

客观测定胶片分辨率的实验研究

刘铁根 张以谟 李豫华

(天津大学现代光学仪器研究所 光电信息技术科学教育部重点实验室 天津 300072)

提要 提出了用 Fourier 功率谱法评价胶片分辨率值的理论判据。这是一种用光学信息处理原理对胶片分辨率图案的 Fourier 谱进行分析处理的客观评价方法。用胶片分辨率图案的 Fourier 变换频谱的最外次极点作为客观评价胶片分辨率的尺度,并找出了胶片分辨率与其 Fourier 变换频谱的最外次极点有近似线性关系。

关键词 感光测定, 胶片分辨率, 客观评价

1 引 言

寻求一种胶片分辨率测定的客观评价,来代替目前采用的胶片极限分辨率主观判读方法^[1],是感光测定研究中非常需要解决的一个问题。作者曾通过分析分辨率标板图案特征,推导出其函数表达式,通过对分辨率标板图案的 Fourier 谱的数学分析,推导出标板图案的 Fourier 谱的分布与标板图案的分辨率值的对应规律^[2]。从而为进一步解决胶片分辨率的客观测定奠定了基础。尽管胶片分辨率图案是分辨率标板图案的影像,但由于胶片上分辨率图案较标板分辨率图案的尺寸缩小了 25 倍,并且经过显、定影处理后,胶片上分辨率图案影像质量大为降低。因此,能否对各种胶片进行分辨率测定的客观评价,是目前面临的亟待解决的问题。也是这种客观评价方法是否具有实际意义的关键一步。

2 分辨率图案的 Fourier 功率谱的图形分析

分辨率图案的 Fourier 功率谱的数学表达式冗长^[2],为了使分析更加清晰明了,图 1 给出分辨率图案的 Fourier 功率谱表达式的图形解。

由图 1 可清晰观察到分辨率图案的各组功率谱频谱特性,如峰值大小、侧峰偏移等,进而分析出各图形与分辨率值之间的关系。比较图 1 中 P_4 、 P_6

和 P_8 各曲线,可看出随着序号的增大(也即分辨率值加大),功率谱图的各次极大曲线向 u 值大的方向移动。其中, P_4 的极限分辨率为 36 c/mm(线对/毫米), P_6 的极限分辨率为 45 c/

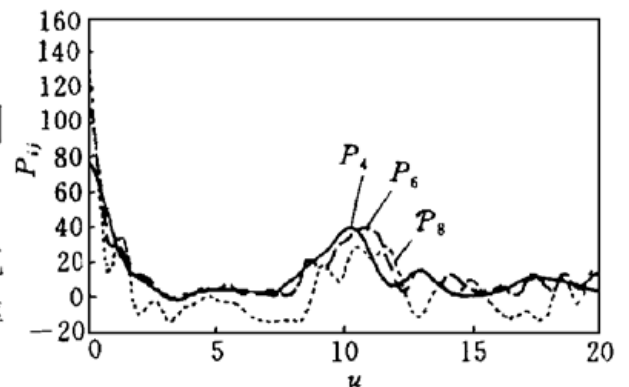


图 1 分辨率标板功率谱

Fig. 1 Resolving power test chart power spectrum

mm, P_8 的极限分辨率为 56 c/mm 。由此可以得出如下推论: 随着图案分辨率值的加大, 其对应功率谱图的各次极大的位置 u 也随之增加; 由频谱中次极大值 P 对应的 u 值, 可推算出该图案极限分辨率值的大小^[2]。

3 实验系统及实验结果

3.1 胶片分辨率图案光学 Fourier 变换实验系统

通过分辨率图案的 Fourier 谱的分析, 可推导出图案的 Fourier 谱的分布与图案的分辨率值有对应规律。这里试图用胶片分辨率图案光学 Fourier 变换实验系统对胶片进行分辨率测定客观评价实验研究。

