维普资讯 http://www.cqvip.com

第38卷 第1期 激光与红外 Vol. 38, No. 1
2008年1月 LASER & INFRARED January, 2008

文章编号:1001-5078(2008)01-0017-03 ·激光技术与应用·

高斯光束通过失调空间滤波器的传输特性

周胜国,沈学举
(石家庄军械工程学院,河北 石家庄 050003)

摘 要:采用矩阵分解的方法,从柯林斯衍射积分公式出发,对高斯光束通过失调空间滤波器的传输特性进行了分析,得到了相应的解析式。通过对解析式的模拟,得出了直观的结果,并对模拟结果进行了分析。

关键词:高斯光束;激光光学;误差函数;失调空间滤波器
中图分类号:TN012 **文献标识码**:A

Propagation Property of Gaussian Beams Passing through Misaligned Spatial Filter

ZHOU Sheng-guo, SHEN Xue-ju
(Shijiazhuang Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Based on the method of matrix decomposition, and the Collins diffraction integral formulae, the propagation characteristics of a Gaussian beams passing through misaligned spatial filter are studied. As a result, corresponding analytical formulae are obtained respectively. By using the numerical method, the analytical simulated and the reults can be got from the simulated figure and discuss the numerical calculation result.

Key words: Gaussian beams; laser optics; error function; misaligned spatial filter

1 引 言

随着激光技术的广泛应用,激光束传输与变换已经成为激光光学中的一个重要研究课题。近年来,对受到光阑限制光束在光学系统中的传输特性的研究,除了直接从衍射积分公式[1]出发的直接积分外,还发展了解析或近似的快速计算模拟方法,典型例为复高斯函数展开法[2]、矩阵法[3]以及光束模式展开法[4]。在文献[5]中,利用了复高斯函数法推导了高斯光束通过含有硬边光阑的光学系统的解析传输式。文献[6]利用矩阵法推导了平顶高斯光束含有多个硬边光阑的复杂光学系统的解析传输式。当光束中心轴线和光阑中心轴线不重合时,上述解析或近似的快速计算模拟方法不能适用。在文献[7]中,作者采用了误差函数的方法处理光束光轴和光阑光轴不重合的情况。空间滤波器是激光装置中一个非常重要的器件,由一对共焦的正透镜和焦面上滤波小孔组成,其主要作用是利用小孔滤除入射光束中的高频分量,使输出光强均匀化。在文献[8]中,利用矩阵分解的方法和用有限个复高斯函数相结合的方法,研究了高斯光束通过空间滤波器的传输特性。由于实际装配和设计过程中,会引起滤波小孔的偏离失调,因此研究小孔的失调对高斯光束通过空间滤波器的传输特性的影响,具有很大的应用价值。本文采用误差函数的方法,推导出高斯光束通过失调空间滤波器的传输解析公式,然后进行了数值计算和分析。

2 解析传输公式

空间滤波器系统如图1所示,滤波小孔半宽为 a,小孔偏移光轴距离为 d,入射参考面 RP_1 到透镜 F_1 的距离和透镜 F_2 出射参考面 RP_2 的距离分别为 l_1, l_2。F_1, F_2 的焦距为 f_1, f_2。

作者简介:周胜国(1977-),男,硕士研究生,现主要从事激光束传输变换的研究。E-mail:zhoushengguo2002@sohu.com

收稿日期:2007-07-20

维普资讯 http://www.cqvip.com

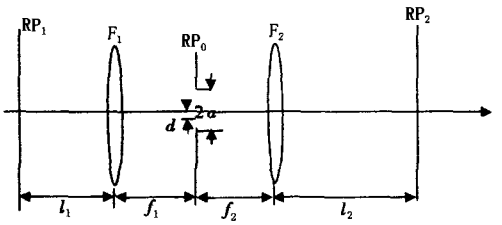

图1 空间滤波器系统

Fig. 1 A spatial filter system

光束通过近轴含有偏离光阑的ABCD光学系统时，由Collins公式[1]可得出传输距离为 z 时场分布，即：

$$E(x,z)=\sqrt{\mathrm{i}/(\lambda B)}\int_{-a+d}^{a+d}E(x_1,0)(x_1)\exp[-\mathrm{i}\pi(Ax_1^2-2x_1x_2+Dx_2^2)/(\lambda B)]\mathrm{d}x_1 \quad (1)$$

式中，λ，a 和 d 分别为光束的波长、光阑半宽度和光阑偏离光轴的距离；$T(x_1)$ 为光阑透射率函数，对硬边光阑 $T(x_1)=1$，ABC 为光学系统的矩阵元。

