

文章编号: 1003-501X (2004) 10-0061-04

激光光斑能量分布的三维伪彩色可视化方法

方海涛¹, 黄德双²

- (1. 中国科学技术大学自动化系, 安徽 合肥 230026 ;
2. 中国科学院合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: 人眼对不同灰度级的分辨能力非常有限, 但对色彩却相当敏感, 能区分有不同亮度、色度和饱和度的成千上万种颜色。根据人眼视觉的这个特点, 提出了一种激光光斑能量分布的三维伪彩色可视化方法。该方法利用伪彩色技术将激光光斑的 256 级灰度图像变换为连续变化的伪彩色图像, 通过空间灰度插值运算将离散的图像数据生成光斑的彩色三维模型, 实现激光光斑能量分布结构的三维可视化, 以反映光斑不同区域能量分布的相对大小和位置, 并可以通过 3D 坐标变换进一步方便人们从各个角度观察激光的能量分布。这为光束质量的评判提供了重要依据。

关键词: 激光光斑; 灰度图像; 伪彩色变换; 能量分布

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

The 3D visualization of the energy distribution of laser spot based on pseudo-color transform and the interpolation of grayscale

FANG Hai-tao¹, HUANG De-shuang²

- (1. *Department of Automatization, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China ;*

2. *The Institute of Intelligent Machines, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)*

Abstract: The resolving power of human eyes to different gray scales is limited, but it is very sensitive to different color. A method for 3-D pseudo-color visualization of the energy distribution of laser spot is proposed according to this behavior of human vision. A 256 grayscale image of laser spot can be converted into a pseudo-color image by using pseudo-color technique. It's important to transform the discrete image data to a reasonable model. By using nonlinear pseudo-color transform based on sine function and the interpolation of grayscale, the 2D and 3D visualization of the energy distribution of laser spot are realized. The visualization model reflects the relative sizes and positions of the laser spot energy distribution in different areas. One can conveniently observe the energy distribution of laser spot from different angles through 3-D coordinate transform. It provides an important basis for evaluating beam quality.

Key words: Laser spot; Gray image; Pseudo-color transforms; Energy distribution

引言

激光束的能量分布特征是激光器的主要技术指标之一, 对其进行准确辨识是评价激光器性能的重要依据。常用的方法是先获取激光束光斑的图像信息, 然后再进行判读。尽管现在已经能获得各种波长的激光, 但由于激光的高单色性, 实际使用中, 用于判读的一般是激光光斑的灰度图像。但是人眼对不同灰度级的分辨能力非常有限, 一般只能分辨十六个灰度级, 难以充分利用激光光斑灰度图像中所包含的有关光斑能量分布的丰富信息。例如, 图 1 和图 2 分别是多模运转的 Nd: YAG 固体激光器和单模运转的 He-Ne 气体激

收稿日期: 2003-11-10 ; 收到修改稿日期: 2004-08-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60173050)

作者简介: 方海涛 (1977-), 男 (汉族), 安徽霍邱人, 博士生, 主要研究方向为模式识别与智能控制。E-mail: fanght@iim.ac.cn

光器光斑的 256 级灰度图像。相对于人眼而言, 其中的光斑能量分布信息表现并不显著。然而, 人的眼睛虽然只能分辨少量不同的灰度级, 但人的视觉对色彩却相当敏感, 能区分有不同亮度、色度和饱和度的成千上万种颜色。根据这个特点, 我们可借助彩色化处理以得到对人眼来说增强了的

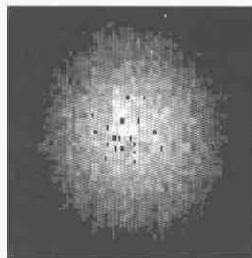


图 1 多模激光光斑灰度图

Fig.1 Gray scale of a multi-mode laser spot

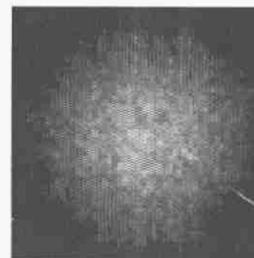


图 2 单模激光光斑灰度图

Fig.2 Gray scale of single-mode laser spot

视觉效果, 提高光斑灰度图像的可鉴别性。一种常用的彩色增强方法是对原来灰度图像中不同的灰度值区域赋予不同的颜色以更明显地区分他们。由于原图并没有颜色, 所以人工赋予的颜色常称为伪彩色。

