

Research on the Effect of Laser's Transmission Characteristic by Various Atmosphere Environment Based on Fractal Theory

Chen Li, Yi Quan

Photoelectric Specialty, Department of Control, Academy of Armored Force, Beijing
Email: lichennn2013@163.com

Received: Oct. 28th, 2017; accepted: Nov. 11th, 2017; published: Nov. 17th, 2017

Abstract

We simulate stable atmospheric environment and the same concentration of water vapor environment and smoke environment in our lab, and then we get the laser spot of our helium-neon laser in these three different environments with CCD sensor. Dealing with these images to get grayscale image and extract spots' contour line. Writing programs to calculate contour lines' fractal dimension and the result shows that laser's transmission characteristic is less affected by stable atmosphere environment so that the fractal dimension is the smallest. Comparing to the smog of the same class, the influence of vapor on laser's transmission characteristic is larger; for the fractal dimension is bigger and the spot's diameter is larger and the energy density is lower. It is feasible to analyze that how different environments affect laser's transmission characteristic by means of studying on laser spot's fractal dimension.

Keywords

Matlab, Grayscale Images, Contour Line, Fractal Dimension, Transmission Characteristic

基于分形理论的不同大气环境对激光传输特性影响的研究

李晨, 易琰

陆军装甲兵学院控制系光电室, 北京
Email: lichennn2013@163.com

收稿日期: 2017年10月28日; 录用日期: 2017年11月11日; 发布日期: 2017年11月17日

摘要

在实验室中模拟平稳大气环境和同等浓度的水蒸气环境与烟雾环境, 获取氦氖激光器在三种环境下的激光光斑图像。利用Matlab处理光斑图像得到其灰度图, 并提取出光斑轮廓线。编写程序计算光斑的分形维数, 得到的结果表明: 平稳大气环境对激光传输特性影响较小, 分形维数也较小; 同等浓度的水蒸气环境和烟雾环境, 水蒸气对激光的传输特性影响较大, 分形维数较大, 光斑直径较大, 能量密度较小; 可以利用激光光斑分形维数来研究不同环境对激光传输特性的影响。

关键词

Matlab, 灰度图像, 轮廓线, 分形维数, 传输特性

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

激光在大气中的传输会受到大气衰减作用的影响, 主要是大气分子与气溶胶粒子对激光的吸收和散射作用。当空气较为潮湿、水蒸气含量较高以及因气溶胶浓度升高造成的大气能见度较低等情况发生时, 这种衰减作用便会大为增强。有关大气与激光相互作用的研究一直是相关领域的热点问题, 研究的方法主要是以长期、大量的实验数据为基础, 通过计算机进行数值模拟, 构建物理模型, 这样的研究方式周期长而且较为复杂[1]。用 Mandelbrot 提出的分形理论来研究激光传输一定距离后的激光光斑的分形维数, 进而分析不同的大气环境对激光传输特性的影响, 将会为我们提供一个解决问题的新思路。

笔者在实验室内以氦氖激光器作为激光光源, 分别模拟出同等浓度的水蒸气环境与烟雾环境, 利用 ccd 传感器获取平稳大气环境、水蒸气环境及烟雾环境下的激光光斑, 再利用光束质量测量软件和 matlab 对图像进行相应的处理并计算其分形维数。

2. 实验数据处理

2.1. 原始图像处理

如图 1 是用 matlab 处理后得到的平稳大气环境的激光光斑的灰度图像(源程序部分参考了文献[2], 限于篇幅不再给出具体程序)。图像中颜色较为明亮的区域表示激光能量密度较大, 灰度值较小的次明亮区域表示光斑因气体分子的散射作用和衍射现象出现了破碎。

根据光束测量软件的计算, 在平稳大气环境下, 功率 0.2 W 的氦氖激光器在距离出光孔 0.3 m 处的光斑直径为 6132 μm 。

再用同样的方法处理水蒸气环境下和烟雾环境下的激光光斑, 分别如图 2 和图 3 所示。

激光光斑的直径分别是 8428 μm 和 7252 μm , 接收到的激光光斑功率值分别为 0.13 W 和 0.17 W。

2.2. 光斑轮廓线提取

图像的边缘是指其周围像素的灰度值有阶跃现象的像素的结合[3], 在提取边缘之前, 通常需要对图像进行区域填充和滤波, 使图像更加完整和清晰。借助 matlab 的内置函数可以很方便的对图像边缘进行

