

文章编号: 1001-3806(2010)03-0405-04

## 像差计算的可视化应用软件开发

秦 华

(山东理工大学 理学院, 淄博 255049)

**摘要:** 为了方便快速地计算像差,采用 MATLAB 中 GUI 工具,从球面光路计算的向量公式出发,得到了一计算像差的程序界面,在程序界面输入各个相关参量,点击界面上各种像差菜单就能得到不同视场角在光瞳上不同入射点的各种像差,并可以计算系统的焦距和理想像面的像距以及给出像面的模糊程度(同一物点发出的不同方向光线的聚焦程度)的具体数值。结果表明,该软件程序语言简单,程序语句大大减少,占用机时少,运行结果正确。程序通过编译后可以脱离 MATLAB 运行环境独立运行。

**关键词:** 几何光学; 光路计算; 像差; 程序界面

**中图分类号:** O435.2 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1001-3806.2010.03.034

## Visualization application software development for calculating light aberrations

QIN Hua

(Department of Sciences, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

**Abstract:** In order to calculate aberrations rapidly and easily, MATLAB's GUI tools are used to make a program interface. A user interface software for calculating light aberrations is realized according to vector formulae to trace optical path passing through spherical faces, when various parameters are input in the program interface, different kinds of aberrations with different view-field angles and different incident points on the pupil can be got by clicking aberration menus, containing on-axis aberrations, off-axis aberrations of wide beam in the tangential plane and the sagittal plane, and aberrations of sharp beam. The focal distance, the ideal image distance of an optical system and spatial ambiguities in images are also obtained. It can be used as a single interface to calculate all sorts of aberrations. The soft has a simple programming language, fewer programming sentences, less machine time and correct running results. The compiled program can be run independently on any operating system without the MATLAB operating environment.

**Key words:** geometrical optics; optical computation; geometrical aberration; program interface

### 引 言

光路计算或像差计算是光学设计的基础,也是自动化设计的基础。因此,光路计算一直是光学设计的重要课题<sup>[1-3]</sup>,其研究的主要方向是改变计算的形式,减轻光路计算的劳动,加快光路计算的速度。

电子计算机出现以后,很快被用来替代人工计算,并进一步发展成为像差自动校正,只要原始系统选择合理,像差自动校正程序能很快得出要求的设计结果<sup>[4]</sup>。设计人员不必了解光学设计软件的编制方法和程序自动进行像差校正的具体过程。即使这样,像差计算也是必要的<sup>[5-7]</sup>,通过像差计算更进一步熟练不同光学设计的不同要求,从而实现更合理

的设计。

作者从像差计算的向量公式出发,利用 MATLAB 编程工具,编制了一套像差计算的程序界面,只要在界面上输入相关的参量,点击有关的像差菜单,就能给出所需要计算的像差。本程序通过编译后可以形成脱离 MATLAB 运行环境的独立运行程序。

### 1 像差计算的起始和终结公式

#### 1.1 由入射光线的位置和方向计算出射光线的位置和方向

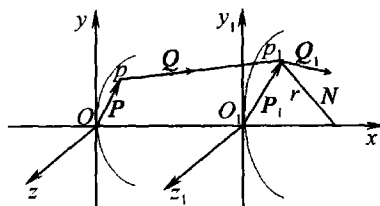


Fig. 1 The schematic diagram of position and direction of an incident ray and an exit ray

如图 1 所示,  $P$  表示入射光线上某一点  $p$  的位置

作者简介: 秦 华(1964-),男,副教授,主要从事光学设计及全固态激光器的研究工作。

E-mail: zfqinh@gmail.com

收稿日期:2009-04-07;收到修改稿日期:2009-05-20





键隔开。点击轴上点像差→系统焦距,在 MATALB 命令窗口就会输出 fdpie 为 239.2586, fcpie 为 239.4236, 表示 D 光的焦距和 C 光的焦距。点击轴上点像差→轴上点球差,命令窗口输出 deltaLdpie 为 0.0096, -0.0703, -0.0886, -0.0653, -0.0281, 分别表示 1.0, 0.85, 0.7071, 0.5, 0.3 入射半径的球差。