如果在一幅灰度图像根据其灰度等级的不同变换成不同的色彩, 就能大大提高人眼的分辨力。灰度分割越多, 色彩越多, 人眼所能提取的信息也就越多, 从而达到了图像增强的效果。通过伪彩色变换和灰度插值运算, 我们实现了光斑能量分布的 2D 和 3D 伪彩色可视化, 直观清晰地表现出光斑能量的分布信息。

1 伪彩色变换原理

伪彩色变换就是把图像的各个灰度值按一定的线性或非线性函数关系映射成相应的颜色, 不同的灰度级对应不同的色彩。灰度图像伪彩色处理的目的是为了得到对具体应用来说视觉效果更好、更有利于人眼辨识的图像。伪彩色变换不改变像素的几何位置, 而仅仅改变其颜色, 是一种很实用的图像增强技术。由于具体的应用和要求的不同, 所需要的具体伪彩色变换方式也可以大不相同。可以有多种方式实现从灰度到彩色的变换。最简单的就是把灰度图像的灰度级别从 0 到 255 分成 256 个区间, 给每个区间指定一种色彩。此方法比较简单直观, 缺点是变换出的色彩有限, 表现力不强。

1.1 灰度级-彩色变换技术

伪彩色变换的实现方法有多种, 如密度分割法、灰度级-彩色变换法、滤波法等。其中, 密度分割法是一种不连续的伪彩色处理方法, 灰度级-彩色变换法则是一种连续的伪彩色处理技术, 这两者都是空间域的伪彩色处理; 而滤波法则是在频率域的伪彩色处理技术。灰度级-彩色变换法更为通用, 它能得到比密度分割法范围更宽的伪彩色增强结果。根据色度学原理, 任何一种颜色都可以由红、绿、蓝三基色按不同的比例来合成。因此, 伪彩色处理首先要设定红、绿、蓝三个变换函数, 对应每一个像素都有相应的红、绿、蓝输出, 之后三者又合成一个颜色。其基本方法是在任何一个像素的灰度级上进行 3 个独立的变换, 作为各自的三基色强度, 用配色方程表示如下:

$$I_R(x, y) = f(x, y)R(l) \quad (1)$$

$$I_G(x, y) = f(x, y)G(l) \quad (2)$$

$$I_B(x, y) = f(x, y)B(l) \quad (3)$$

式中 $f(x, y)$ 为像素在坐标 (x, y) 处的灰度值; $R(l)$, $G(l)$, $B(l)$ 为三基色变换函数; $I_R(x, y)$, $I_G(x, y)$, $I_B(x, y)$ 为变换后的三基色强度。把三基色强度信号单独送到 R, G, B 三基色通道进行处理, 然后合成, 这样就产生一幅受变换函数所调制的彩色合成图像, $f(x, y)$ 变换后的色彩表示为

$$g(x, y) = I_R(x, y) + I_G(x, y) + I_B(x, y) \quad (4)$$

灰度级-彩色变换方法使用的是光滑的非线性变换函数, 所以更加灵活。实际中, 变换函数常用取绝对值的正弦函数, 其特点是在峰值处比较平缓而在低谷处比较尖锐。通过变换每个正弦波的相位和频率就可以改变相应灰度值所对应的颜色。例如, 当三个变换具有相同的相位和频率时, 输出的图仍是灰度图; 当三个变换间的相位发生一点微小变化时, 其灰度值对应正弦函数峰值处的像素受到的影响较小, 但其灰度值对应正弦函数低谷处的像素受到的影响则较大, 特别是在三个正弦函数都为低谷处, 相位变化导致幅度变化更大。换句话说, 在三个正弦函数的数值变化比较剧烈处, 像素变换后的色彩受灰度变化的影响比较明显, 这样, 不同灰度值范围的像素就得到了不同的伪彩色增强效果。

1.2 光斑二维伪彩色图

根据光斑图像的实际物理意义,我们采用金属热编码变换函数。它可以把整个灰度范围变换成连续的、均匀的彩色显示。图1,图2中的光斑伪彩色变换结果如图3,图4所示。图中,最暗的蓝色表示背景,由逐渐变亮的蓝色到红色直至黑色依次代表能量的增强。显然,相对于灰度图像而言,光斑伪彩色图层次分明,光斑的边缘形状、能量由弱到强的变化趋势、多模和单模光斑的能量分布特征都被更加清晰直观地显示出来。

