

文章编号:1001-9081(2010)08-2105-03

# 基于阈值矩阵的快速特征引导点画法

王会芹

(东华大学 理学院, 上海 201620)

(wanghuiqin@dhu.edu.cn)

**摘要:**针对传统点画法中存在的诸如产生的点的分布不合理、图像的原有特征不突出、迭代过程非常耗时等问题,提出了快速特征引导点画法。首先对特征图像进行距离变换得到偏置线,然后在偏置线上采样来获取点的分布,点画的绘制过程则通过预先生成的阈值矩阵进行映射来完成。实验结果表明,该算法性能有明显改进,不仅点的分布合理,而且可以大幅提高了绘制速度。

**关键词:**Voronoi 点画; 特征引导; 距离变换; 偏置线; 阈值矩阵

**中图分类号:** TP391.41    **文献标志码:**A

## Fast feature-guided stippling method based on threshold matrix

WANG Hui-qin

(School of Science, Donghua University, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** The traditional stippling methods have some deficiencies, for example, the distribution of stiples is not very reasonable, the features are not very clear and the iterations cost much time. In this paper, the fast feature-guided stippling method was proposed in accordance with the distribution and rendering of stiples. The distribution of stiples was generated by sampling on offset lines which were obtained by applying distance transformation to feature image. The rendering of stiples was the mapping procedure of threshold matrix generated previously to distributed stiples. The experimental results show that this method can help obtain good stippling style with reasonable stiples distribution. At the same time, the generating speed is increased greatly.

**Key words:** Voronoi stippling; feature-guided; distance transform; offset line; threshold matrix

## 0 引言

对照片进行风格化处理是计算机非真实感绘制的一个重要研究领域。点画作为一种艺术形式,主要通过点来表现色调明暗和纹理。艺术家在创作点画时需要仔细地确定每个点的位置以及点的疏密度,通常要耗费大量的时间和精力。因此由计算机自动地将照片处理成点画风格是非常必要的。

点画图像与半调图像之间有着密切的关系。不同的是,点画图像更加体现了手工作画的艺术风格,它除了点之外,还可以通过线条来突出图像的主要特征,而且点的大小和形状更加多样。通过控制点的分布将灰度图像转换为二值图像则是两者的共同生成法,因此许多点画技术中都融入了图像半调技术。比较有代表性的基于图像的点画法有 Deussen 等人<sup>[1]</sup>和 Secord<sup>[2]</sup>的方法。他们的基本特点是将数字图像作为输入,融入了半调及图像分割等技术。这类方法要解决的问题就是如何确定点的位置,使得从整体看来,点的分布是均匀且随机的。Deussen 等人<sup>[1]</sup>使用 Lloyd 算法对点进行松弛,然而这会导致图像边缘模糊。Secord<sup>[2]</sup>对 Deussen 等人的方法进行了改进,提出了加权 Voronoi 点画技术,通过构造 Voronoi 图并不断迭代可以得到比较好的点的分布。周亮<sup>[3]</sup>对这些算法进行了归纳和总结。然而这些传统的算法都采用了非常耗时的迭代过程,生成一幅点画通常需要几十分钟甚至几个小时。这么慢的速度常常让人难以容忍。

另一个问题是目前的大部分点画技术将主要精力集中于

如何产生更加均匀且随机的点的分布,而没有考虑到如何使点的分布更加体现图像本身的形状和特征。然而,从图 1(画家 Randy Glass 的作品)<sup>[4]</sup>可以看出,手工点画中点的分布并非完全随机,而是与图像特征有密切联系。Kim 等人<sup>[5]</sup>注意到了这一点,对 Secord 的加权 Voronoi 点画技术进行了改进,提出了以特征为导向的点画技术,该方法首先提取特征图像,然后通过距离变换,得到特征图像的偏置线,用于引导点的分布。然而,在调整点的分布时,仍然采用的是 Voronoi 迭代松弛技术,因此该方法虽然能够得到合理的点分布,但仍然比较耗时。



