

文章编号: 1001-3806(2015)02-0202-04

一种低复杂度的激光打标拐点检测算法

梁文斌, 谢跃雷*, 彭诚诚, 王太兴

(桂林电子科技大学 信息与通信学院, 桂林 541004)

摘要: 为了改善激光打标系统中图像解算的拐点检测率, 提高激光标刻质量, 采用一种基于斜率差的拐点检测算法, 进行了理论分析和实验验证。该算法计算出图像数据中相邻两点间偏移坐标的斜率, 并以此相邻坐标点连线斜率之差作为判决条件检测提取拐点。结果表明, 新算法较传统算法而言, 在拐点检测更为准确的同时, 具有较小的运算复杂度; 应用该算法能够修正传统打标系统中存在的拐点工艺问题, 使图像拐点在提取过程中能够更节省存储空间, 减少了运算量。

关键词: 激光技术; 拐点检测; 斜率; 图形分解

中图分类号: TG665

文献标志码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2015.02.012

A simple corner detection algorithm for laser marking

LIANG Wenbin, XIE Yuelei, PENG Chengcheng, WANG Taixing

(School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to improve corner detection probability and obtain satisfactory marking quality in laser marking systems, a corner detection algorithm based on slope difference was proposed and theoretical analysis and experimental verification were carried out. After calculating the slopes of adjacent points, the corner points were picked up in terms of slopes difference. The simulation results show that the proposed algorithm can achieve accurate corner points with less computation complexity compared with the traditional algorithms. This algorithm can solve inflection point processing problems in the traditional marking systems, save storage space and reduce the computational complexity in the process of extracting image inflection points.

Key words: laser technique; corner detection; slope; graph decomposition

引言

激光打标系统主要用于金属^[1]、塑料等各类材料表面标刻字符及图案^[2], 在众多行业中有着广泛的应用, 例如在产品上标刻2 维码、生产日期、产品商标、序列号等^[3]。与传统打标机相比, 激光打标属于非接触性打标, 具有工件无变形、无压力、无污染、无腐蚀等优点^[4], 有着广阔的市场前景。标刻质量是衡量激光打标卡优劣的重要指标^[5], 而衡量标刻质量的要素之一就是拐点的检测提取, 这对激光打标卡市场的开拓有着重要影响。

基金项目: 广西省自然科学基金资助项目 (2013GXNSFFA019004)

作者简介: 梁文斌 (1990-), 男, 硕士研究生, 现主要从事车地宽带无线通信技术实现的研究。

* 通讯联系人。E-mail: ylxie_guet@126.com

收稿日期: 2014-03-31; 收到修改稿日期: 2014-05-04

激光标刻在加工设定标刻图案时^[6], 需将数据分解成若干曲线, 当数据未在曲线的拐点做延时处理时, 激光振镜会因为惯性将尖锐的拐点做平滑处理, 因此, 在解算激光标刻图像时需要简单快速地检测提取拐点。在图像处理中传统的拐点检测方法有道格拉斯-普克法^[7]、角度判别法^[8]、增量变换法。道格拉斯-普克法是利用实际坐标计算距离长度与阈值的比较^[9], 而激光标刻中往往将坐标分解成偏移坐标, 使用道格拉斯-普克法需要额外再计算实际坐标, 这就大大增加了激光标刻中图像分解的运算复杂度^[10]; 角度判别法是利用偏移坐标计算偏转角与阈值的比较, 但是其运算量较大且阈值难以设定; 增量变换法是直接利用前后的偏移坐标进行比较, 其算法复杂度较低、运算量较小的优点使得该算法能够在激光标刻领域小范围推广, 但是其运算方法不够精准。以上几种方法在激光标刻中均不能达到简单、快速、精准的目的。

作者在分析激光标刻中图像分解的基础上,提出通过计算偏移坐标的斜率(省去了计算实际坐标这一复杂过程^[11])、设定门限值判别斜率之差以检测拐点的新算法,并通过 MATLAB 进行试验仿真对比,该算法比传统方法要简单,且对斜率不存在的点以及复杂曲线都能准确检测拐点。