实验系统见图 2。Fourier 变换图像处理系统主要由激光器, $20 \mu\text{m}$ 针孔空间滤波器和 $10 \times$ 的扩束镜, 用 FTL1000 Fourier 变换物镜作 F-T 透镜, 其焦距 $F = 1000 \text{ mm}$, 为远距式, 筒长比 0.85 , 波像差 $\lambda/8$ 。激光束经空间滤波系统得到照度均匀的平行光。待测胶片和光阑放在 F-T 透镜的前焦面上, 其中, 待测胶片是在分辨率测定仪上拍摄下来的一段带有分辨率图案影像的胶片^[3]。由于这段胶片有 35 个分辨率图案(分辨率图案缩小 25 倍的像), 每个图案约 $0.4 \text{ mm} \times 0.4 \text{ mm}$, 相邻图案间隔仅为 3 mm 。为避免视场内出现多个分辨率图案, 设计上下可调节的 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 视场光阑, 以满足本实验要求。将一毛玻璃观察屏置于 F-T 透镜的后焦面, 作为输出面以利观测 Fourier 功率谱。CCD 摄像机将输出面的功率谱图像摄入后, 由计算机进行图像采集和处理。

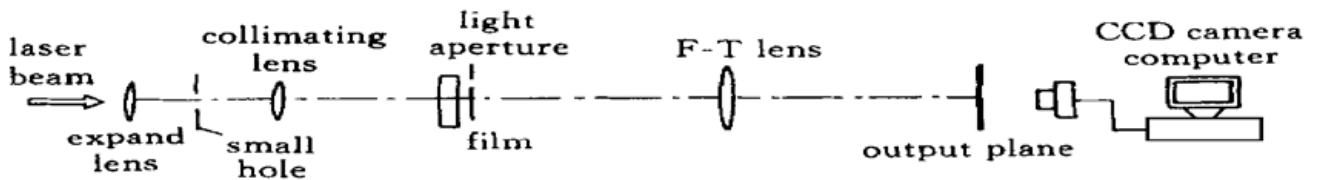


图 2 分辨率测定实验系统

Fig. 2 Experimental system of resolving power testing

表 1 缩微片功率谱分布

Table 1 Distribution of the microfilm power spectrum

Ordinal number	Group number	Resolution value/ $\text{c} \cdot \text{mm}^{-1}$	Outside critical maximum coordinate R_0/mm
1	3-6	177	60.4
2	3-4	140	55.3
3	3-3	125	52.1
4	2-3	63	40.6

表 2 160A 胶片功率谱分布

Table 2 Distribution of the 160A power spectrum

Ordinal number	Group number	Resolution value/ $\text{c} \cdot \text{mm}^{-1}$	Outside critical maximum coordinate R_0/mm
1	3-5	158	30.9
2	3-4	140	29.4
3	3-3	125	27.8
4	3-1	100	25.5

3.2 实验结果

在图 2 所示的 Fourier 变换实验装置上进行胶片分辨率测定的 Fourier 变换实验。实验中, 分别采用缩微片, 160A, 160B, HD-3 以及乐凯黑白胶片等做了 Fourier 变换实验, 并进行了图像处理和分析。表 1 为缩微片的几组分辨率图形的 Fourier 频谱最外次极点分布, 反映出与分辨率的对应关系。表 2 是 160A 胶片上分辨率图形的 Fourier 频谱分布。图 3 描述了缩微片和 160A 分辨率与 Fourier 变换频谱最外次极点坐标关系曲线, 图 4 表达了 160B 和 HD-3 分辨率与 Fourier 变换频谱次极点坐标关系曲线。由表 1, 2 和图 3, 4 可得出以下结论:

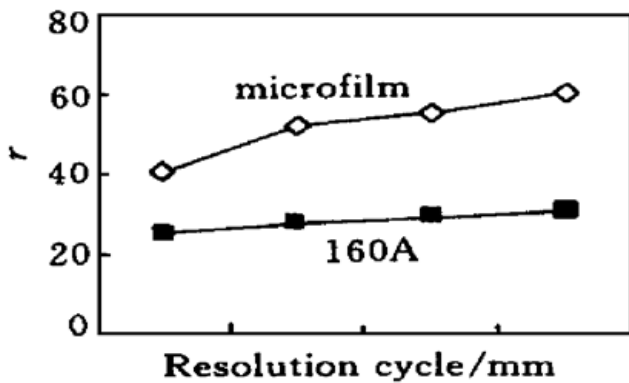


图 3 缩微片和 160A 功率谱与分辨率关系

Fig. 3 Relation between the power spectrum critical maximum R_0 and the resolution for the microfilm are 160A