设一维高斯光束在入射参考面 RP_1 上的场分布为：

$$E_0(x_0,0)=\exp(-x_0^2/w_0^2) \quad (2)$$

式中，w_0 为束腰宽度。为简单起见，这里只研究一维情况，很容易推广到二维。我们。把空间滤波器光学系统采用矩阵分解的方法，将空间滤波器矩阵等效分解成为两部分处理，其中第一部分为入射参考面 RP_1 到小孔所在平面，第二部分为小孔至出射参考面 RP_2 之间光学系统的传输矩阵，即：

$$\begin{pmatrix}a_1 & b_1\\ c_1 & d_1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1 & f_1\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & 0\\ -\frac{1}{f_1} & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & l_1\\ 0 & 1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0 & f_1\\ -\frac{1}{f_1} & 1-\frac{l_1}{f_1}\end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix}a_2 & b_2\\ c_2 & d_2\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1 & l_2\\ 0 & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & 0\\ -\frac{1}{f_2} & 1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}1 & f_2\\ 0 & 1\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1-\frac{l_2}{f_2} & f_2\\ -\frac{1}{f_2} & 0\end{pmatrix} \quad (4)$$

对空间滤波器依次利用 Collins 公式，分别把式(3)(4)代入，最后输出光场的公式为：

$$E(x_2,z)=\frac{-\mathrm{i}}{\lambda^3 f_1 f_2 l_2}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-a+d}^{a+d}E(x_0,z)\exp[\frac{\mathrm{i}k}{2f_1}((1-\frac{l_1}{f_1})x_1^2-2x_1x_0)]T(x_1)\exp\{-\frac{\mathrm{i}k}{2f_2}[(1-\frac{l_2}{f_2})x_1^2-2x_1x_2]\}\mathrm{d}x_0\mathrm{d}x_1 \quad (5)$$

应用积分公式：

$$\int_{-\infty}^{\infty}\exp(-a^2x^2\pm bx)\mathrm{d}x=\frac{\sqrt{\pi}}{a}\exp(\frac{b^2}{4a^2})$$

和误差函数公式 $\mathrm{erf}(z)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-t^2}\mathrm{d}t$

最后积分得出：

$$E(x_3,z)=\frac{\sqrt{\pi}S}{2P}\{\mathrm{erf}[p(a+d)-Q]+\mathrm{erf}[p(a-d)+Q]\} \quad (6)$$

其中：

$$S=-\frac{\mathrm{i}\pi w_0}{\lambda^3 f_1 f_2 l_2}\sqrt{2l_2/(\mathrm{i}k)}\exp(Q^2),\ Q=\mathrm{i}kx_3/(2f_2P) \quad (7)$$

$$P=\sqrt{k^2w_0^2/(4f_1^2)+\mathrm{i}k/(2f_1)-\mathrm{i}kl_1/(2f_1^2)+\mathrm{i}k/(2/f_2)-\mathrm{i}kl_2/(2f_2^2)} \quad (8)$$

式(6)就是我们得到的高斯光束通过失调空间滤波器的传输解析式。

当小孔的偏离量 $d=0$ 时，式(8)简化为 $E(x_3,z)=\frac{\sqrt{\pi}S}{2P}\{\mathrm{erf}[pa-Q]+\mathrm{erf}[pa+Q]\}$。与文献[9]中式(8)一致。

3 数值计算结果及分析

下面利用上述解析公式进行数值计算。设 $\omega_0=1\mathrm{mm}$，$f_1=f_2=1\mathrm{m}$，$l_1=0$，$l_2=1\mathrm{m}$，$\lambda=1.053\mu\mathrm{m}$。

如图2所示，图2(a)和图2(b)分别是截断参数 $\delta=a/w_0$ 取值分别为1，0.3，偏移参数 $d/a=0$ 时，高斯光束通过空间滤波器的光强分布图。图中实线为用解析式得出的结果，虚线为用柯林斯公式直接数值积分得出的结果。由图可知，用解析传输式和用柯林斯公式得出的结果一致，但前者所耗机时不到后者的1/200，这充分表现出解析式的正确性和优越性。

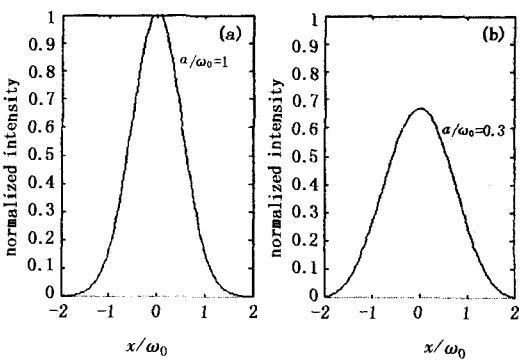

图2 高斯光束通过空间滤波器的光强分布

Fig. 2 intensity distribution of a gaussian beam propagating in spatial filter

维普资讯 http://www.cqvip.com

图3为高斯光束通过未失调空间滤器的传输特性，截断参数为5,1,0.5,0.3,0.1，偏移参数 $d/a=0$ 时，输出光强的分布图。随着截断参数的减小，小孔的衍射作用越明显，滤波小孔的存在使光能量损失，截断参数越小，光能量损失越大。

