

点全息图中中文字符存储极限

宋维光 成忠仁 李 戈

(天津市激光技术研究所)

提 要

在物镜的傅里叶变换面上,由物光束和参考光束相干形成的点全息图,希望有较高的中、外文存储密度。本文主要讨论包括物镜相对孔径 F 、照射光波长 λ 与全息图所收集的频谱项数有关的中文字符的存储极限,并通过实验得到了证明。

一、引 言

关于大容量、高质量存储涉及的技术问题很多,本文主要从频谱对中文字符像质的影响来讨论包括激光波长和光学成像系统有关参数在内的中文字符存储密度问题。

Takeda^[1]曾讨论了由点阵组成的平面作为信息源,并以小孔衍射作为理论基础,在满足瑞利准则的前提下,考虑到 Airy 圆直径导出了数字信息存储密度的理论极限 $I_{\max} = r_0^2 / 9.4 F^2 \lambda^2 r_H^2$ 。在照明光源用 He-Ne 激光器时, $\lambda = 6328 \text{ \AA}$, I_{\max} 约为 10^5 bit/mm^2 。

我们的工作是以中文字符所组成的透明胶片为信息源,每一中文字符为一单元,计算点全息图的极限存储密度。针对中文字符的结构特点,以矩形孔衍射作为理论基础。由于矩形孔中心间距已大大超过瑞利准则所需要的条件,因此我们主要关心的是再现衍射像的质量。好的再现像质量是与点全息图上所能收集到的频谱项数密切相关的。基于这一理论分析和实验结果,得到了满足点全息图既有好的再现像质又有高的存储密度的极限公式。

二、从全息感光板的分辨率 来看中文字符的存储极限

天津全息感光板“T”型,对于 6328 \AA 波长有较好的频率响应,它的分辨本领可达每毫米 3000 线对,信息存储密度为 $9 \times 10^6 \text{ bit/mm}^2$ 。根据我国文字结构特点,每一个字都可看成是由不同长短、宽窄的矩形孔组成的。为保证一篇资料的所有笔划都能得到清晰的再现像,我们选择最窄、最短的矩形孔作为分析问题的基础。对仿宋印刷体的笔划测量结果如图 1 所示。设矩形孔的宽度 $B = 2b$, 长度 $A = 2a$, 两个线段量值之比约等于 4(即 $A = 4B$), 中文字作正方形处理的边长 $h = 20B$, 每一中文字可演变成如图 2 所示的网格形式。实际上可看成是两维正交光栅,缝宽为 B , 光栅常数为 $d = 2B$ 。从笔划较繁的中文字考虑,边长 h 按 $10d$ 计算就足够了,如果 $2B$ 对应于像平面上正好是一个线对的宽度,即感光板分辨限量

1/3000 mm²。这样每一个中文字符沿 η 、 ξ 方向都按具有 10 线对估算，它在感光板上占有 100 个“bit”。于是在单位面积上，中文字符存储容量最高为： $C_{\max} = 90000/\text{mm}^2$ 。这个数值表明，天津“T”型感光板用于大容量中文字符存储是毫无问题的。

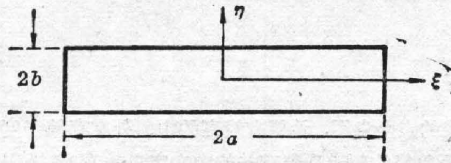


图 1 矩形孔

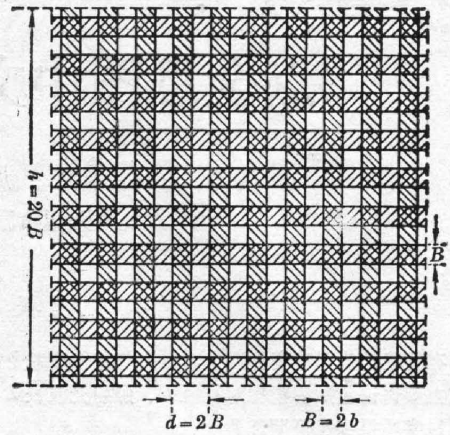


图 2 中文字符看成是二维光栅组成的网格

三、频谱与像质的关系

根据阿贝理论，一个微缩的中文资料黑白透明底片可作为衍射光栅处理。在决定像平面上任一特定点的复振幅时，除要考虑到物体上每个面元和物镜孔上每个面元的贡献外，还要考虑到照相物镜后焦面上全息点像所能收集的频谱数量。任何物镜孔径都是有限的，不可能将物衍射出来的所有频谱项都收集起来，高频部分的损失会影响成像质量，严重时根本不成像(图 3)。

