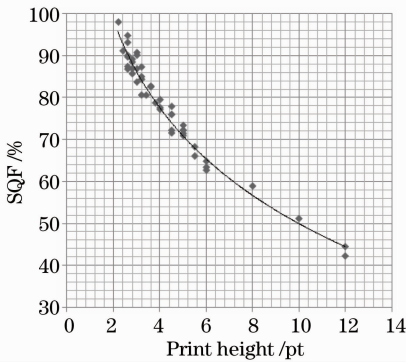


图 5 SQF-汉字磅值对应关系曲线

Fig. 5 Corresponding curve of SQF-Chinese character size

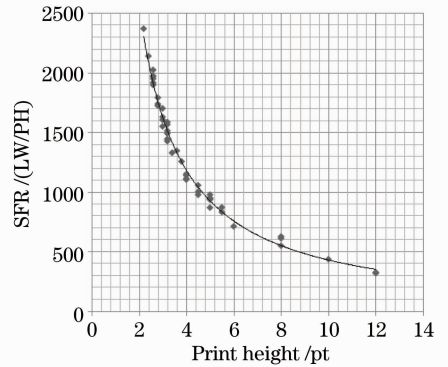


图 6 SFR-汉字磅值对应关系曲线

Fig. 6 Corresponding curve of SFR-Chinese character size

3.3 SQF、SFR 与可识别最小汉字磅值之间统计关系的验证试验

另抽取除上述 37 台数码相机型号之外的 10 台

不同型号的数码相机,分别进行上述的 SFR 测试和汉字靶板测试,分别得出它们的 SQF、SFR、最小可识别汉字磅值。给定置信水平 $p=95\%$,根据(5)式和(6)式计算得到 SQF 和 SFR 的置信区间分别为 $[y_{SQF} - t_{95}(35)u(y_{SQF}), y_{SQF} + t_{95}(35)u(y_{SQF})]$ 和 $[y_{SFR} - t_{95}(35)u(y_{SFR}), y_{SFR} + t_{95}(35)u(y_{SFR})]$,其中 $t_{95}(35)$ 表示置信水平 95%,自由度为 35 的 t 分布值。计算结果如表 1 所示。

表 1 汉字磅值-SQF 值和 SFR 值统计关系的实验验证

Table 1 Verification test of Chinese character size-SQF and SFR value statistical relation

Digital camera type	Measured SQF /%	Measured MTF ₅₀ / (LW/PH)	Confidence interval SQF /%	Confidence interval MTF ₅₀ / (LW/PH)
Motorola MB525	62.6	632	[60.8, 70.0]	[619, 850]
NIKON D3100	87.3	1919	[86.3, 95.2]	[1809, 2041]
FUJIFILM S7100	86.7	1972	[86.3, 95.2]	[1809, 2041]
SONY DSC-WX9	77.3	1116	[69.6, 78.6]	[908, 1138]
Canon IXUS 85 IS	89.6	1953	[86.3, 95.2]	[1809, 2041]
QCAM-AA	51.2	442	[44.9, 55.0]	[285, 531]
HTC Z715e	77.2	1143	[73.2, 82.2]	[1057, 1287]
BlackBerry 9800	66.0	816	[60.8, 70.0]	[619, 850]
SAMSUNG GT-I9100	72.1	982	[66.4, 75.5]	[791, 1021]
OLYMPUS SP590UZ	77.5	1155	[73.2, 82.2]	[1057, 1287]

结果表明,实测 SFR、SQF 数值都分别落在了它们的 95% 的置信区间内。同时表明,上述基于汉字靶板测试数码相机的 SFR 和 SQF 的方法是可行的。

4 结 论

在对使用频率及多方位空间频率分析的基础上,设计了数码相机 SFR、SQF 检测用的汉字靶板,用 37 台不同型号数码相机进行 MTF、汉字靶板的测试与统计,分别获得了最小可识别汉字磅值与 SFR 值、SQF 值高显著度相关的经验公式,其相关系数分别达到 0.988 和 0.970。抽取 10 台数码相机进行验证试验,结果显示 MTF 测试法获得的 SFR、SQF 值均落在用汉字靶板测试得到的 95% 置信区间内。结果表明,用汉字靶板测试数码相机像质的方法是合理的。

