

基于 MATLAB 的聚焦纤维透镜成像模拟软件

王向贤, 张黎, 朱浩瑞

(巢湖学院 物理与电子科学系, 安徽 巢湖 238000)

摘要: 聚焦纤维透镜已广泛应用于光电子技术成像领域。为快速计算其成像特性和绘制光路, 基于 MATLAB 软件, 编写了折射率呈抛物线形分布的聚焦纤维透镜成像模拟软件。在输入光纤和物体的基本参数后, 软件可快速计算出光纤的特性常数和焦距以及像距、像高和线放大率, 能准确绘制出成像光路图。该成果对光纤成像的研究和设计以及光电子技术课的教学均有很大的帮助。

关键词: 聚焦纤维透镜; 成像; MATLAB 软件

中图分类号: TN253

文献标识码: A

文章编号: 1005-8788(2012)02-0027-02

MATLAB-based imaging simulation software for focusing fiber lenses

Wang Xiangxian, Zhang Li, Zhu Haorui

(Department of Physics and Electronic Science, ChoHu College, Chaohu 238000, China)

Abstract: Focusing fiber lenses are widely used in the photoelectronic imaging technique. In order to quickly calculate their imaging features and draw light paths, the imaging simulation software for those focusing fiber lenses with parabolic refractivity distribution is developed on the basis of MATLAB. When the basic parameters of the fiber and object are input, the software can quickly calculate the fiber characteristic constant, focal length, image distance, image height and linear multiplying factor, and accurately draw the imaging light path. This work is conducive to the study and design of fiber imaging and to the teaching of photoelectronics techniques.

Key words: focusing fiber lens; imaging; MATLAB software

0 引言

光纤透镜即聚焦纤维透镜是应用型光纤的新型产品。其成像原理与普通光学透镜相似, 但由于其本身特性优于普通光学透镜, 现已成为光电子及相关领域的热门研究对象。随着其快速的发展, 与之相关的应用已经展现出广阔的前景^[1-4]。聚焦纤维透镜成像涉及光纤折射率、纤芯半径和光纤长度等基本参数, 成像特征又包括物距、物高、像距、像高以及线放大率等。光纤成像的相关计算和光路均比较复杂。本文基于 MATLAB 软件和抛物线形折射率分布的纤维透镜的成像原理, 设计了聚焦纤维透镜成像模拟软件。该软件可快速计算聚焦纤维透镜的一系列成像参数和光路。

1 聚焦纤维透镜的成像原理^[5]

折射率呈抛物线形分布的聚焦纤维透镜, 其折射率分布公式为

$$n(r) = n_0 \left(1 - \frac{1}{2} A r^2 \right), \quad (1)$$

式中, n_0 为光纤透镜的中心折射率; r 为光纤中某点

至光纤轴的距离; $A = 2\Delta n / (n_0 r_0^2)$ 为折射率变化特性常数, r_0 为光纤半径。

聚焦纤维透镜成像示意图如图 1 所示。设物体

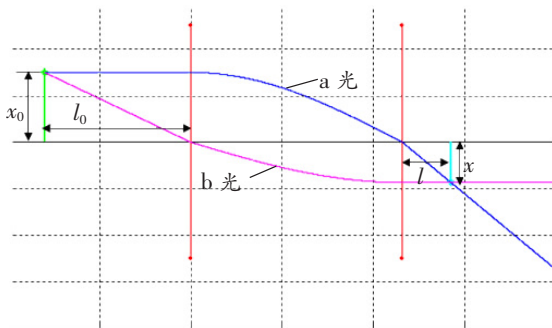


图 1 聚焦纤维透镜成像示意图

在聚焦纤维透镜前 l_0 (物距) 处, 物高为 x_0 , 选取两条特殊光线进行讨论, 一条平行于光轴, 一条斜射入且与光纤轴交于 $z=0$ 处。根据聚焦纤维光线矩阵就能求出出射光的传播状况。设光纤的长度为 z_0 , 两条光线透出聚焦纤维后相交点坐标为 (l, x) , l 是以光纤右端面为基准面来测量的, 可得像点坐标为

$$l = \frac{1}{n_0 \sqrt{A}} \left[\frac{n_0 l_0 \sqrt{A} \cos(\sqrt{A} z_0) + \sin(\sqrt{A} z_0)}{n_0 l_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A} z_0) - \cos(\sqrt{A} z_0)} \right], \quad (2)$$

$$x = \frac{x_0}{n_0 l_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A} z_0) - \cos(\sqrt{A} z_0)}, \quad (3)$$

式中, l 为像距; x 为像高; 而线放大率为

$$m = \frac{x}{x_0} = \frac{-1}{n_0 l_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A} z_0) - \cos(\sqrt{A} z_0)}; \quad (4)$$

纤维透镜的焦距为

$$f = \frac{1}{n_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A} z_0)}. \quad (5)$$