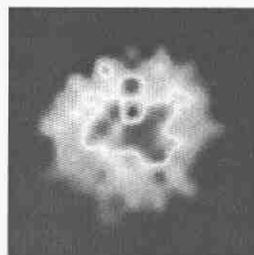


图3 多模光斑伪彩色图

Fig.3 Pseudo-color of multi-mode spot

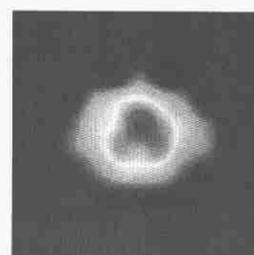


图4 单模光斑伪彩色图

Fig.4 Pseudo-color of single-mode spot

2 光斑能量分布的伪彩色三维可视化

相对于二维图像,三维模型可以提供更加全面和生动的信息表示。我们将光斑图像矩阵元素的灰度值作为 z 坐标,以其行号和列号作为 x 和 y 坐标,再进行伪彩色操作,生成三维图形。但是用于计算机处理的光斑图像都是经过采样、量化、编码而生成的,在空间和灰度上都是离散化了的数字图像;如果将这样的二维图像直接转换为三维显示,其效果并不理想。图3,图4的转换结果如图5,图6所示。

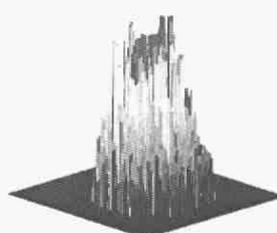


图5 多模光斑直接三维转换

Fig.5 Direct 3-D conversion of multi-mode spot

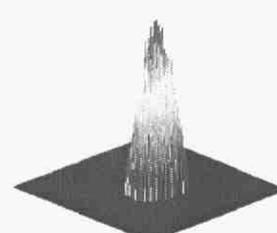


图6 单模光斑直接三维转换

Fig.6 Direct 3-D conversion of single-mode spot

空间分布数据的插值是三维可视化过程中的一个重要环节,其性能将直接影响后面三维表示的质量。因此,将离散的空间分布数据形成合理的三维模型,首先必须进行数据的插值,然后才能进行可视化操作。

2.1 灰度插值技术

在数字图像中,其像素值仅在坐标值为整数处有定义,所以在非整数处的像素值就要用其周围一些整数处的像素值来计算,这叫灰度插值。灰度插值的方法有多种,最简单的是最近邻插值。最近邻插值是将离非整数坐标 (x', y') 点最近的像素的灰度值作为点的灰度值赋给图像中对应的点,这种方法的缺点是生成的图像粗糙,不易辨识;若提高样条插值的精度,则计算量大,处理时间长。双线性插值是一种较好的折衷方法。它利用 (x', y') 点4个最近邻像素的灰度值根据下面的方法计算该点灰度值。

设 (x', y') 点的4个最近邻像素为 A, B, C, D ,它们的坐标分别为 $(i, j), (i+1, j), (i, j+1), (i+1, j+1)$,它们的灰度值分别为 $g(A), g(B), g(C), g(D)$ 。首先计算 E, F 这两个点的灰度值 $g(E), g(F)$ 。

$$g(E) = (x-i)[g(B) - g(A)] + g(A) \quad (5)$$

$$g(F) = (x-i)[g(D) - g(C)] + g(C) \quad (6)$$

则 (x', y') 点的灰度值 $g(x', y')$ 为

$$g(x', y') = (y-j)[g(F) - g(E)] + g(E) \quad (7)$$

以上方法很容易推广到3D情形。设 (x', y', z') 点的8个最近邻像素为 O, P, Q, R, S, T, U, V ,它们的坐标分别为 $(i, j, k), (i+1, j, k), (i, j+1, k), (i, j, k+1), (i+1, j+1, k), (i, j+1, k+1), (i+1, j, k+1), (i+1, j+1, k+1)$,它们的灰度值分别为 $g(O) \sim g(V)$ 。先计算 A, B, C, D 这四点的灰度值 $g(A) \sim g(D)$ 。