1 激光打标中拐点检测的传统算法

增量变换算法是近年来提出的一种较为简单的方法,与道格拉斯-普克算法相比,它具有简单、快速、易识别等优点,是大多数激光打标技术中图形拐点的检测方法。该算法的基本思路是:根据曲线已解算好的 Δx 和 Δy 的增量方向进行判断,当 Δx 或 Δy 中任一增量的方向发生变化时,则检测提取拐点。以 Δx 增量为例:假若后一个 Δx_2 的增量方向为正(负),前一个 Δx_1 的增量方向为正(负),则这两个增量之间的点不检测提取为拐点;假若后一个 Δx_2 的增量方向为正(负),前一个 Δx_1 的增量方向为负(正),则这两个增量之间的点检测提取为拐点;假若后一个 Δx_2 的增量为 0(不为 0),前一个 Δx_1 的增量不为 0(为 0),则这两个增量之间的点检测提取为拐点;假若后一个 Δx_2 的增量为 0(不为 0),前一个 Δx_1 的增量为 0(不为 0),则这两个增量之间的点不检测提取为拐点。

算法的详细步骤如下:(1) 将曲线以一定的速度进行采样,如图 1 所示,得到增量 $\overline{C_0C_1}$, $\overline{C_1C_2}$, $\overline{C_2C_3}$, $\overline{C_3C_4}$, \dots , $\overline{C_9C_{10}}$; (2) 判断相邻间增量的方向变化,若相邻间的增量方向相同且都不为 0,则不检测提取作为拐点,如图所示 $\overline{C_0C_1}$ 和 $\overline{C_1C_2}$ 的 Δx 增量和 Δy 增量方向均相同且都不为 0, C_1 点不检测提取为拐点。若相邻间的增量方向不同或任一增量为 0,则检测提取该点作为拐点,如图所示 $\overline{C_1C_2}$ 的 Δx 增量不为 0, $\overline{C_2C_3}$ 的 Δx 增量为 0, C_2 点检测提取作为拐点; (3) 按照步骤(2)循环检测所有的点,直至最终检测可得到 C_2, C_5, C_7, C_9 为拐点。

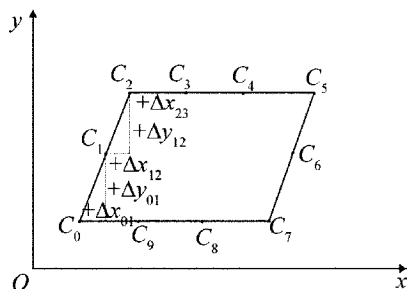


Fig. 1 Increment change method in the parallelogram schematic diagram

增量变换算法比道格拉斯-普克法更简单,且不需要计算绝对坐标的距离,可以直接利用已经解算好的增量坐标进行拐角检测,但其存在如下缺点:对于 Δx 和 Δy 增量方向都相同且不为 0 的一些特殊尖角,该方法却无能为力。如图 2 所示,在正十二边形中 $\overline{C_1C_2}$ 和 $\overline{C_2C_3}$ 的 Δx 增量和 Δy 增量方向均相同且都不为 0,但是 C_2 点却是图形标刻中需要检测的拐点,同样的情况也出现在了 C_5, C_8, C_{11} 。

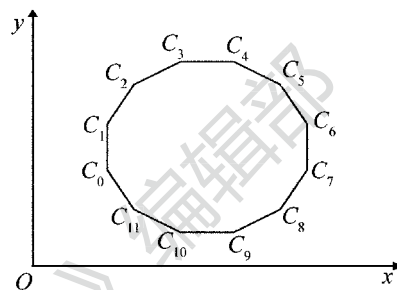


Fig. 2 Increment change method in the dodecagon schematic diagram

2 改进的激光打标拐点检测算法

针对增量变换法的不足之处,作者提出了一种方法简单、精准确度较高、运算速度较快的激光打标拐点检测法,该方法既摆脱了道格拉斯-普克法中绝对坐标的计算,同时又能保持了增量变化法中直接利用偏移量坐标的优点,不需要再计算绝对坐标中的距离,且对于任意曲线都能够顺利进行拐点的检测。

