

一种光照不均匀图像的二值化方法

郭佳 刘晓玉 吴冰 付晓薇

(武汉科技大学信息科学与工程学院 湖北 武汉 430081)

摘要 在图像处理与分析中,二值化方法能把特征或目标从图像中分割出来,以便识别。在实际拍摄的图像中,图像光照不均匀使得图像二值化阈值确定困难。针对一类光照不均匀图像的二值化问题,提出一种单列处理及改进 OSTU 的二值化方法,通过分析该类图像上不均匀光照的分布特点,首先应用单列二值化处理方案,在省去专门光照均匀化处理步骤的同时,解决统一阈值二值化方法所造成的信息丢失问题。在逐列二值化处理过程中,首先采用传统 OSTU 方法获取图像各列的初始二值化阈值,然后根据各列的光照强度计算出该列二值化阈值的自适应微调量,实现对初始二值化阈值的优化。一组缺陷钢坯图片处理结果证实了所述方法的有效性。

关键词 二值化阈值 光照不均匀 OSTU 法 自适应微调量

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A DOI:10.3969/j.issn.1000-386x.2014.03.048

BINARISATION METHOD FOR IMAGES ACQUIRED UNDER NON-UNIFORM ILLUMINATION

Guo Jia Liu Xiaoyu Wu Bing Fu Xiaowei

(College of Information Science and Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, Hubei, China)

Abstract In image processing and analysing, binarisation method can be used to extract the features or targets from images for identification. But in actual shooting images, it is difficult to determine the binarisation threshold due to the non-uniform illumination on the image. To solve the binarisation problem of a class of non-uniform illumination, we propose a binarisation method which is based on single-column processing and improved OSTU. By analysing the distribution character of non-uniform illumination in such class of images, the scheme of single-column binarisation processing is firstly applied, while eliminating the step of specialised illumination uniformity processing, the losing information problem caused by the unified threshold binarisation method is overcome. During column by column binarisation processing, classical OSTU method is firstly used to obtain initial binarisation threshold values of each column of the image, then according to the illumination intensity of each column, the adaptive fine-tune value of the binarisation threshold of this column is calculated, thus we implement the optimisation on initial binarisation threshold. The method has been proved to be effective by the image processing results of a group of defective billet images.

Keywords Binarisation threshold Non-uniform illumination OSTU method Adaptive fine-tune value

0 引言

在数字图像处理中,二值化方法通过选取适当的阈值对图像进行分割,从而突出图像中的某些特征。对于光照均匀的图片,应用经典的全局阈值方法就能取得较好的效果,这些方法主要有:根据直方图谷底确定阈值法、迭代选择阈值法、最大类间方差法(OSTU)法等^[1-3]。但是在实际图片采集过程中,拍摄图片的背景光照有时是不均匀的,这样就对图片的二值化造成困难。为了解决光照不均匀条件下的图像二值化问题,目前的方法主要有三大类:一类是根据光照分布的情况对图片进行分块处理,再对各个块用经典的全局阈值二值化方法进行分割^[4,5];第二类是先对图片的背景光照进行处理,使其背景光照近似均匀,再用经典全局阈值方法进行处理^[6-8];第三类是经典的局部阈值法,该类方法根据图像中的每一个像素点与其邻域像素点

的灰度值变化来设定阈值逐点进行二值化,经典的局部阈值算法有 Bernsen 算法、Niblack 算法和 Sauvola 算法,Chow 和 Kaneko 算法等^[9,10]。但是,上述三种常用的方法都存在各自的不足:第一类方法是在光照分块较为明确的条件下才适用,对于不存在明显的灰度值分界的图片则失效;第二类方法计算量大,对于背景估计往往存在过估计或估计不足,对于光照不均匀且目标与背景差别较小的弱目标图像处理效果不佳;第三类方法需要对图片逐点计算,因此计算量大,而且也同样存在对弱目标图像处理效果不佳的问题。针对上述算法各自存在的不足,通过分析一类光照不均匀图像上的光照分布特点,本文提出了一种对图片进行单列扫描的方法,对单列应用经典的 OSTU 法确定初步阈值,再根据光照强度确定自适应微调量,以初步确定的阈值与

收稿日期:2012-08-03。国家自然科学基金项目(61201423)。郭佳,硕士生,主研领域:数字图像处理与模式识别。刘晓玉,副教授。吴冰,硕士生。付晓薇,副教授。

微量量的差作为该单列的二值化阈值,对每一列均执行此算法,最终得到仅含有目标特征的二值化图片。实验证明,该方法正确、有效,可以得到效果较佳的二值化图像。

1 OSTU 法的一般描述

1.1 常规二值化方法的概述

对灰度图像进行二值化的基本思想是确定一个阈值,然后把每个像素点的灰度值和阈值比较,根据比较的结果把该像素划分为两类——目标和背景。

设原始图像为 $f(x,y)$, 二值化分割图像的方法为:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) \geq T \\ 0 & f(x,y) < T \end{cases} \quad (1)$$