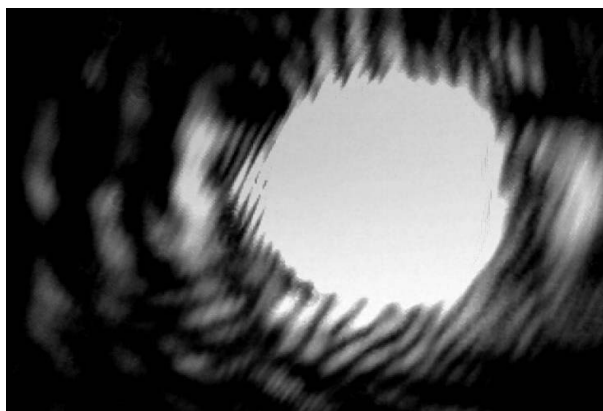


Figure 1. Figure of laser spot in reposeful air

图 1. 平稳大气环境下的激光光斑图像

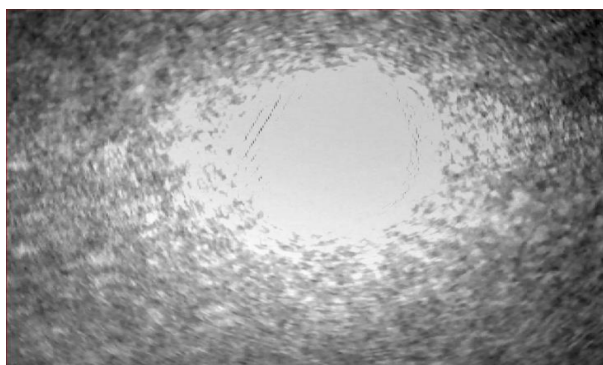


Figure 2. Figure of laser spot in vapour

图 2. 水蒸气环境下的激光光斑

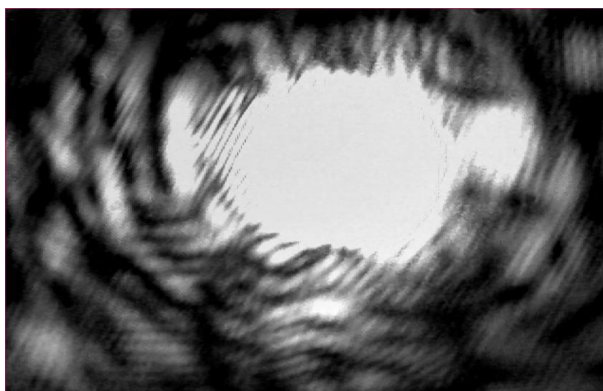


Figure 3. Figure of laser spot in smoke

图 3. 烟雾环境下的激光光斑

提取, 由于 sobel 算子在提取图像轮廓时算法简单、速度快, 且抗噪性良好, 所以这里我们采用 sobel 算子, 具体操作过程不再赘述。处理后得到的平稳大气环境下、水蒸气环境下、烟雾环境下激光光斑的边缘图像依次如图 4、图 5、图 6 所示。