为进一步分析频谱与象质的关系，引入 n 条等距一维类光栅物体在象平面上的强度分布式^[2]

$$\frac{V(x')}{V_0} = 1 + 2 \sum_{1 < m < \bar{m}} \frac{\sin m\pi B/d}{m\pi B/d} \cos \frac{2\pi m x'}{D'}, \quad (1)$$

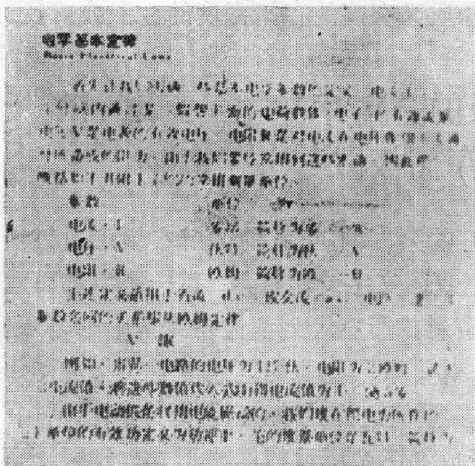


图 3 受高频损失影响的全息图再现像

式中 B 为缝宽， d 为光栅常数， x' 为象平面观察点坐标， m 为光谱序数， $\bar{m} = Xd/\lambda f$ ， $D' = -l'd/f$ 。当 X 很小时 \bar{m} 是一个很小数，而趋于零，(1) 式为 $V(x')/V_0 \approx 3$ ，为一常数。在这种条件下形成的点全息图再现时，对应像的位置为一块块亮斑(见图 3)，基本上没有字的形迹。当 X 大到使 $m > 1$ 时，(1) 式为

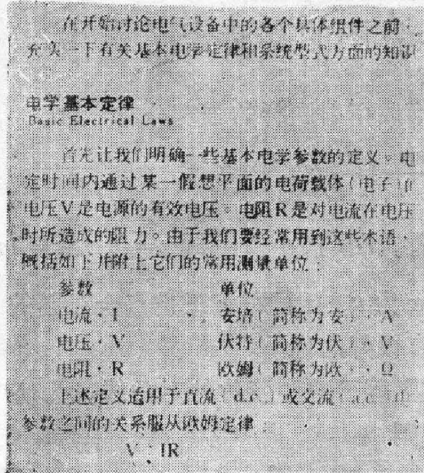
$$\frac{V(x')}{V_0} = 1 + 2 \frac{\sin \pi B/d}{\pi B/d} \cos \frac{2\pi x'}{D'}$$

x' 从 $X \rightarrow D'$ ，点像的强度呈周期性变化， $x' = D'$ 为一周期。 X 任意大时，例如对应 $m \geq 2$ 得

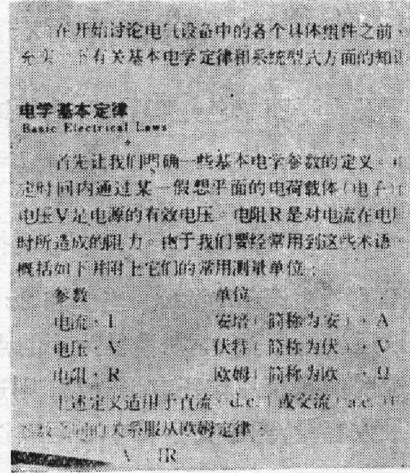
$$\frac{V(x')}{V_0} = 1 + 2 \frac{\sin \pi B/d}{\pi B/d} \cos \frac{\pi x'}{D'} + 2 \frac{\sin 2\pi B/d}{\pi B/d} \cos \frac{4\pi x'}{D'}$$