点击轴外宽光束弧矢像差→弧矢慧差 Kspie 在命令窗口得到 Kspie 的值见表 2。点击细光束像差→D 光子午球差 deltaLTpie, 得到 deltaLTpie 的值如表 3 所示。表 2 中的  $K_s'$  就是程序界面中的 Kspie, 表 3 中的

Table 2 Sagittal comas

$\omega$	$K_s'$					
1.0	-0.0446	-0.0306	-0.0203	-0.0097	-0.0034	0
0.85	-0.0375	-0.0257	-0.0171	-0.0081	-0.0028	0
0.7071	-0.0309	-0.0212	-0.0141	-0.0067	-0.0023	0
0.5	-0.0217	-0.0148	-0.0098	-0.0047	-0.0016	0
0.3	-0.0129	-0.0088	-0.0059	-0.0028	-0.0010	0
<i>h</i>	1.0	0.85	0.7071	0.5	0.3	0

Table 5 Aberrations in different apertures

<i>h</i>	deltaLdpie	deltaLfpie	deltaLcpie	deltaLfcpie	SCpie(0.3sin <i>U</i> <sub>max</sub> )
1.0	0.0040	0.0882	0.0143	0.0739	-2.224 × 10 <sup>-5</sup>
0.85	-0.0289	0.0257	-0.0081	0.0338	5.102 × 10 <sup>-5</sup>
0.7071	-0.0362	-0.0035	-0.0075	0.0040	6.900 × 10 <sup>-5</sup>
0.5	-0.0265	-0.0168	0.0105	-0.0272	5.176 × 10 <sup>-5</sup>
0.3	-0.0114	-0.0155	0.0307	-0.0462	2.230 × 10 <sup>-5</sup>
0	0	-0.0117	0.0448	-0.0564	0

Table 6 Aberrations for different fields of view

<i>y</i>	xtpie	xspie	xtspie	deltaLTpie(1.0 <i>h</i> <sub>max</sub> )	KTpie(1.0 <i>h</i> <sub>max</sub> )	deltayfcpie	deltayzpie(1.0 <i>h</i> <sub>max</sub> )
1.0	-0.5087	-0.2428	-0.2658	-0.0011	-0.0018	-0.000047	-0.0013
0.85	-0.3685	-0.1758	-0.1928	0.0003	-0.0017	-0.000042	-0.0008
0.7071	-0.2556	-0.1218	-0.1338	0.0015	-0.0015	-0.000036	-0.00046
0.5	-0.1281	-0.0610	-0.0671	0.0027	-0.0011	-0.000027	-0.00016
0.3	-0.0462	-0.0220	-0.0242	0.0036	-0.0007	-0.000017	-0.000035

以上示例 1 和示例 2 的结果与参考文献[8]和参考文献[9]中的所得结果一致,程序运行结果正确。

#### 4 分析与结论

本软件的特点是把种类繁多的像差集合在一个界面上来完成编程求解,操作简便。由于编程语言为 MATLAB 语言,所以语句简单,大大简化了编程工作量,编程语句的减少也大大地缩减了机时量,提高了计算效率。例如,计算全口径全视场轴外点光线的弥散范围,要输出 55 个像差值,只要鼠标一按数值立刻显出,并且把这 55 个像差值按视场和口径的不同用矩阵的形式输出,这样的结果简单明了。