式中 $f(x,y)$ 表示图像中坐标 (x,y) 处的像素值, $g(x,y)$ 表示二值化处理后的图像中坐标 (x,y) 处的像素值, T 为二值化阈值。

1.2 经典的 OSTU 法

OSTU 法是全局阈值法的一种经典算法,是常用的二值化分割方法之一。该算法是在判决分析最小二乘法原理基础上推导得出,计算出来的分割阈值能使目标区域的平均灰度,背景区域的平均灰度与整个图像的平均灰度之间的差别最大,且计算过程简单,是一种稳定常用的算法。该算法的基本原理如下:

设图像的像素总数为 N , 灰度范围为 $[0, L-1]$, 灰度值 i 的像素数为 n_i , 则 i 的概率为:

$$p_i = \frac{n_i}{N} \quad (2)$$

把图像中的像素按灰度值用阈值 T 分成两类 C_0 和 C_1 , C_0 对应于灰度值在 $[0, T-1]$ 之间的像素, C_1 对应于灰度值在 $[T, L-1]$ 之间的像素, 则 C_0 和 C_1 的概率分别为:

$$w_0 = \sum_{i=0}^{T-1} p_i \quad (3)$$

$$w_1 = \sum_{i=T}^{L-1} p_i = 1 - w_0 \quad (4)$$

C_0 和 C_1 的均值分别为:

$$u_0 = \frac{\sum_{i=0}^{T-1} ip_i}{w_0} \quad (5)$$

$$u_1 = \frac{\sum_{i=T}^{L-1} ip_i}{w_1} \quad (6)$$

整个图像的灰度均值为:

$$u = w_0 u_0 + w_1 u_1 \quad (7)$$

定义类间方差为:

$$\sigma^2 = w_0 (u_0 - u)^2 + w_1 (u_1 - u)^2 \quad (8)$$

令 T 在 $[0, L-1]$ 范围内, 以步长 1 依次递增取之, L 为灰度图像的灰度级数目。当 σ^2 最大时对应的 T 即为最佳阈值。

该方法不需要人为设定参数, 是一种自动选择阈值的方法, 对目标与背景有较强对比的图像显示出较好的二值化效果。然而对于背景光照不均匀的图片进行二值化时, 该方法则有较大的不足。

这里以一幅实际拍摄的图片为例进行分析。图 1 为一幅带缺陷的铸坯图, 其中黑色斑块为缺陷部位。为提取图片中的黑色斑块缺陷, 需对该灰度图进行二值化处理。但由于图片上光照不均, 二值化阈值难以恰当选取。

如果用传统的 OSTU 法对图 1 进行二值化, 结果如图 2 所示。由于传统的 OSTU 法得出的二值化阈值是统一的, 而图像的光照分布是不均匀的, 这个统一的阈值不能较好地分割图像中的目标特征。



图 1 带缺陷的铸坯原图



图 2 原图经 OSTU 法处理结果

2 基于 OSTU 法自适应阈值分析

2.1 图片灰度值的分析

对图 1 的光照强度进行分析, 图 3 为图 1 的单列灰度平均值的分布图。

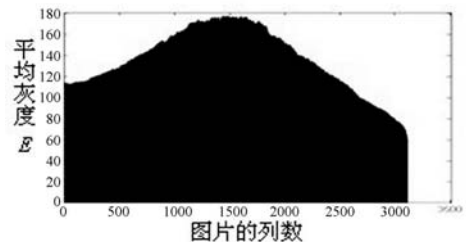


图 3 原图单列平均灰度值分布图

从图 3 中可以看到, 该图的灰度分布是连续的并不存明显的灰度分界点, 因此传统的对图片进行分块, 再对各个块进行阈值计算的方法在此并不适用。所以这里对图片进行单列灰度值分析。