在像平面上除有均匀照明零级谱和以 $x' = D'$ 为周期的一级谱外，尚有 $x' = \frac{1}{2} D'$ 的二级谱。

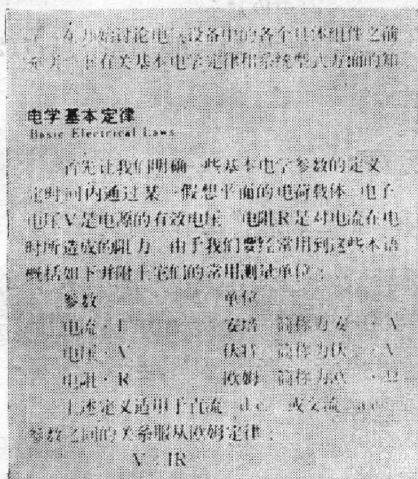
可见 X 值越大, 像就越相似于物(见图 4(a)、(b)、(c)、(d) 和 (e))。



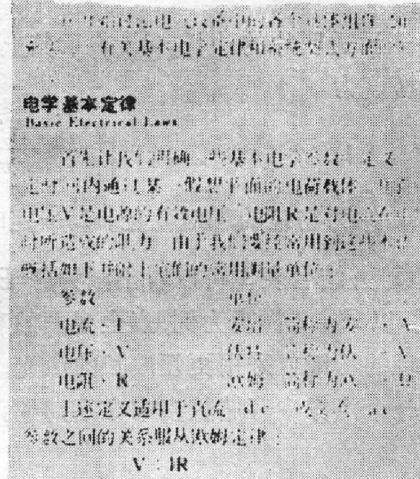
(a) 直径为 2.3mm 点全息图的再现像



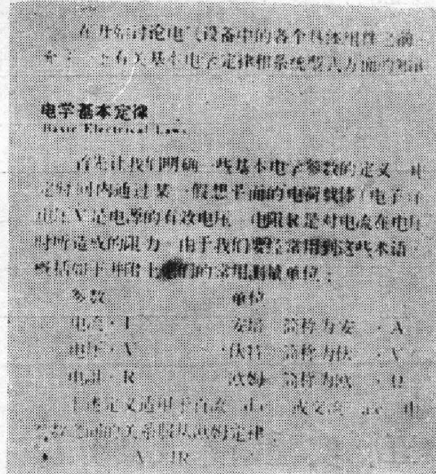
(b) 直径为 2mm 点全息图的再现像



(c) 直径为 1.65mm 点全息图的再现像



(d) 直径为 1.1mm 点全息图的再现像



(e) 直径为 0.8mm 点全息图的再现像

图 4 (a)、(b)、(c)、(d)、(e) 为不同直径的点全息图的再现像的局部(均使用 $f=55\text{ mm } F=2$ 的物镜)。

四、与频谱项有关的点全息图的存储密度

矩形孔在平面单色光照射下,在物镜后焦面上形成衍射图样的强度分布^[3]为

$$I_p = I_0 \left(\frac{\sin kpa}{kpa} \right)^2 \left(\frac{\sin kqb}{kqb} \right)^2,$$

其中 $p = \frac{x}{f}$, $q = \frac{y}{f}$, $u, v = 1, 2, 3$ 。根据极小值条件,得出极小值序数 $u = kpa/\pi = 2ax/\lambda f$, $v = 2by/\lambda f$, 则 $x = u\lambda f/2a$ 。当 f 和 $2a$ 一旦给定, x 为 u 的函数, x 正是点全息图的半径。只要选取适当的序数 u , 则半径为 x 的点全息图就有很好的像质。

当透明信息胶片作正方形处理,则透镜直径 D 应等于透明胶片的对角线。为使中文字排列有最大容量,两中文字符中心距应以 $40b$ 计算,则

$$D = \sqrt{2} \cdot L = \sqrt{2} \cdot N \cdot 40b, \quad N^2 = \frac{D^2}{2(40b)^2},$$

式中 L 表示透明片的边长, N^2 表示其上的中文字总数。考虑到 $2a = 8b$, 则全息点(2)像上的存储密度为

$$\theta = \frac{N^2}{\pi x^2} = \frac{1}{157 u^2 \lambda^2 F^2}, \quad (2)$$

式中 $F = \frac{f}{D}$ 为物镜的相对孔径。 λ 一定时,改变 F 和 u , 全息点像的存储密度列于表 1 中。

从公式(2)并结合表 1 可以看出:为保证再现像的质量, u 的极小值序数不可小于 2, 最好达到 3。以 $F=2$ 物镜为例,点全息图的存储密度为 $450 \sim 1000$ words/mm² 的范围。选择大相对孔径的物镜或采用更短波长的激光,则存储密度可成倍提高。显然,当 F, λ 都一定时,要想在一个点像中存储较多中文字,只有增加点像的直径。