对于像差计算的编程,重要的是程序能够适应各

Table 3 Tangential spherical aberrations of D-ray

$\omega$	$\delta L_T'$					
1.0	0.0318	-0.0552	-0.0786	-0.0606	-0.0265	0
0.85	0.0257	-0.0593	-0.0814	-0.0619	-0.0269	0
0.7071	0.0208	-0.0627	-0.0836	-0.0630	-0.0273	0
0.5	0.0152	-0.0665	-0.0861	-0.0641	-0.0277	0
0.3	0.0117	-0.0689	-0.0877	-0.0649	-0.0280	0
<i>h</i>	1.0	0.85	0.7071	0.5	0.3	0

$\delta L_T'$  是程序界面中的 deltaLTpie。

计算示例 2:物距有限远。系统结构参量见表 4<sup>[9]</sup>,  $L = -143.16, y = -10, \sin U_{max} = 0.033, l_z = 0$ 。把以上参量代入到程序界面中,计算部分像差结果如表 5、表 6 所示。

Table 4 Optical system structural parameters

<i>r</i>	<i>d</i>	$n_D$	$n_F$	$n_C$
1.0		1.0	1.0	1.0
31.05		1.5688	1.575969	1.565821
-13.996	4	1.7172	1.734681	1.710371
-34.99	5	1.0	1.0	1.0

种情况,即不论光线的视场角和光束孔径是多少,程序都能给出正确的运行结果。编程过程中会遇到一些特殊的光线,比如求不同视场不同孔径的宽光束子午场曲  $X_T'$  时,要使用上光线和下光线两条光线,但是当上下光线趋于重合时,即孔径缩小到一定程度,计算公式就不能再用了,编程时就要注意这个度,则这时只能求细光束子午场曲的公式来求。求子午球差  $\delta L_T' = X_T' - x_1'$  要同时用到  $X_T'$  和  $x_1'$  ( $x_1'$  表示细光束子午场曲),所以这两个数值一定要求出来,编程过程中即要考虑这个度又要使程序具有普适性,还要考虑到程序的简化即运行速度。同样的问题也出现在求弧矢球差的编程过程中。

(下转第 428 页)

Table 1 Parameter of the composite cavity

$S$	$F$	$L_{\text{mode}}/\text{m}$	$\Delta L/\text{m}$	$\Delta\nu_{\text{mode}}/\text{MHz}$	$\Delta\nu_{\text{r}}/\text{MHz}$	$\Delta\nu_{\text{e}}/\text{MHz}$	$M$	$f_{\text{mode}}/\text{GHz}$
10	9.6	48	5	4.310	41.379	413.79	232	1
20	9.55	47.75	5	4.333	41.379	827.58	231	1
25	9.54	47.70	5	4.337	41.379	1034.4	231	1

### 3 结论

主要研究了复合腔主动锁模激光器的结构。基于传输函数法建立了复合腔等效结构模型,从理论上分析了复合腔主动锁模激光器的结构特性。详细论证了等效复合腔基频与两子腔腔长的关系。在1GHz射频调制频率下,给出了复合腔各参量与超模噪声的关系。结果表明,复合腔可以有效减小超模数目,超模噪声的抑制与单腔相比并不具有优势,对主动锁模激光器走向实用化有一定的参考意义。