分别取图 1 (共 3 101 列) 中的第 310、376、1 500 和 1 700 列作分析, 各列的灰度分布如图 4 所示。

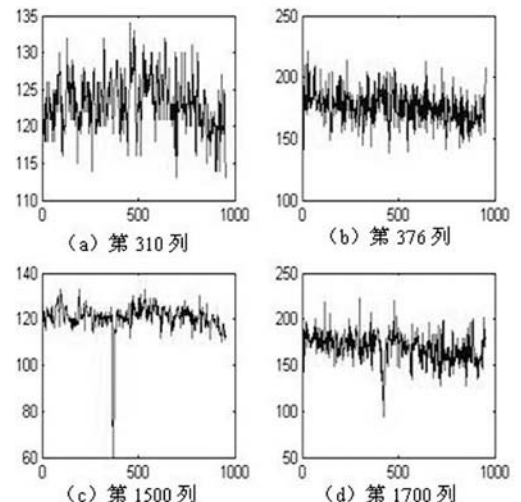


图 4 原图中典型几列的灰度分布图

从图 4 可以看出, 第 310 列和第 1 500 列虽然分出暗区和

亮区,但因都没有缺陷特征,各列的灰度值在一定范围内波动;第 376 列和第 1 700 列分处暗区和亮区,但因都有缺陷特征,各列的灰度值图分布上有明显的波谷。

因此可以得出结论,对该类光照不均图像,可考虑采用单列二值化处理的方式,这样会在很大程度地消除光照不均匀对图像二值化阈值的影响。对图 1 采用单列 OSTU 方法进行二值化处理的结果如图 5 所示。显然,图 5 较图 2 二值化处理的效果明显改善。

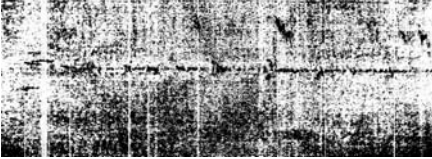


图 5 原图经逐列 OSTU 法处理结果

2.2 OSTU 法基础上统一微调量的分析

虽然单列 OSTU 法处理后的结果图片没有大面积的黑色区域,但不难发现,图 5 中仍有许多背景被当做目标被提取出来,可见采用单列 OSTU 法计算出的阈值是偏高的。考虑在单列 OSTU 法算出的阈值上减去统一微调量,再进行二值化处理,得到结果如图 6 所示,其中统一微调量设置为 15。

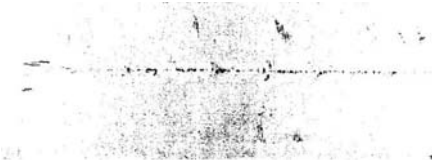


图 6 逐列 OSTU 法得出阈值统一减去 15 的二值化结果

显然,图 6 较之图 5 二值化处理效果大为改善,然而仍然存在背景与目标没有被区分的情况,尤其在图片的中间部分。可见,在 OSTU 法算出的阈值上再减少微调量这一方法是可行的,但仍需改进。

2.3 基于 OSTU 法自适应微调量的分析

1) 微调量与光照强度的关联分析

为设置合适的微调量,本文在单列 OSTU 阈值的基础上,尝试改变微调量大小,典型的实验结果如图 7 和图 8 所示。图 7 表明:在图片光照强度最弱的部分(平均灰度值较小),即图 1 的左右两端,当微调量较小时,该部分的特征基本上被提取了出来,但中间部分处理效果不好;图 8 则表明:在图片光照强度最强的部分(平均灰度值较大),即图 1 的中部,当微调量较大的时候,中部的特征基本上被提取出来,但两端部分处理效果不好。



图 7 逐列 OSTU 法得出阈值统一减去 10 的二值化结果



图 8 逐列 OSTU 法得出阈值统一减去 30 的二值化结果

因此,通过大量的实验与分析得知:微调量在光照强度强或弱的条件下,大小是不同的,在光照强度较强的部分(平均灰度值较大),需要减小的微调量是较大的;而在光照强度较弱的部分(平均灰度值较小),需要减小的微调量是较小的;在光照强度介于强和弱的部分,需要微调量也是介于最大微调量与最小微调量之间的值。

所以,可得出以下结论:任意列所需的微调量和此列光照强度是正相关的,采用统一微调量来改善 OSTU 法得出的阈值的做法欠妥,更好的做法是根据光照强度来设置自适应微调量。

2) 自适应微调量的设计

通过上述微调量与光照强度的关联分析可发现:任意列经典 OSTU 法得出的阈值和该列所需要的微调量二者拟合的曲线应该是单调递增的。

根据前文分析这里可以假设将自适应阈值微调量 w 和光照强度 E 的关系用图 9 所示几种数学模型来进行拟合。模型 I 是直线拟合;模型 II 是向上凸的单调的光滑曲线拟合;模型 III 是向下凹的单调的光滑曲线来拟合。