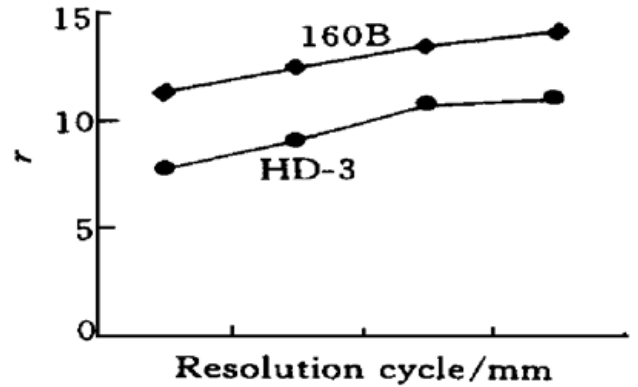


图 4 160B 和 HD-3 功率谱与分辨率关系

Fig. 4 Relation between the power spectrum critical maximum R_0 and the resolution for 160B and HD-3

(1) 实验表明胶片分辨率与 Fourier 变换频谱最外次极点坐标位置有确定的关系, 从而验证了理论分析的正确性;

(2) 随着胶片分辨率值的增大, 其 Fourier 变换频谱最外次极点极坐标值也随之增加。表明可用胶片分辨率图形的 Fourier 变换频谱的最外次极点极坐标值作为客观评价胶片分辨率的尺度;

(3) 胶片分辨率与其 Fourier 变换频谱的最外次极点极坐标值有近似线性关系, 可运用插值法方便地建立各种胶片分辨率客观评价体系。

图 5 是一组胶片 Fourier 变换频谱的图片。其中, (a) 是缩微片, (b) 是 HD-3 片, (c) 是 160A 型片的 Fourier 变换频谱的图片。

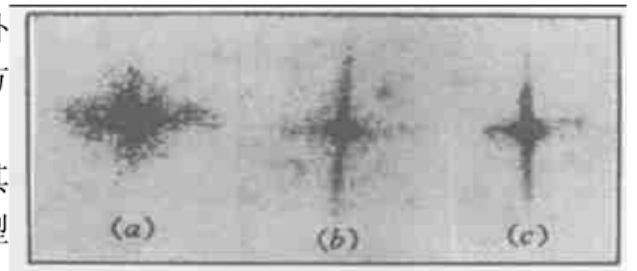


图 5 胶片的 Fourier 功率谱图片

Fig. 5 Pictures of Fourier power spectrum of the film

尽管理论分析和实验验证都表明, Fourier 变换法是一种对胶片分辨率客观测定的有效方法, 但这种方法存在对胶片的前期处理比较严格以及现有 F-T 透镜的截止频率还不够高等弱点也不容忽略。

参 考 文 献

- 1 Determination Resolving Power for Photographic Materials. National Standard, GB9045-88
- 2 Liu Tiegen, Zhang Yimo, Li Yuhua *et al.*. An evaluation method for resolving power of photographic ma-

- terials based on Fourier power spectrum. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2000, **20**(8): 1053~ 1059 (in Chinese)
- 3 Liu Tiegeng, Zhao Tong, Zhang Fenglin. A new instrument for determination of resolving power of photographic materials. *Chinese J. Scientific Instruments* (仪器仪表学报), 1994, (3): 255~ 259 (in Chinese)
- 4 Miles J. Padgett, A. R. Harvey, A. J. Duncan *et al.*. Single pulse Fourier-transform spectrometer having no moving parts. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(25): 6035~ 6040
- 5 A. W. Lohmann. Image rotation, wigner rotation and the fractional Fourier transform. *J. Opt. Soc. Am.*, 1993, **10**(10): 2181~ 2186
- 6 R. L. Gordon, G. W. Forbes. Optical resolution with extreme depth of focus. *Opt. Commun.*, 1998, **150**(1, 6): 277~ 286

An Experimental Research to Objectively Test the Resolving Power of Films

Liu Tiegeng Zhang Yimo Li Yuhua

(Key Laboratory of Optoelectronics Information Technical Science, EMC,
Institute of Modern Optical Instrument, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract A criterion to determine the limiting resolving power of film by using Fourier power spectrum is proposed in this paper. It is an objective evaluation method, in which the Fourier frequency spectra of the resolving power of film are analyzed and processed according to the optical information processing principle. The scale to objectively testing the resolving power of film is derived through analysis of the Fourier power spectrum critical maximum coordinates of the film. The similar linear relations between the resolving power of the film and the critical maximum are defined.

Key words photographic testing, resolving power of film, objective evaluation