表 1

波 长 $\lambda (10^{-7}\text{mm})$	透镜相对孔径 $F = \frac{f}{D}$	衍射图极小值 序数 u 级	存 储 密 度 $\theta = \frac{1}{157 u^2 \lambda^2 F^2}$ (words/mm ²)
6328	2	2	995
		3	442
6328	3	2	442
		3	197
6328	4.5	2	197
		3	87

五、实验结果及其分析

我们用 $f=55$ mm、 $F=2$ 和 $f=100$ mm、 $F=4.5$ 两种物镜, $\lambda=6328 \text{ \AA}$ 的 He-Ne 激光器作光源,把记录一篇 1600 个中文字的 135 胶片作信息源。在拍摄点全息图时,分别取直径

为 0.8 mm、1.1 mm、1.65 mm、2 mm 和 2.3 mm 的光斑。实验结果如图 2 所示。直径为 2 mm 和 2.3 mm 点全息图的再现像质量是很好的, 直径再小时, 再现衍射像已开始变形。而直径约为 2 mm 的点像面积恰好为 3.14 mm^2 , 其存储密度正好是 500~600 字。这个结果表明点像半径 x 可选择的范围为 $r_2 < x < r_3$ 。这样, 当我们选择第二级 ($m=2$) 次极大位置作为确定点全息图半径时, 导出了存储密度公式为

$$\theta' = \frac{N^2}{\pi x_m^2} = \frac{D^2}{39(2m+1)\lambda^2 f^2} = \frac{1}{980\lambda^2 F^2} \quad (3)$$

当 λ 一定时, 改变 F , 点全息图存储密度如表 2 所示。

表 2

波 长 $\lambda(10^{-7}\text{mm})$	物 镜 相 对 孔 径 $F = \frac{f}{D}$	极 大 值 序 数 m	存 储 密 度 $\theta' = \frac{1}{980\lambda^2 F^2} \frac{\text{words}}{\text{mm}^2}$
6328	2	2	638
6328	3	2	283
6328	4.5	2	126

按表 2 结果可推算出, 直径为 2 mm 的点全息图最大存储量为 2000 左右中文字符。但中文资料实际排列情况是行与行的中心距并非 $40b$ 而是 $56b$, 因此对于物镜相对孔径 $F=2$, 波长 $\lambda=6328 \text{ \AA}$, 直径为 2 mm 的点全息图, 只能存储最大容量的 $5/7$, 即 1500 字左右。这与实验结果是一致的, 因此式 (3) 可作为点全息图中文字符存储密度的极限公式。

关于外文或拼音字符, 由于其结构简单、笔划粗且均匀, 所以存储密度可大大提高, 至少为中文字符的三倍。

六、结 论

在点全息存储技术中, 被存储的资料是首先给定的, 而成像系统和所采用的激光器也作为条件固定下来。显然, 全息图的最小直径也就限定。要进一步提高点全息图的存贮密度, 只有采用多光路系统来获得多重全息像。

参 考 文 献

- [1] Y. Takeda; *Japan J. A. P.*, 1972, 11, No. 5 (May), 656.
- [2] M. Born, E. Wolf; *«Principles of Optics»* (5th ed. Oxford, Pergamon, 1975), 419.
- [3] 麦伟麟著; *«光学传递函数及其数理基础»* (国防出版社, 1979), 233.

Memory limit of point holographic images

SONG WEIGUANG CHENG ZHONGREN AND LI GE

(Tianjin Laser Technique Institute)

(Received 17 October 1980)

Abstract

It is expected that, on the Fourier-transform plane of objective lens, the point holographic image formed by object beam and reference beam is capable of higher memory density of Chinese characters and other foreign letters. Therefore, the memory limit which is related to the relative aperture F of the objective lens, the wavelength of the illustrating light and the number of terms of frequency and spectrum in the image are discussed. And all of these have been identified by our experiments.