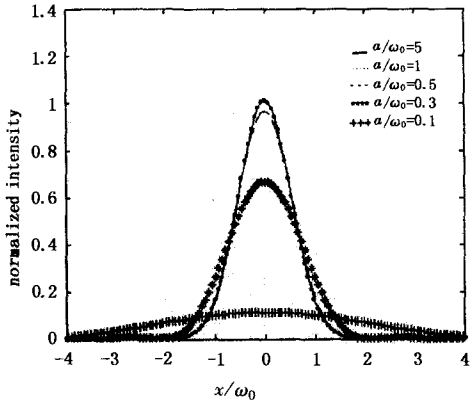

图3 高斯光束在不同截断参数下，通过空间滤波器的光强分布

Fig. 3 intensity distribution of a gaussian beam propagating in spatial filter in different pinholesize

图4为高斯光束通过失调空间滤波器的传输特性。截断参数为 $\delta=1$，偏移参数 $d/a=0,0.7,0.9$ 时，输出光强的极大值偏移光轴为0,0.066225,0.46486，相对光强极大值为1.0,0.83923,0.46486。随着偏移参数的增加，小孔对输出光束的衍射影响越明显，由于小孔偏离光轴，光能量通过小孔的能量减少。输出光束的光强极大值不在光轴之上，偏移参数越大，光强极大值偏离光轴越明显。由于小孔的偏离，衍射的不同，造成了光束不对称。

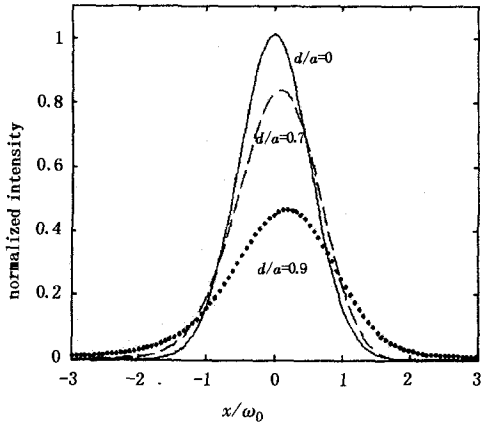

图4 高斯光束通过失调空间滤波器的光强分布

Fig. 4 intensity distributions of a gaussian beam propagating in misaligned spatial filter $I(x/w_0,z)$

4 结 论

从柯林斯公式出发，推导了高斯光束通过失调空间滤波器的传输解析式。数值计算表明，截断参数越小，光场的衍射调制会随之增大，光能量随之减少。偏移参数越大，输出光束极大值偏离光轴越大，光能量也随之减少，并引起出射光束不对称。因此设计空间滤波器过程中，根据时间情况选择合适滤波小孔的尺寸，并能允许适当的偏离范围，以达到最佳的滤波效果。

参考文献：

[1] Collins S A. Lens-system diffraction integral written in terms of matrix optics[J]. J Opt Soc Am. 1970,60(7): 1168 - 1177.

[2] Wen J J B M A. A diffraction beam field expressed as the superposition of Gaussian beams[J]. J Acoust. Soc. Amer. 1988,83(5): 1752 - 1756.

[3] Bioisi F V, L R M. Diffraction field of a circularly symmetric beam through a sequence of apertures[J]. Appl. Opt. 1991,30(13): 1595 - 1597.

[4] Tanaka K, Yoshida K T M. Analytical and experimental investigation of the diffraction field of a Gaussian beam through a sequence of apertures: applicability of the beam mode expansion method[J]. App Opt. 1988, 27(7): 1310 - 1312.

[5] Wang Xi-qing, Liang Guo-dong, Lu Bai-da. Approximate close-form expression for Gaussian beams passing through an ABCD optical system with hard-edge aperture[J]. High Power Laser and Particle Beams. 2001(4): 418 - 422. (in Chinese)

[6] Ji Xiao-ling, Liu Ya-jing, Lu Bai-da. Comparison of two numerical simulation mehtods for hard-edged diffracted beams[J]. High Power Laser and Particle beams, 2005(6): 801 - 807. (in Chinese)

[7] Zhou Nan-run, Zeng Gui-hua. Analytical propagation expression for apertured off-axis Gaussian beams[J]. Chinese J. Lasers, 2004(9): 1070 - 1074. (in Chinese)

[8] Jia Xue-mei, Xie Xing-long. Propagation property of Gaussian beams passing through spatial filter[J]. Chinese J. Lasers, 2006(9): 1220 - 1224. (in Chinese)

[9] Zhao Guang-pu, Lu Bai-da. Propagation of Gaussian beams passing through complicated ABCD optical system with internal hard-edge aperture[J]. Laser Technology, 2003(4): 299 - 301. (in Chinese)