3. 轮廓线分形维数的计算

计算不规则图形的分形维数, 最常用的方法是计盒维数法, 该方法原理简单易懂, 应用 matlab 软件

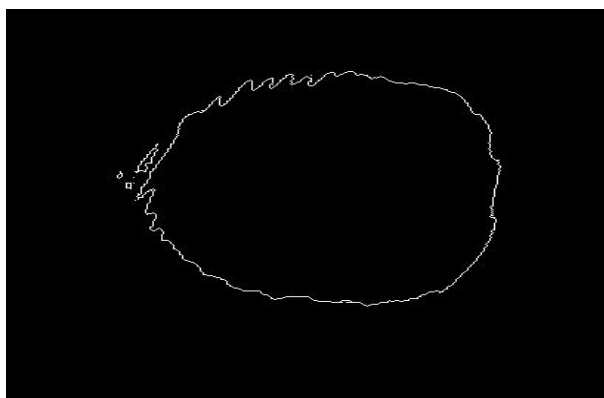


Figure 4. Contour line of laser spot in reposeful air
图 4. 平稳大气环境下的激光光斑轮廓线

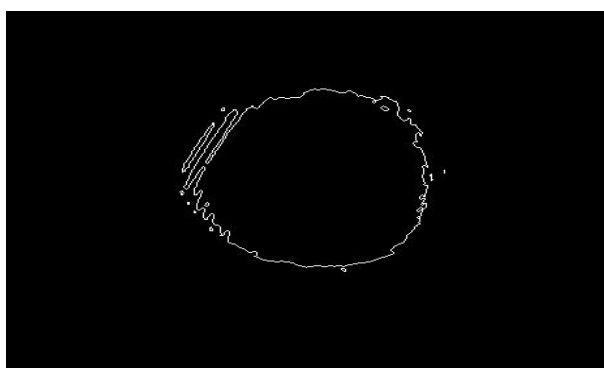


Figure 5. Contour line of laser spot in vapour
图 5. 水蒸气环境下的激光光斑轮廓线

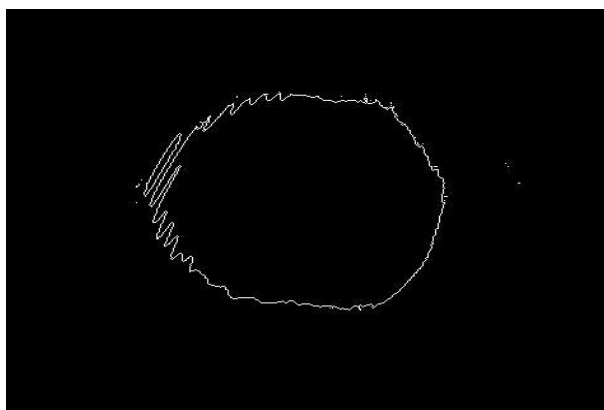


Figure 6. Contour line of laser spot in smoke
图 6. 烟雾环境下的激光光斑轮廓线

实现起来也较为方便。

计盒维数法的基本原理是将图像二值化处理之后, 得到一个关于每个像素点的矩阵数据文件, 矩阵的行数和列数分别对应于二值图像的行数和列数。先用 $n_1 \times n_1$ 个边长为 r_1 的正方形小网格划分数据文件, 那么就会有 很多小网格里包含数字 0 或者 1, 统计出包含数字 1 的小网格的数目 $N_{(1)}(r)$ 。接着缩小网格的尺寸为 r_2 , 统计出 $N_{(2)}(r)$, 不断重复上述过程, 使得 $r \rightarrow 0$, 那么分形维数即可由公式:

$$D = -\lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log N_{(i)}(r)}{\log r_i} \quad (1)$$

得到。

在实际的操作过程中, r_i 不可能无限接近于 0, 而只能选取尽可能小的有限值进行计算[4]。据我们统计出的不同 r_i 和与之对应的 $N_{(i)}(r)$, 利用最小二乘法在对数坐标中进行直线拟合, 得到的直线斜率相反数就是轮廓线的分形维数。

根据上述的基本原理, 在 matlab 环境下编写程序进行计算。表 1 是迭代次数为 8 时, 得到的 r_i 和 $N_{(i)}(r)$ 数值, 此时计算得到的数据较为准确且程序计算的速度也较快。

对表中的数值进行拟合。图 7 是平稳大气环境下, 激光光斑的分形维数计算和数据拟合结果, matlab 程序计算输出图 7 中橘色直线的斜率为 1.0678, 即在此条件下激光光斑的分形维数为 1.0678。

按照同样的方法, 计算出在水蒸气环境下, 激光光斑的分形维数为 1.1335; 烟雾环境下激光光斑的分形维数为 1.1183, 数据拟合的结果分别如图 8、图 9 所示。根据计算的结果我们可以发现, 平稳大气环境下, 得到的激光光斑分形维数较小, 而对于同等浓度的烟雾环境和水蒸气环境来说, 烟雾下的光斑分形维数小于水蒸气下的光斑分形维数。

Table 1. Result of box-statistics

表 1. 计盒统计结果

r_i	平稳大气 $N_{(i)}$	水蒸气 $N_{(i)}$	烟雾 $N_{(i)}$
1	5	5	6
0.5	15	13	15
0.25	31	26	33
0.125	65	60	68
0.0625	140	133	151
0.03125	292	299	344
0.015625	550	583	646
0.007813	922	976	1053