改进的方法是将曲线按照已解算好的偏移坐标 Δy 和 Δx 进行相除,计算出每个偏移坐标的斜率^[12],并依此将偏移坐标的斜率做差,若后一偏移坐标斜率与前一偏移坐标斜率之差的绝对值大于某个阈值,则两偏移坐标中间的连接点作为拐点被检测提取;若后一偏移坐标斜率与前一偏移坐标斜率之差的绝对值小于某个阈值,则两偏移坐标的连线被视为直线或平滑曲线,坐标不做检测提取。如图 3 所示,在 $\overline{C_0C_9}$ 曲线以一定的速率进行采样,得到增量 $\overline{C_0C_1}$, $\overline{C_1C_2}$, $\overline{C_2C_3}$, $\overline{C_3C_4}$, \dots , $\overline{C_8C_9}$ 。

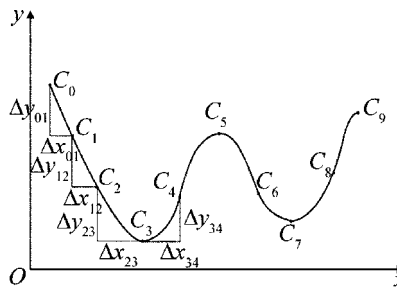


Fig. 3 New algorithm schematic diagram

取增量 $\overline{C_0C_1}, \overline{C_1C_2}, \overline{C_2C_3}, \overline{C_3C_4}$, 由偏移坐标可计算出其斜率 K_1, K_2, K_3, K_4 分别为:

$$K_1 = \Delta y_{01} / \Delta x_{01} \quad (1)$$

$$K_2 = \Delta y_{12} / \Delta x_{12} \quad (2)$$

$$K_3 = \Delta y_{23} / \Delta x_{23} \quad (3)$$

$$K_4 = \Delta y_{34} / \Delta x_{34} \quad (4)$$

取阈值 D , 如果 $|K_1 - K_2| < D, |K_2 - K_3| < D$, 则 C_1, C_2 点不被检测提取; 相反如果 $|K_3 - K_4| \geq D$, 则 C_3 点被检测提取成拐点, 采用同样的方式进行拐点提取, 直到终点。对于在曲线上增量的斜率不存在情况: 如果曲线中斜率不存在, $\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x_3 = \dots \Delta x_n = 0$, 则设定另一个阈值 Q , 并计算下一个增量的

斜率 K_{n+1} , 如果 $|K_{n+1}| \geq Q$, 则 C_{n+1} 不被提取; 如果 $|K_{n+1}| < Q$, 则 C_{n+1} 作为拐点被提取。对于阈值 D 的选取, 应根据激光标刻时的打标速度, 即偏移量 Δx 和 Δy 的长度适当变化: 当激光标刻时的打标速度越快, 即偏移量 Δx 和 Δy 的长度越长时, 阈值 D 的选取应适当增大; 当激光标刻时的打标速度越慢, 即偏移量 Δx 和 Δy 的长度越短时, 阈值 D 的选取应适当减小。具体而言, 阈值 D 的选取应与激光标刻时的打标速度成正比。对于阈值 Q 的选取, 只需要根据理论计算后进行仿真结果的微调, 即可成为一个固定值, 与激光标刻时的速度无关。