图 1 Randy Glass 的作品

本文针对以上问题提出了一种快速特征引导点画法,借鉴了 Kim 等人提出的特征偏置线的概念。与现有方法相比,本文算法不需要产生初始的点分布,也避免了对点的反复迭代松弛,而是直接在偏置线上进行均匀采样,一次性确定点的位置。在点的绘制时,引入了图像半调技术,通过合理设置阈值矩阵来控制点的形状与大小。这样既可以得到合理的点的分布,又可以大幅提高点画速度。

## 1 相关技术

### 1.1 数字半调

数字半调技术是非真实感渲染的一种,它利用不同密度的点的分布来体现不同的灰度级别,最终将灰度图像转换为二值图像,广泛应用于印刷等领域。传统的数字半调技术利用抖动矩阵产生点的分布,然后通过误差扩散来削弱半调所带来的视觉瑕疵。Pang 等人<sup>[6]</sup>为了使半调图像的边缘和纹理更加清晰,提出了结构敏感的半调方法,利用模拟退火技术得到高质量的半调图像。

### 1.2 加权 Voronoi 技术

Deussen 和 Secord 的方法是一种基于图像的点画法,点的初始分布由半调方法确定。加权 Voronoi 点画技术根据点的初始分布,计算出它们的 Voronoi 图,为每个点指定一个 Voronoi 区域,如图 2(a) 所示,然后按式(1)计算每个 Voronoi 区域的质心。

$$C_i = \frac{\int_A x\rho(x)dx}{\int_A \rho(x)dx} \quad (1)$$

其中:  $A$  表示当前 Voronoi 区域,  $\rho(x)$  表示密度函数。通过移动每个点到其 Voronoi 区域的质心来松弛这些点,不断重复这个过程,直到点的分布达到理想状态,如图 2(b) 所示。

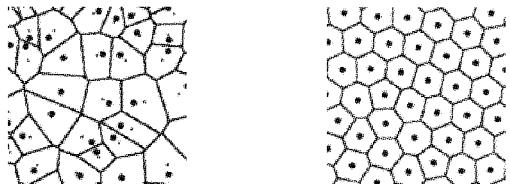


图 2 Voronoid 点画技术图

这种方法所生成的点画图像由于没有考虑到点的分布与图像特征之间的关系,因此所得到的效果与手工作品差别较大。同时迭代过程非常耗时。为此,Secord 采用如下方法来提高速度:预先根据不同灰度级别计算出不同密度的点的初始分布,迭代算法可根据输入图像在不同位置的灰度将预先得到的点的分布进行映射。然而这种快速点画法却使得最终点画质量有所下降。

### 1.3 特征引导法

为了得到更加合理的点的分布,Kim 等人提出了以偏置线为约束的特征引导法,并结合了 Voronoi 迭代松弛技术。该方法有利于让点的分布更加突出图像本身的固有特征。

按 Kim 等人的方法,偏置线的计算是以特征图像为基础,通过对它进行距离变换来完成的。点的初始分布被定义为对原图进行  $X$ 、 $Y$  方向上的等间距均匀采样。然后,以偏置线作为约束条件,进行 Voronoi 迭代松弛,过程如图 3 所示,由(a)到(c),点的分布逐渐趋于合理。

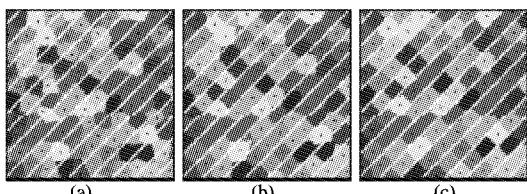


图 3 以偏置线为约束的点的松弛过程

在松弛过程中,如果一个 Voronoi 多边形被偏置线分割,

那么在计算质心时只考虑与当前采样点同侧的像素,然后将每个采样点移动到相应的质点。不断重复迭代过程,直到所有点对应的 Voronoi 多边形都基本位于两条偏置线之间为止,如图 3(c) 所示。