针对数码相机在翻拍简化中文文件等应用场合的需求,采用简化的类似于判读视力表的方式,放大判读拍摄的典型标准汉字图案,给出其最小可识别汉字的磅值,作为清晰度性能评测的指标值,而该指标值与完善代表清晰度性能的 MTF 又是高度相关的。这种评测方法,既直接提取了像质的单值特征量,又避免了比较复杂和繁琐的 MTF 测量及其单值指标的再提取。该方法操作方便,实用性强,简化了对数码相机的清晰度评测,为其他类似的数字静态摄影领域提供了一定的参考价值。

参 考 文 献

1 Xu Weiwei, Zhang Liming, Yang Benyong *et al.*. On-orbit MTF measurement of high resolution satellite optical camera using periodic targets[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(7): 0711001
徐伟伟, 张黎明, 杨本永等. 基于周期靶标的高分辨光学卫星相机在轨 MTF 检测方法[J]. *光学学报*, 2011, **31**(7): 0711001

2 Zhang Xiaolin, Du Guohao, Deng Bao *et al.*. High precision measurement of modulation transfer function for X-ray CCD with knife-edge method [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(6): 1680~1687
张晓琳, 杜国浩, 邓彪等. 刀口法高精度测量 X 射线 CCD 调制传递函数研究[J]. *光学学报*, 2010, **30**(6): 1680~1687
3 Xu Baoshu, Shi Zelin, Feng Bin. Modulation transfer function measurement method of electro-optical imaging system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(11): 1111004
徐保树, 史泽林, 冯斌. 一种光电成像系统调制传递函数的测量方法[J]. *光学学报*, 2011, **31**(11): 1111004
4 International Organization For Standardization. ISO12233:2000, Photography-Electronic Still Picture Cameras-Resolution measurements[S]. 2000
5 Li Tiecheng, Tao Xiaoping, Feng Huajun *et al.*. Modulation transfer function calculation and image restoration based on slanted edge method [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(10): 2891~2897
李铁成, 陶小平, 冯华君等. 基于倾斜刃边法的调制传递函数计算及图像复原[J]. *光学学报*, 2010, **30**(10): 2891~2897
6 E. M. Granger, K. N. Cupery. An optical merit function (SQF), which correlates with subjective image judgments[J]. *Photographic Science and Engineering*, 1972, **16**(3): 221~230
7 Sha Dingguo. The review of optical and photoelectric imaging performance evaluation methods[J]. *OE Product & News*, 2012, (4): 20~22
沙定国. 光学与光电成像性能评测方法简述[J]. *光电产品与资讯*, 2012, (4): 20~22
8 Wang Chenxiao, Chen Xiangjun, He Jicang. Selection of China visual targets by Fourier frequency spectrum analysis[J]. *Chinese J. Ophthalmol.*, 2008, **44**(7): 587~590
王晨晓, 陈湘君, 贺极苍. 将图像傅里叶频谱分析应用于汉字视标的选择[J]. *中华眼科杂志*, 2008, **44**(7): 587~590
9 Wang Chenxiao, Chen Xiangjun, He Jicang *et al.*. A Chinese near visual acuity chart based on Fourier frequency spectrum [J]. *Chinese J. Optometry & Ophthalmology*, 2008, **10**(5): 338~345
王晨晓, 陈湘君, 贺极苍等. 基于傅里叶频谱分析设计的汉字近视力表[J]. *眼视光学杂志*, 2008, **10**(5): 338~345
10 H. Hwang, Y. Choi, S. Kwak *et al.*. MTF assessment of high resolution satellite images using ISO 12233 slanted-edge method [C]. *SPIE*, 2008, **7109**: 710905
11 A. P. Tzannes, J. M. Mooney. Measurement of the modulation transfer function of infrared cameras[J]. *Opt. Engng.*, 1995, **34**(6): 1808~1817

栏目编辑: 何卓铭