

基于数学形态学的激光雕刻中光刻槽补偿算法研究

刘晓东 胡 兵 何云贵

(华中理工大学激光技术与工程研究院, 武汉, 430074)

摘要: 光刻槽的补偿问题在激光雕刻中有着重要意义。作者分析了光刻槽现象的数学形态学本质, 在此基础上, 提出了一种可变结构元补偿算法, 在实践中取得了良好效果。

关键词: 激光雕刻 数学形态学 计算机图形学

A compensatory algorithm for laser trough based on mathematical morphology

Liu Xiaodong, Hu Bing, He Yungui

(Institute of Laser Technology & Engineering, HUTS, Wuhan, 430074)

Abstract: The compensative problem of laser trough is very important in laser carving. This paper analyses the mathematical morphology essence of laser trough. In addition, it gives a changeable structuring element compensative algorithm. The algorithm has proved to be well in practice.

Key words: laser carving mathematical morphology computer graphics

引 言

近年来, 数学形态方法在图像处理、模式识别、信息压缩等方面的应用引起了人们广泛的兴趣, 是计算机科学的研究热门之一^[1]。

而激光雕刻是激光加工领域内的一门新兴技术, 由于计算机图形学、图像处理等学科的交叉渗透, 使得其在军工、机械、电子、汽车、广告美术等行业有着越来越广泛的应用前景。在激光雕刻中, 由于光刻槽现象的存在, 使得激光束对输出图形、文字中的应保留部分有一定的破坏作用, 从而降低了激光雕刻的精度。笔者曾在文献[2]中提出了一些光刻槽的补偿算法, 在实践中取得了一定的效果。而本文中我们将在数学形态学的理论基础上, 提出一种适应能力更强的可调结构元补偿算法, 以适应高精度激光雕刻的实践需要。

1 数学形态学的基本理论

数学形态学中最主要的是 Minkowski 和运算及结构元两个概念, 以及由它们产生的两个最基本的运算“膨胀”(dilation)和“腐蚀”(erosion)^[3]。图 1 为膨胀与腐蚀的示意图。

定义 1: 设 $E^{(n)}$ 中的集合 X , 结构元 B 为 $E^{(n)}$ 或其子空间 $E^{(m)}$ 中的一个点集。那么, 集合 X 关于结构元素 B 的膨胀、腐蚀分别为如下点集:

$$X \oplus B = \{X: B_x \uparrow X\} = \{X: B_x \cap X \neq \emptyset\} \quad (1)$$

$$X \oslash B = \{X: B_x \subset X\} \quad (2)$$

式中, $B_x = \{x - b: b \in B\}$, 即集合关于原点对称后沿向量 x 的平移。

定理 1:

$$X \oplus B = \bigcup_{x \in X, b \in B} \{x + b\} = \bigcup_{b \in B} X_b = \bigcup_{x \in X} B_x \quad (3)$$

$$X \ominus B = \bigcap_{b \in B} X_b \quad (4)$$

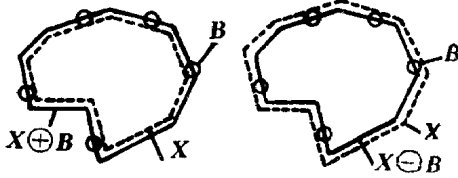


Fig. 1 The dilation and erosion of set

证明: 由 (2) 式, $X \ominus B = \{X \setminus B_x \subset X\} = \{x : x - b \in X, \forall b \in B\} = \{x : x \in X_b, \forall b \in B\} = \bigcap_{b \in B} X_b$, 故 (4) 式成立。

对于 (3) 式, 若 $y \in X \oplus B$, 则 $\exists x$, 使得 $x \in B_x, x \in X$. 因此, $x \in \{y - b : b \in B\}$, 故 $\exists b',$ 使得 $x = y - b', b' \in B$, 所以, $y = x + b', x \in X, b' \in B$. 此即表明, $X \oplus B \subset \bigcup_{x \in X, b' \in B} \{x + b'\}$. 类似地可以证明 $\bigcup_{x \in X, b \in B} \{x + b\} \in X \oplus B$, 故 (3) 式成立。

定理 2: $(X \oplus B)^c = X^c \ominus B \quad (5)$

$$(X \ominus B)^c = X^c \oplus B \quad (6)$$

证明: 利用 (3) 式和 (4) 式可得: $(X \oplus B)^c = (\bigcup_{b \in B} X_b)^c = (\bigcap_{b \in B} (X_b)^c) = (\bigcap_{b \in B} (X^c)_b) = X^c \ominus B$, 类似地, (6) 式也成立。由定义 1、定理 1 与定理 2 可知, 膨胀与腐蚀可转化为集合的逻辑运算 (与、或、非)。这种变换易于物理实现及并行处理。这正是形态变换的重要特征之一^[4]。

2 光刻槽的数学形态学意义

激光雕刻的基本原理如图 2 所示, 激光束经光学机构传输并聚焦在材料表面上, 使作用点的材料迅速汽化, 形成凹陷点。计算机控制 x - y 控制台带动激光头移动并控制激光的开关。简单的说, 光笔的开关状态可完全与黑白二值图的 0, 1 点相对应, 即每当计算机读到一个“1”点时, 令激光开启, 读到一个“0”点时, 令激光关断。每处理完一个点, 计算机自动控制光笔移到下一个点的位置, 如此循环往复, 直到雕刻完整幅图像为止。