结果图像中点的大小是由原始图像的灰度决定的,即图像中越亮的区域点越小,越暗的区域点越大,圆点的半径与灰度值成反比。像素  $x$  处圆点的大小由式(2)计算:

$$s(x) = s_{\max}(1 - T(x))^{1/\gamma} \quad (2)$$

其中:  $s_{\max}$  表示圆点的最大半径,  $T(x)$  表示像素  $x$  处的灰度值,  $\gamma$  用于控制图像的整体对比度。

## 2 快速特征引导点画法

与 Deussen 和 Secord 等人的方法相比,Kim 的特征引导法虽然能够得到合理的点的分布,但 Voronoi 迭代过程仍然比较耗时。另外其采取的点的绘制方式通常无法表现所有灰度级。本文针对这两点,结合数字半调技术提出了快速特征引导点画法,主要包括在偏置线上直接采样的方法和基于阈值矩阵的点的绘制方法,这样既可以有很好的点画质量,又可以大幅提高点画速度。

### 2.1 偏置线计算

根据 Kim 等人提出的特征偏置线的概念,本文利用文献[7]的改进 SQI 方法得到特征图像,该方法不是传统意义上的边缘检测,它对图像进行两种不同形式的滤波,然后对滤波结果进行商运算并二值化,其结果包含了图像的主要特征区域,图 4(a) 的特征即为图 4(b) 所示。通过对特征图像进行距离变换<sup>[8]</sup>,便可得到等间距的特征偏置线,如图 4(c) 所示。

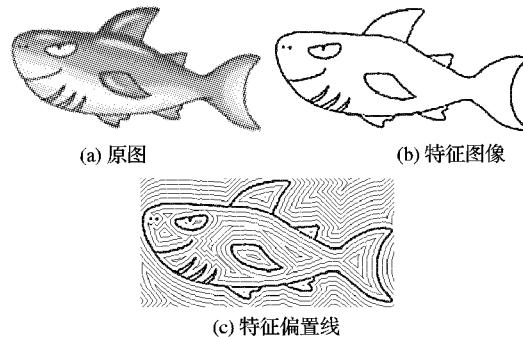


图 4 特征图像与偏置线的计算

### 2.2 在偏置线上直接采样以确定点的分布

为了既能得到合理的点分布,又能避免迭代,从而加快点画速度,本文采取了在偏置线上直接取点的方式,省去了初始点的生成过程,也不需要再次松弛,可以一次性确定点的位置。偏置线上的均匀取点过程如下:

假设 2.1 节所产生的特征偏置线之间的间距为  $k$ ,那么点与点之间的间距也设为  $k$ ,对任意一条偏置线  $l$ ,沿着该偏置线的方向,每间隔  $k$  个像素采样一次,直到处理完所有偏置线为止,如图 5 所示。显然,点的密度由偏置线间距  $k$  决定, $k$  取值越大,点越稀疏, $k$  取值越小,点越密集。在本文实验中, $k$  通常取值在 20~40。

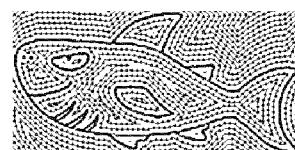


图 5 在偏置线上均匀取点

### 2.3 基于阈值矩阵的点的绘制

在传统的点画方法中,结果图像的灰度由半径不等的实心圆来体现,由式(2)知,圆的半径取值为 $r = 0, 1, 2, \dots, s_{\max}$ ,所能表示的灰度级最大为 $s_{\max} + 1, 0 \leq s_{\max} \leq 255$ 。然而在实际应用时,为了获取较好的视觉效果,圆的半径通常远小于255,一般取值不超过30,从而无法表现256级灰度。

本文针对这一点,结合图像半调技术<sup>[7]</sup>提出了基于阈值矩阵的绘制方式。预生成一个 $17 \times 17$ 的阈值矩阵,该矩阵值的分布采取中心发散型顺时针排列,如图6(a)所示。根据矩阵各点与中心的距离从小到大排序,相同距离的点按照顺时针排序,得到如图6(c)所示的阈值矩阵。其中有效的只有值小于256的元素,每个元素对应一个灰度级,如亮度 $g$ 由所有值小于 $255 - g$ 的矩阵元素表示,灰度从0到255所对应的点的形状和大小如图6(b)所示。该方法不仅能够表现256级灰度,而且每个点的形状都非常接近圆,不会影响整体点画效果。