图4所示为新方法的算法流程图。

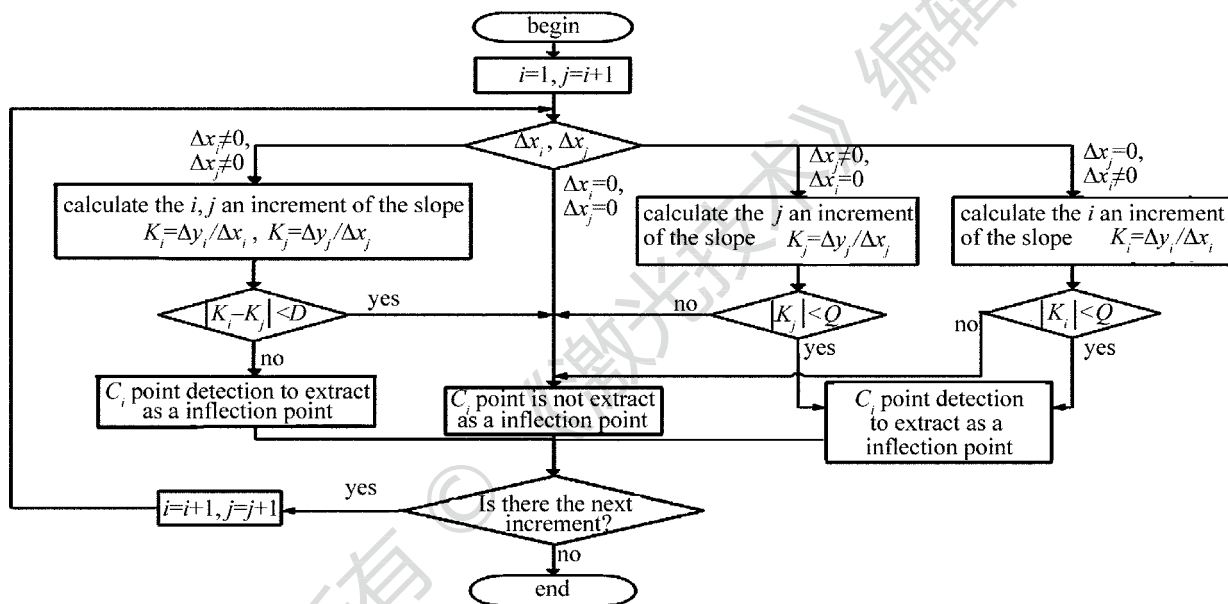


Fig. 4 Flow chart of the new method

对于改进的激光打标拐点检测算法如下说明
 (1) 新算法是使用斜率作为约束条件, 道格拉斯-普克法是使用距离作为约束条件, 前者比后者可操作性更强;
 (2) 新算法依次对各个增量的偏移坐标计算斜率, 可从图像解算原有的数据中直接做计算, 不需要使用绝对坐标进行重复运算;
 (3) 对于任意曲线, 本算法都可以快速进行拐点检测, 不需要大量运算。

3 算法的实验仿真

在 MATLAB 中使用该算法进行仿真, 其中图 5a 所示是新算法在正十二边形上的仿真, 图 5b 是增量变化法在正十二边形上的仿真, 图 5c 是道格拉斯-普克法使用适当阈值时在正十二边形上的仿真, 图 5d 是道格拉斯-普克法使用较大阈值时在正十二边形上的仿真。从图 5 中 4 个仿真可以看出, 使用新

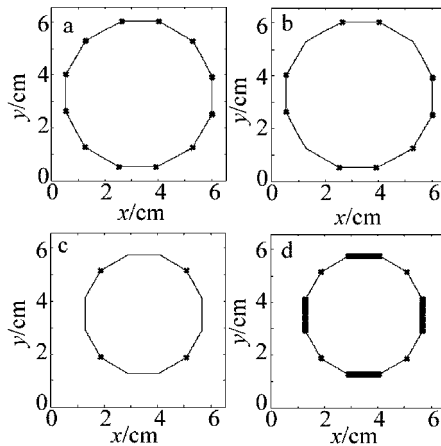


Fig. 5 Three algorithms in dodecagon simulation

算法对图形拐点的检测提取恰好在图形的拐点上, 新算法由于只用斜率之差作为阈值, 能够完整地在正十二边形上检测提取拐点; 使用增量变化法在正

十二边形的进行拐点的检测提取时,即使将右下角的起始点预设为拐点,也缺少了 3 个点的检测;使用道格拉斯-普克法在正十二边形的进行拐点的检测提取时,阈值设置最恰当时只检测提取了 4 个拐点,阈值设置偏大时导致平行线部分全默认为拐点,从而导致道格拉斯-普克法无法在对称闭合的正十二边形上完整提取 12 个拐点。

将 3 种算法循环 100 次运行,新算法只使用了 9.539s,增量变化法使用了 14.845s,道格拉斯-普克法使用了 23.762s。道格拉斯-普克法是使用实际坐标进行运算,而激光标刻图像分解都是以偏移坐标的形式存在,因此在运算过程中大大增加了算法的复杂度;新算法是针对增量变化法进行了优化,使得运行速度更快,拐点检测提取精度更高。结果表明,在新方法下能够简单、快速、精准地检测提取拐点,解决了增量变化法中存在的不足。