#### 参考文献

- [1] YOSHIDA E, NAKAZAWA M. 80 ~ 200GHz erbium doped fiber laser using a rational harmonic mode locking technique [J]. Electron Lett, 1996, 32(18): 1370-1372.
- [2] ZHAO Y, LIU Y Z, ZHAO D S, *et al.* Evolution of mode-locked technology of fiber lasers [J]. Laser Technology, 2009, 33(2): 162-165 (in Chinese).
- [3] HARVEY C T, MOLLENAUER L F. Harmonically mode-locked fiber ring laser with an internal Fabry-Perot stabilizer for soliton transmission [J]. Opt Lett, 1993, 18(2): 107-109.
- [4] DEPRIEST C M, YILMAZ T, ETAMAD S, *et al.* Ultralow noise and supermode suppression in an actively mode-locked external-cavity semiconductor diode ring laser [J]. Opt Lett, 2002, 27(9): 719-721.
- [5] DOEER C R, HAUS E P, IPPEN E P, *et al.* Additive pulse limiting [J]. Opt Lett, 1994, 19(1): 31-33.
- [6] LI Y H, LOU C Y, WU J, *et al.* Novel method to simultaneously compress pulses and suppress supermode noise in actively mode-locked fiber ring laser [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1998, 10(9): 1250-1252.
- [7] THOEN E R, GREIN M E, KOONTZ E M, *et al.* Stabilization of an active harmonically mode-locked fiber laser using two-photon absorption [J]. Opt Lett, 2000, 25(13): 949-950.
- [8] NAKAZAWA M, TAMURA K, YOSHIDA E. Supermode noise suppression in a harmonically modelocked fiber laser by self-phase modulation and spectral filtering [J]. Electron Lett, 1996, 32(4): 461-463.
- [9] ONODERA N. Supermode beat suppression in harmonically mode-locked erbium-doped fiber ring lasers with composite cavity structure [J]. Electron Lett, 1997, 33(11): 962-963.
- [10] POTTIEZ O, DEPARIS O, HAELTERMAN M, *et al.* Experimental study of supermode noise of harmonically mode-locked erbium-doped fiber lasers with composite cavity [J]. IEEE J Q E, 2002, 38(3): 161-167.
- [11] HU Z Y, DING Y K, JIA D F, *et al.* Supermode noise suppression in harmonically mode-locked fiber lasers with composite cavity [J]. Journal of Tianjin University, 2003, 36(5): 645-647 (in Chinese).
- [12] AGRAWAL G P. Applications of nonlinear fiber optics [M]. San Diego: Academic Press Incorporated, 2001: 414.
- [13] BILBO T J, DONKOR E. Modeling of noise in actively and passively mode-locked fiber laser systems [J]. Proc SPIE, 2003, 5104: 33-39.

(上接第408页)

通过很多示例的运行结果来看,本程序具有很好的普适性和正确的运行结果,光学设计中需要求出的所有像差值都能从本程序的运行中得到。下一步需要做的工作就是把各种像差的运行结果用像差曲线表示出来,使读者一目了然,而再进一步的工作就是进行像差自动校正程序的设计。

#### 参考文献

- [1] XIONG D P, HE Zh P. The optical path calculation and analysis of a sphere surface optical system [J]. Optical Instruments, 2004, 26(4): 45-47 (in Chinese).
- [2] XU Ch, MA X M, LIU J S. Analysis of tracks of light rays in dual-stage wedge type fiber optical isolator [J]. Laser Technology, 2005, 29(5): 455-458 (in Chinese).
- [3] WANG F, ZHU Q H, JIANG D B, *et al.* Analysis of system aberration influenced by the lens tilt in a multi-pass amplifier [J]. Laser Technology, 2007, 31(3): 333-336 (in Chinese).
- [4] QU E Sh, YANG Zh, WANG G, *et al.* Combining binary optics with achromats to revise secondary spectrum [J]. Acta Photonica Sinica, 2008, 37(11): 2274-2278 (in Chinese).
- [5] TIAN J Y, GONG M L, YAN P, *et al.* The design of bi-aspherical single objective lens with numerical aperture of 0.85 [J]. Laser Technology, 2005, 29(2): 116-118 (in Chinese).
- [6] SHEN W M, XUE M Q. Aberration analysis and optical design of aspheric spectacle lens [J]. Acta Optica Sinica, 2002, 22(6): 744-747 (in Chinese).
- [7] SAWADA H, SANNOMIYA T, HOSOKAWA F, *et al.* Measurement method of aberration from Ronchigram by autocorrelation function [J]. Ultramicroscopy, 2008, 108(11): 1467-1475.
- [8] YUAN X C. Optical design [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1988: 11-38 (in Chinese).
- [9] YUAN X C. Modern optical design [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1995: 160-161 (in Chinese).