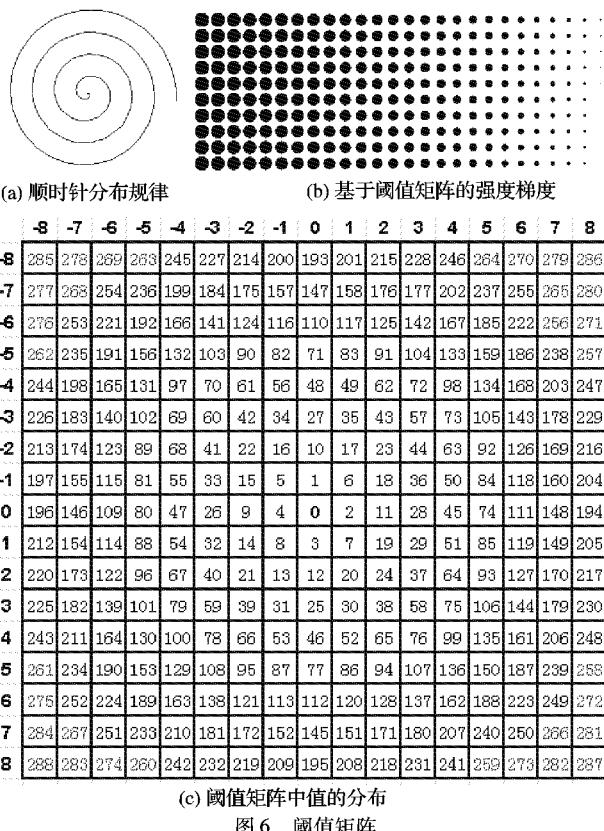


图6 阈值矩阵

在生成点画时,需要将阈值矩阵中心映射每一个采样点,采样点的计算根据2.2节确定。假设原始图像中某采样点 $(x, y)$ 的灰度值为 $g(x, y)$ ,阈值矩阵中元素 $(i, j)$ 的值表示为 $d(i, j)$ , $-8 \leq i, j \leq 8$ ,则在二值点画图像中,有:

$$g(x+i, y+j) = \begin{cases} 1, & d(i, j) < 255 - g(x, y) \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

绘制效果如图7所示。

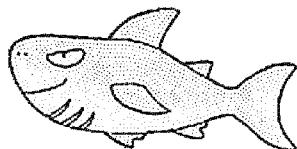


图7 点画效果

由于阈值矩阵只需生成一次,在绘制点画时进行直接映射,所以该方法不仅能表现256级灰度,同时也提高了点画绘

制速度。

### 3 实验结果

图8展示了随机点分布和特征引导点分布所得到的点画效果的比较<sup>[5]</sup>。为了进一步与原算法进行比较,本文取文献[5]中两幅照片进行了实验,如图9(a)和(e)。图9(b)和(f)由原有的特征引导法生成,图9(c)和(g)是按照文献[4]的方法所提取的特征图像,图9(d)和(h)由本文快速特征引导算法生成,点的密度参数 $k$ 取值在25到40之间。由于本文采用了不同的特征图像提取方法,因此得到了不同风格的点画。就点的分布而言,从图中可以看出,本文算法完全可以获得传统方法的效果。同时,原有的点画技术中最大圆点半径通常为20左右,也就只能表现20个左右的灰度级,而本文算法则可以表现256级灰度。因此,本文算法得到的点画质量更高。就速度而言,由于本文不需要产生点的初始分布并反复迭代松弛,而是通过在偏置线上直接采样来一次性确定点的位置,同时采用了阈值矩阵的直接映射法,使得绘制速度有了大幅提高。由于采用不同的特征图像提取方法而得到了不同风格的点画效果,从图中可以看出在加快绘制速度的同时,保持了点画质量。