$$g(A) = (z-k)[g(P) - g(O)] + g(O) \quad (8)$$

$$g(B) = (z-k)[g(R) - g(Q)] + g(Q) \quad (9)$$

$$g(C) = (z-k)[g(T) - g(S)] + g(S) \quad (10)$$

$$g(D) = (z-k)[g(V) - g(U)] + g(U) \quad (11)$$

这样问题就转化为2D时的情况。再利用式(5), (6), (7)就可以求出 (x', y', z') 点的灰度值。

2.2 光斑能量分布的伪彩色三维表示

图 7, 图 8 是多模和单模光斑能量分布的三维效果图。图中, 经过灰度插值和伪彩色变换, 光斑能量分布的三维模型过渡自然, 色彩流畅, 非常符合人的视觉习惯。其中, 多模光斑能量分布强区的数目、相对强弱和范围, 以及单模光斑的强区出现的位置都被三维模型准确地表示出来。这样, 直观生动地反映了光斑的能量分布特征, 从而有利于人们的辨识。而且, 通过坐标变换还可以从不同的角度对三维模型进行观察, 实现“横看成岭侧成峰”的效果, 如图 9 所示。这样能够更加全面的掌握光斑的能量分布信息。不过, 用于 3D 旋转的坐标变换计算过程比较复杂, 本文在此就不详述了。

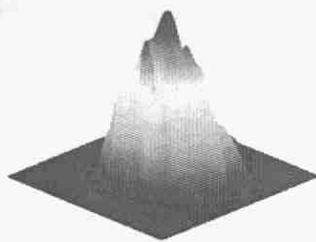


图 7 多模光斑能量
伪彩色三维分布

Fig.7 3-D pseudo-color distribution
of multi-mode spot energy

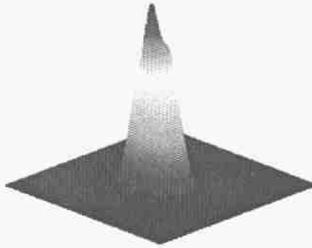


图 8 单模光斑能量
伪彩色三维分布

Fig.8 3-D pseudo-color distribution
of single-mode spot energy

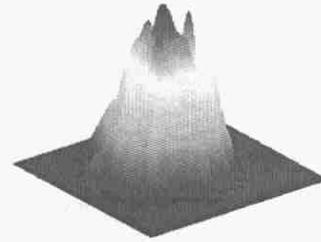


图 9 三维伪彩色图的旋转

Fig.9 Rotation of the 3-D
pseudo-color diagram

3 结论

激光光斑的图像信息可以帮助人们迅速、直观地掌握激光的能量分布特征, 但由于受制于人眼对不同灰度级的识别能力, 光斑灰度图像中所蕴含的丰富信息难以被充分利用。根据人眼对色彩非常敏感的视觉特性, 本文利用通过正弦波函数调制的非线性伪彩色变换, 将光斑的 256 级灰度图像转换为色彩连续变化的伪彩色图像, 而且随能量变化分布的色彩符合人们的视觉习惯, 突出了光斑的特征。同时, 经过空间灰度插值运算将离散的图像数据生成光斑的彩色三维模型, 实现激光光斑能量分布结构的三维可视化, 以反映光斑在不同区域能量分布的相对大小和位置, 并可以通过 3D 坐标变换进一步方便人们从各个角度观察激光的能量分布。

参考文献:

- [1] 杨枝灵, 王 开. 数字图像获取、处理及实践应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
YANG Zhi-ling, WANG Kai. Acquisition, analysis and application of digital image [M]. Beijing: Publish House of Posts & Telecommunication Press, 2003.
- [2] 张可村, 赵英良. 数值计算的算法与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
ZHANG Ke-cun, ZHAO Ying-liang. Algorithm and Analysis of Numerical Calculate[M]. Beijing: Publish House of Science Press, 2003.
- [3] 章毓晋. 图像处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
ZHANG Yu-jin. Processing and Analysis of Image [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1999.
- [4] KOK C W, HUI Y, NGUYEN T Q. Medical image pseudo coloring by wavelet fusion[A]. Proceedings 18th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society[C]. Amsterdam, Netherlands: IEEE, 1996.
- [5] HADENFELDT A C, SAYOOD K. Compression of color-mapped images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1994, 32(3): 534-541.

本期组稿: 陈伟明, 徐荣昆
责任编辑: 杨淇名, 徐荣昆
英文编辑: 白德开, 温尚明
标 引: 王志伟