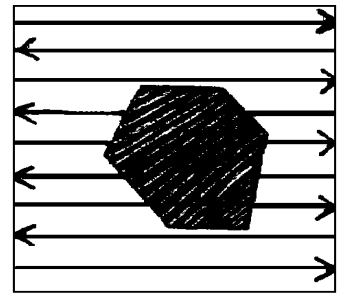


Fig. 2 The laser carving of two level image

在实际情况下, 激光光束与焦平面的交点不是一个几何点, 而是一个有一定直径的光斑, 另外, 激光与材料的相互作用会延伸到作用点周围的区域。这使得作用于工件材料时, 光斑会在其周围区域有所延展, 从而形成有一定形状和孔径尺寸的光刻槽, 它的存在对激光雕刻的精度有负面影响。如图 3 所示, 当光刻槽接触图形文字的边缘时, 将表现为明显的腐蚀作用。把这种腐蚀作用与数学形态学中的腐蚀算子相对应, 显而易见, 光刻槽便对应着结构元。这正是我们所提出的光刻槽的数学形态学意义。

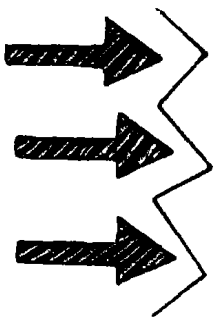


Fig. 3 The erosion to image edge of laser trough

3 可变结构元的光刻槽补偿算法

由于光刻槽对雕刻图形文字有腐蚀作用, 因此, 对这种腐蚀作用的补偿算法显然应与膨胀算子相对应。设欲雕刻的平面二值图像对应点集 X , 取一合适的结构元 B , 那么, 经过补偿的图像为 $X \dot{\vee} B$ 。

在实际情况下, 光刻槽的形状与尺寸并非一个确定值。它与光斑直径、光笔速度、光输出

功率大小、工件材料及光笔行进轨迹等都有关系。当光笔行进速度较快或是光输出功率较小时,激光在工件材料上的注入能量较小,所形成的光刻槽尺寸也较小,反之,则尺寸较大。而工件材料所含物质种类对光刻槽也有影响,如有机玻璃,激光作用时,能迅速将作用点的材料汽化,形成较小的光刻槽;而木头、橡胶等材料的光刻槽就较大。光笔行进轨迹对光刻槽的形状有一定影响,由于机械惯性和光关断过程中的延时作用,光刻槽会在行进方向上有所延伸。

因此,结构元本身就应是上述各因素的一个函数,其形状与尺寸应与光刻槽相对应,在不同情况下能动态可调^[5]。一般来说,光笔行进方向主要在水平和垂直两个方向上,因此,在实际算法中,我们将结构元 B 选为如图4所示的一个标准椭圆形,其圆心在坐标原点, x 轴半径 r_x 与 y 轴半径 r_y 都可调。

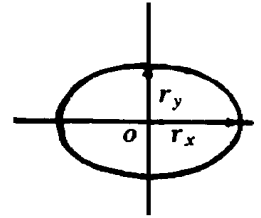


Fig. 4 The changeable structuring element in shape of a standard ellipse

4 实践与总结

我们在激光雕刻的实际算法中,运用了上述补偿原理。图5是

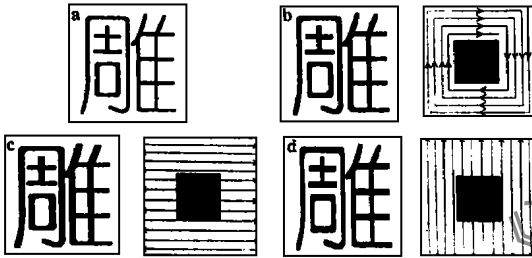


Fig. 5 The compensative effect of the changeable structuring element

a— $r_x = 0, r_y = 0$ b— $r_x = 2, r_y = 2$ c— $r_x = 4, r_y = 1$ d— $r_x = 1, r_y = 4$

相应算法的效果对比图。图5a是原始图形, $r_x = 0, r_y = 0$; 图5b中取 $r_x = 2, r_y = 2$, 此时,结构元实际上成为一个正圆形,原始图形在不同方向上得到同等程度的膨胀补偿,这种补偿方法适用于文献[6]中所提出的基于区域围线追踪的激光雕刻方法,如图5b右图所示;图5c中取 $r_x = 4, r_y = 1$, 此时,结构元为一横轴长于纵轴的标准椭圆,从图5c左图中可明显看到,原始图形在水平方向上得到的补偿要强于其垂直方向上的,

因此,图中汉字的纵向笔画比横向笔画要粗,这种补偿方法适合于水平走笔情况,如图5c右图所示;图5d中取 $r_x = 1, r_y = 4$, 此时,结构元为一纵轴长于横轴的标准椭圆,从图5d左图中可看到,图形在垂直方向上得到的补偿要强于其水平方向上的,因此,图中汉字的横向笔画比纵向笔画要粗,这种补偿方法适合于垂直走笔情况,如图5d右图所示。可见,可变结构元补偿法不仅有较好的补偿效果,还有较强的适用性,是一种理想的补偿方法。

参 考 文 献

- 1 徐建华. 图像处理与分析. 北京: 科学出版社, 1992
- 2 刘晓东, 吴华理, 胡兵 *et al.* 激光技术, 1995; 19(5): 317~ 319
- 3 Heijmans H J M. CVGIP, 1990; 50(6): 245~ 295
- 4 Marages P. IEEE Trans, 1989; PAM-11(6): 586~ 599
- 5 Song J, Delp E J. CVGIP, 1990; 50(6): 308~ 328
- 6 刘晓东, 胡兵, 何云贵 *et al.* 华中理工大学学报, 1997; 25(11): 51~ 53

作者简介: 刘晓东, 男, 1970年出生。博士研究生。主要从事激光加工领域的信息处理及计算机辅助设计研究。