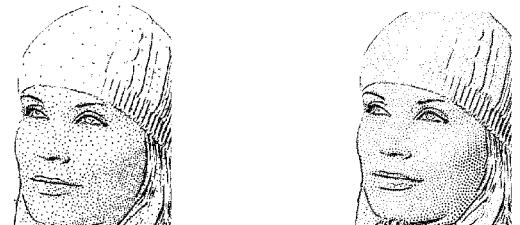


图8 随机点分布和特征引导点分布效果比较

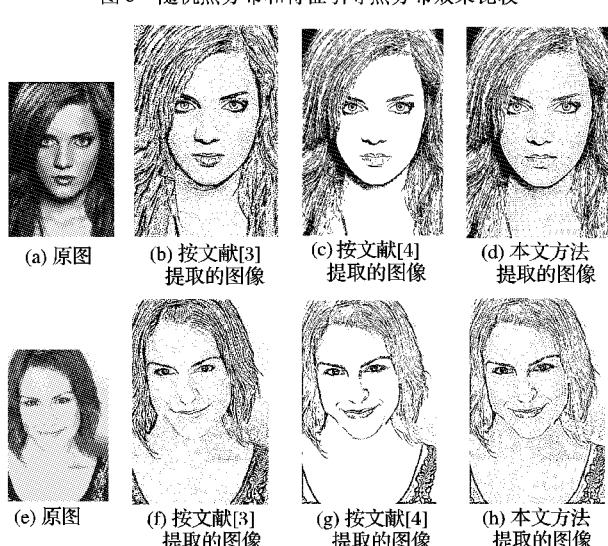


图9 不同风格的点画效果图

本实验所用算法都是用VC++ 6.0编译的,其运行平台为Intel Pentium 4 2.2 GHz处理器,760 MB内存,64 MB显存。对于图9(a),(e)所示的原始大小为 $640 \times 480$ 的图像,密度参数 $k$ 取值在25~40,本文算法的耗时均在25 s左右,而同样大小的图像,原有的特征引导法则需时大约90 s<sup>[3]</sup>。绘制点画时产生的总点数不同,耗时会有所不同。图9(d),(h)所示点画的总点数为3 000~5 000,若密度参数 $k$ 取值为10~15,则可以产生55 000多个点,耗时约1 min,而Voronoi迭代

(下转第2145页)

IQEAs 优化后的入侵特征库, 检测率高, 而且自适应性较好。综合上述实验结果可以得出结论: 在优化入侵特征库中, IQEAs 的寻优能力和收敛速度均优于 QEA 和 EA。

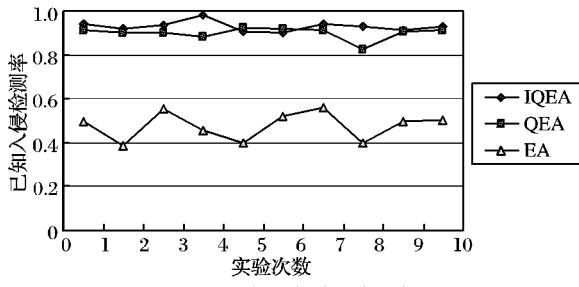


图3 已知入侵检测率比较

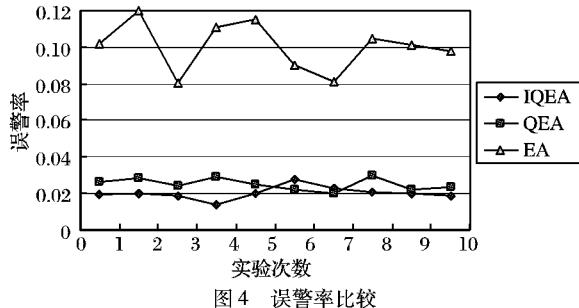


图4 误警率比较

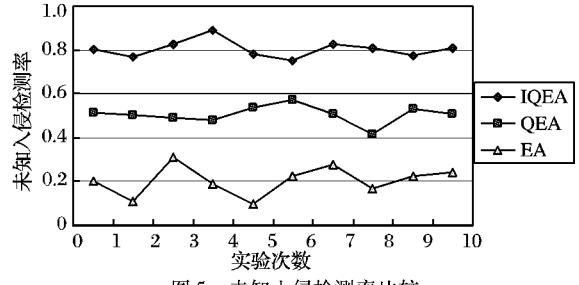


图5 未知入侵检测率比较

## 4 结语

量子进化算法在入侵检测中的应用, 是目前较新的应用

(上接第 2107 页)