2 聚焦纤维透镜成像模拟软件

2.1 数据计算输出

本软件是应用 MATLAB^[6] 软件编写而成的, 其有两大基本功能: 数据计算输出和成像光路图绘制。成像模拟软件使用方便, 只需输入纤芯折射率 n_0 、边缘折射率 n_r 、光纤半径 r_0 、光纤长度 z_0 、物距 l_0 和物高 x_0 等 6 个数据就能精确地计算出特性常数 A 、焦距 f 、像距 l 、像高 x 和线性放大率 m 这 5 个数据。软件具有界面友好、示意清楚和可扩展等特点。图 2 所示为软件主界面, 图中显示的是纤芯折射率为 1.6、边缘折射率为 1.577、光纤长度为 4.632 mm、光纤半径为 0.5 mm、物距为 3.2 mm 和

$$y_a = \begin{cases} x_0 & (-l_0 < z < 0) \\ \cos(\sqrt{A} z) x_0 & (0 < z < z_0) \\ -n_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A} z_0) x_0 z + n_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A} z_0) x_0 z_0 + \cos(\sqrt{A} z_0) x_0 & (z > z_0) \end{cases}, \quad (6)$$

$$y_b = \begin{cases} -\frac{x_0}{l_0} z & (-l_0 < z < 0) \\ \frac{1}{\sqrt{A}} \sin(\sqrt{A} z) \frac{x_0}{n_0 l_0} & (0 < z < z_0) \\ \left[-\frac{1}{l_0} \cos(\sqrt{A} z_0) (z - z_0) - \frac{1}{n_0 l_0 \sqrt{A}} \sin(\sqrt{A} z_0) \right] x_0 & (z > z_0) \end{cases}, \quad (7)$$

a 光和 b 光的交点即为像点的位置:

$$\begin{cases} z = \frac{1}{n_0 \sqrt{A}} \left[\frac{n_0 l_0 \sqrt{A} \cos(\sqrt{A} z_0) + \sin(\sqrt{A} z_0)}{n_0 l_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A} z_0) - \cos(\sqrt{A} z_0)} \right] + z_0 \\ y = -\frac{x_0}{n_0 l_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A} z_0) - \cos(\sqrt{A} z_0)} \end{cases}. \quad (8)$$

可见式(8)和式(2)、式(3)是一致的。知道了各光线的函数形式并知道像点的位置坐标, 就能精准地绘制成像光路图。

根据需要计算的光纤规格、物体与光纤的关系以及物体本身的特性, 在“参数输入”框中输入相应的参数, 在“图像范围”框中输入需绘制的光线范围, 点击确定, 就可以看到图像生成框中精确的光路图

物高为 0.3 mm 的超短纤维透镜的数据(软件默认)。在“参数输入”框点击“确定”按钮, 就可以在“输出结果”框中得到软件计算的 5 个数据。

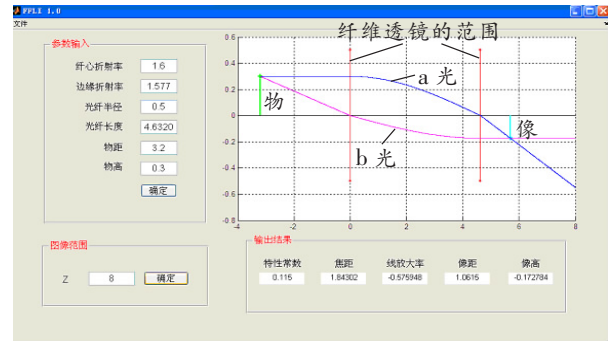


图 2 聚焦纤维透镜成像软件主界面

2.2 成像光路图绘制

成像光路如图 1 所示, 从物点发出的平行于光纤的 a 光与透镜轴线在 $z=0$ 处的 b 光相交, a 光和 b 光的交点就是像点。

图像的绘制是用分段函数来实现的, 即未进入光纤的光、进入光纤的光和出射光纤的光。利用聚焦纤维光线矩阵, 可以求出 a 光和 b 光的分段函数分别为(坐标原点选在光纤左端面的中心)

输出(注意一般输入的“图像范围”值要大于光纤长度和像距之和, 否则会显示不完整的光路图)。输出图像的坐标是动态变化的, 输入不同的数据, 系统自动匹配相应的坐标。

3 模拟软件应用举例

采用软件对聚焦纤维透镜的几种成像情况进行了光路图的绘制。选择光纤半径和折射率分布相同的光纤(软件默认的半径和折射率), 通过改变光纤长度和物距得到不同的成像结果。模拟计算和绘图结果如图 3 所示。计算出来的光纤各参数都完全符合理论计算结果, 且各种情况下的图像都可以用软件简洁明了地绘制, 成像的位置、虚实以及大小都能从图中很好地反映出来。

(下转第 38 页)