使用新算法在任意曲线上进行拐点检测提取的仿真,如图 6 所示。结果表明,新方法也能在任意曲线上简单、快速、精准地检测提取拐点。为了进一步验证在斜率不存在的情况下,能否顺利检测提取拐点,如图 7 所示来进行仿真,新算法也能够斜率不存在的情况下顺利检测提取拐点。两张仿真图均可验证新方法在不同曲线上都能进行拐点的检测提取,在非闭合曲线上,也能够将起始点和终点进行检测提取,其仿真结果能够满足行业对于拐点的要求,结果理想,说明此方法对不同类型的复杂曲线都

是有效的。

4 结 论

对传统的方法进行了改进,在新算法中,既保持了增量变化法的优势,又能解决了其在特殊尖点无法检测的不足之处,能够使用已解算好的增量坐标进行斜率计算,计算量少。新方法用斜率作为约束条件,减少了计算的繁复,节省了数据的存储量,具有一定的实用价值。

参 考 文 献

- [1] KUANG Y, WU Y F, WU B, *et al.* Extraction and optimization of marking path in laser marking systems[J]. *Laser Technology*, 2012, 36(1): 131-134 (in Chinese).
- [2] PENG L Y, WANG X Y, ZHOU J T, *et al.* Polynomial fitting correction of galvanometer geometric distortion error in laser marking[J]. *Laser Technology*, 2013, 37(5): 601-604 (in Chinese).
- [3] ZHOU Y F, ZHAO H F, HUANG Z Q. Laser lithography system and its technological research[J]. *Electronic Design Engineering*, 2011, 19(2): 126-129 (in Chinese).
- [4] DIACI J, BRAČUN D, GORIĆ A, *et al.* Rapid and flexible laser marking and engraving of tilted and curved surfaces[J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2011, 49(2): 195-199.
- [5] TANG H B. Laser printer marking quality and marking quality assessment standard research[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2012: 1-12 (in Chinese).
- [6] LUO P, WU Y F, YUE S, *et al.* Polygonal approximating algorithm of digital curves for bitmap laser marking[J]. *Laser Technology*, 2011, 35(3): 372-375 (in Chinese).
- [7] SUN C B, LI Y K, ZHANG Z H. The preliminary study of image segmentation based on douglas-peucker algorithm[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2012, 35(5): 33-35 (in Chinese).
- [8] SONG X M, CHENG C X, ZHOU C H. An analysis and investigation of algorithms for identifying convexity-concavity of a simple polygon[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2011(3): 25-31 (in Chinese).
- [9] SONG X, CHENG C, ZHOU C, *et al.* Gestalt-based douglas-peucker algorithm to keep shape similarity and area consistency of polygons[J]. *Sensor Letters*, 2013, 11(6/7): 6-7.
- [10] MA J, XU S, PU Y, *et al.* A real-time parallel implementation of Douglas-Peucker polyline simplification algorithm on shared memory multi-core processor computers[C]//Computer Application and System Modeling (ICCSM), 2010 International Conference. New York, USA: IEEE, 2010: 647-652.
- [11] LI S, FANG Y M, XI W F. Rapid compression algorithm based on the No topological vector curve[J]. *Science Technology and Engineering*, 2011, 11(18): 4324-4327 (in Chinese).
- [12] WANG H X, ZHU X G. Based on the slope change indirect algorithms to extract contour feature points[J]. *Software Guide*, 2010, 9(11): 66-67 (in Chinese).

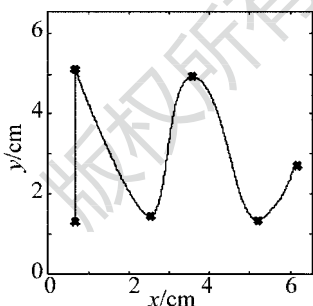


Fig. 6 The new algorithm in arbitrary shape curve simulation

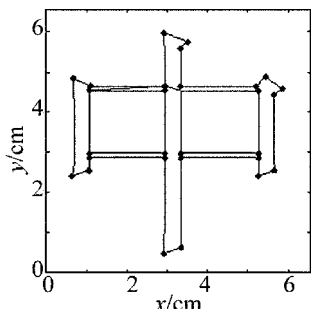


Fig. 7 The new algorithm without slope simulation