法产生 40 000 多个点就需要约 20 min<sup>[2]</sup>。相比之下, 本文的点画速度有大幅度提高。

然而, 本文算法在处理形状规则的简单图案时, 如三角形、正方形等, 就会产生非常规则的点的分布, 从而影响视觉效果, 这也是在下一步研究中需要考虑的地方。

## 4 结语

本文针对传统的加权 Voronoi 点画法和原有的特征引导法存在的问题, 提出了快速特征引导点画法。我们的偏置线直接采样法具有很多优点, 不仅点的分布合理, 图像原有特征突出, 而且不需要产生初始点分布, 省去了反复迭代过程, 极大地提高了绘制速度。另外由于采取了基于阈值矩阵映射法, 使得点画整体效果非常好, 可以较好地表现 256 级灰度的图像。

与原有的特征引导法相比, 本文算法的不足在于, 处理形状规则的简单图案时, 所得到的点的分布过于规则, 效果欠佳, 这一点需要进一步研究。

## 参考文献:

- [1] DEUSSEN O, HILLER S, OVERVELD C, et al. Floating points: A

领域。本文针对现有网络入侵检测系统中的入侵特征库存在检测率低、自适应差的缺点, 提出了一种优化入侵特征库的改进量子进化算法, 对种群的确定及初始化、适应度函数的设计、量子旋转角的调整、染色体的交叉进行了讨论和改进, 并通过实验证明了算法的可行性和有效性。

## 参考文献:

- [1] 魏宇欣. 网络入侵检测系统关键技术研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2008.
- [2] 隋毅, 杜跃进. NIDS 的改进研究[J]. 计算机工程, 2007, 33(9): 120~122.
- [3] 郭慧玲, 唐勇, 张冬丽. 遗传算法在入侵检测规则提取中的应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(1): 248~250.
- [4] WEI Y X, WU M Q. Intrusion detection technology based on CE-GA-SVM[C]// Proceedings of 3rd Int Conference on Security and Privacy in Communication Networks. Washington, DC: IEEE, 2007: 123~128.
- [5] HAN K H, KIM J H. Quantum-inspired evolutionary algorithm for a class of combinatorial optimization [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(6): 580~593.
- [6] HAN K H, KIM J H. Quantum-inspired evolutionary algorithm with a new termination criterion, Hegate and two-phase scheme [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2004, 8(2): 156~169.
- [7] YANG S, WANG M, JIAO L. A novel quantum evolutionary algorithm and its application[C]// Proceedings of 2004 IEEE Congress on Evolutionary Computation. Washington, DC: IEEE, 2004: 820~826.
- [8] HAN K H, KIM J H. On setting the parameters of quantum-inspired evolutionary algorithm for practical application[C]// Proceedings of 2003 IEEE Congress on Evolutionary Computation. Washington, DC: IEEE, 2003: 178~184.
- [9] 覃朝勇, 郑建国. 一种新量子进化算法及其在函数优化中的应用[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(10): 2862~2865.
- [10] 寇晓蕊, 罗军勇, 蔡延荣. 网络协议分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.

method for computing stipple drawings[J]. Computer Graphics Forum, 2000, 19(3): 40~51.

- [2] SECORD A. Weighted voronoi stippling [C]// Proceedings of the Second International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering. New York: ACM, 2002: 37~43.
- [3] 周亮. 点画实现及其多样化——艺术风格图像渲染[D]. 大连: 大连理工大学, 2004.
- [4] Randy glass [EB/OL]. [2009-02-10]. [http://www.randy-glassstudio.com/layout\\_product.html](http://www.randy-glassstudio.com/layout_product.html).
- [5] KIM D, SON M J, LEE Y J, et al. Feature-guided image stippling [J]. Computer Graphics Forum, 2008, 27(4): 1209~1216.
- [6] PANG W M, QU Y, WONG T T, et al. Structure-aware halftoning [J]. ACM Transactions on Graphics, 2008, 27(3): 89~92.
- [7] WANG H Q, CHEN J C. Improving self-quotient image method of NPR[C]// Proceedings of International Conference on Graphic Communications. Washington, DC: IEEE, 2008: 213~216.
- [8] SNYDER W E, QI H. Machine vision[M]. London: Cambridge University Press, 2004.
- [9] STROTHOTTE T, SCHLECHTWEG S. Non-photorealistic computer graphics-modeling, rendering, and animation [M]. Amsterdam: Elsevier Science, 2002.