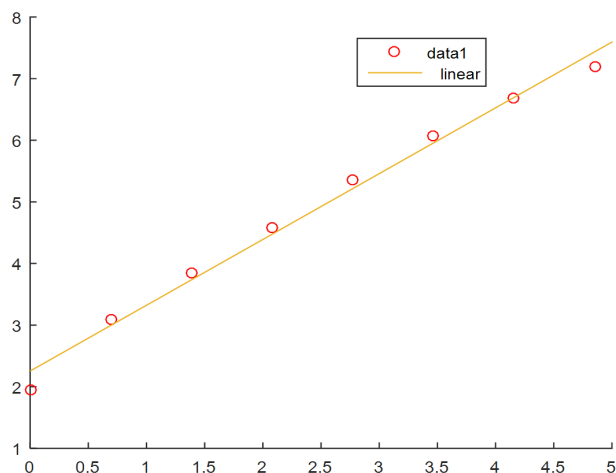


Figure 7. Fractal dimension of laser spot in reposeful air

图 7. 平稳大气环境下激光光斑的分形维计算

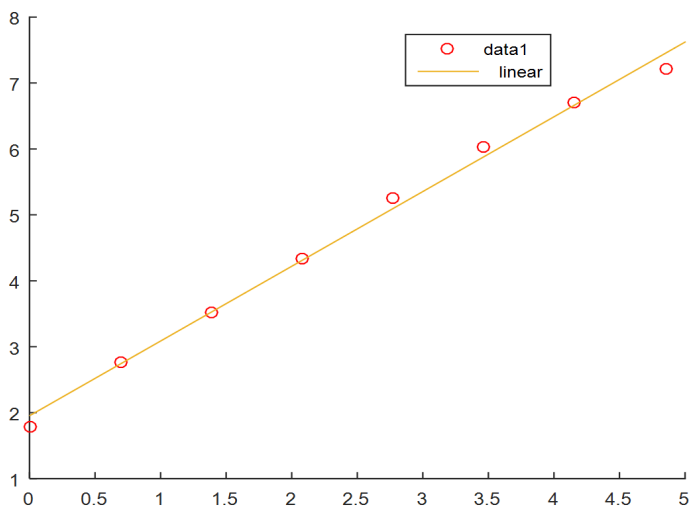


Figure 8. Fractal dimension of laser spot in vapour
图 8. 水蒸气环境下激光光斑的分形维计算

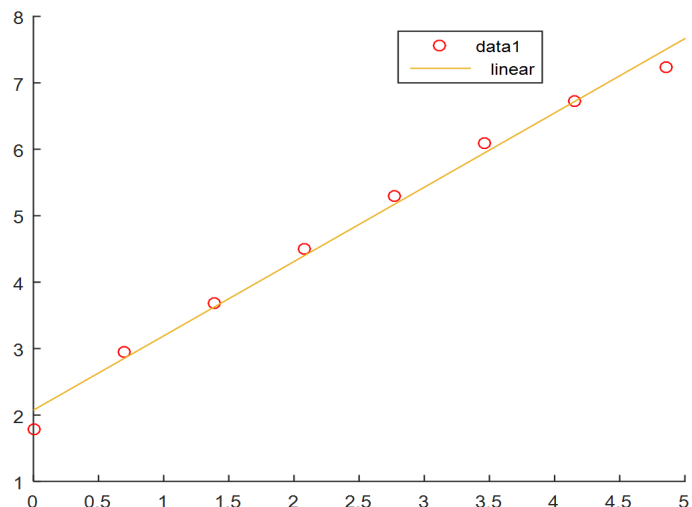


Figure 9. Fractal dimension of laser spot in smoke
图 9. 烟雾环境下激光光斑的分形维计算

4. 结论

本文在获取的氦氖激光器发出的 632.8 nm 激光光斑图像的基础之上, 在 matlab 环境下对图像进行灰度处理, 并提取光斑灰度图像的轮廓线, 利用分形理论分析计算相同波长的激光光斑在平稳大气环境、水蒸气环境下以及烟雾环境下的轮廓线的分形维数, 得到以下三点结论:

1) 在理想情况下, 激光在传播一定距离后, 其光斑依然能够保持完整, 轮廓线保持平整, 分形维数为 1, 表示激光光斑的能量分布均匀。但是在实际大气环境下, 大气分子对激光有吸收和散射作用, 加上大气湍流的扰动, 使得激光传输特性发生线性改变, 光斑破碎, 轮廓线不规则, 分形维数大于 1; 2) 平稳大气环境下, 湍流对激光的传输特性影响较小, 所测得的数据显示接收到的光斑能量大、直径小, 分形维数也较小。对于相同浓度的烟雾和水蒸气来说, 水蒸气对激光的传输特性影响较大, 吸收的激光能量大, 光斑分散, 形态上破碎也较为严重; 3) 对激光光斑的分形维数计算表明, 不同的大气环境会导致不同规则程度的光斑形态, 通过分析分形维数来研究复杂大气环境对激光传输特性的影响是可以实现的。

参考文献 (References)

- [1] 白改朝, 司磊. 基于 Matlab 的稳态热晕数值计算[J]. 人工智能及识别技术, 2010(10).
- [2] 刘保柱, 苏彦华, 张宏林. Matlab7.0 从入门到精通(修订版) [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.
- [3] 田会, 范军旗, 杜文斌. 基于数字图像处理的火焰轮廓提取方法研究[J]. 工具技术, 2010, 44(10): 90-93.
- [4] 杨书申, 邵龙义. MATLAB 环境下图像分形维数的计算[J]. 中国矿业大学学报, 2006, 35(4): 478-482.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5450, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: oe@hanspub.org