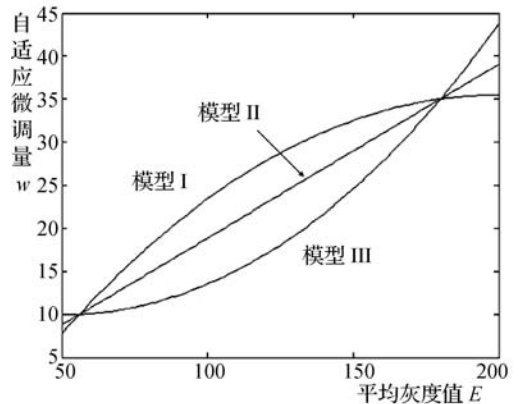


图 9 自适应微调量 w 与平均灰度 E 的三种关系模型

经过大量的实验与分析得出结论用向下凹的曲线拟合的效果较好,即数学模型 III,以下是对数学模型 III 的具体分析。

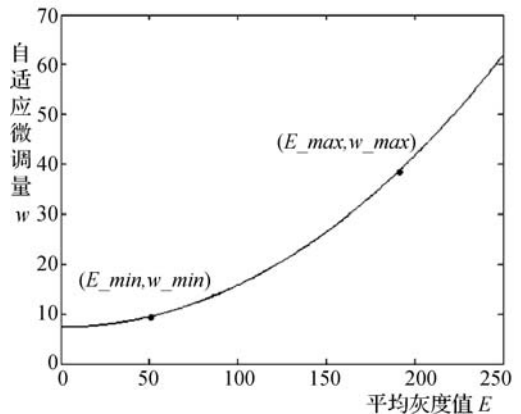


图 10 自适应微调量 w 与平均灰度 E 的最佳关系模型

如图 10 中模型 III 所示,为了求出该列所需的微调量 w ,曲线可用一段圆弧来表示,这里用经过两点的圆来拟合, (x_0, y_0) 是经过两点圆的圆心,其中 x_0 与 y_0 的关系为:

$$y_0 = -\frac{E_{max} - E_{min}}{w_{max} - w_{min}} \left(x_0 - \frac{E_{min} + E_{max}}{2} \right) + \frac{w_{max} + w_{min}}{2} \quad (9)$$

E_{max} 和 E_{min} 分别为此幅图片中单列灰度平均值的最大

与最小值,可以自动算出。 w_{max} 和 w_{min} 为此幅图片中最强光照下合适微调量与最弱光照下合适微调量,可以通过同一外界条件下拍摄的大量图片试验数据统计得出。此处统计所得: $w_{max} = 35$, $w_{min} = 10$ 。

由于 x_0 与 y_0 有式(9)的关系, x_0 决定圆的曲率。若 x_0 较小,则曲率较小;若 x_0 较大,则曲率较大。为保证拟合曲线的弧度的适中,经实验 x_0 取 $E_{min} - 50$ 至 $E_{min} - 60$ 之间的值最合适,最终拟合的圆的方程如下:

$$(w - x_0)^2 + (E - y_0)^2 = (x_0 - E_{min})^2 + (y_0 - w_{min})^2 \quad (10)$$

由式(10)可以解出微调量 w 与任意列平均灰度值 E 的关系,用下式表示:

$$w = -\sqrt{(x_0 - E_{min})^2 + (y_0 - w_{min})^2} + x_0 \quad (11)$$

3 算法实现

3.1 算法概述

对于该类背景光照不均匀的图片的二值化处理,先对单列用经典的 OSTU 法进行初步阈值的计算,然后再根据光照强度计算出自适应的微调量,初步阈值与自适应微调量的差即为该列二值化分割的自适应阈值。具体实现方法如下:

1) 对图片 f 的最左边第一列进行处理,由于 OSTU 法其本身是针对整幅图片的,因此需要对 OSTU 法的许多参数进行调整,以适应单列图片。

2) 求出此列需要的微调量 w 。这里用圆来拟合。

3) 利用微调量 w 对 OSTU 计算得出的初始二值化阈值 T 进行优化,得优化后二值化阈值: $T_{best} = T - w$ 。

4) 对此列进行二值化。为了保留缺陷部分的黑色斑纹,因此对此列图像中灰度大于 T_{best} 的像素设为二值图中的 1,小于 T_{best} 的像素设为二值图中的 0。

5) 把图片 f 从左向右依次进行单列处理,最后得到了大部分背景已经被去除的图片 ff 。

6) 对图片 ff 进行中值滤波。经实验,由于前几步处理后的图片中所含有的大部分噪声为近似椒盐噪声,因此用 3×3 (或者 5×5) 的掩模进行中值滤波处理,最终得到了一幅大部分背景已经被去除的二值化图片。

3.2 核心编程的实现

本次仿真在 MATLAB 2009 环境下开展实验,以下是本仿真 M 语言的自适应二值化程序。 $E(k)$ 为第 k 列的平均灰度值, $T(k)$ 为第 k 列的传统 OSTU 阈值,其余常量和字母含义在 2.3 节与 3.1 节中已经详述。

```
x0 = E_min - 60; % x0 可根据式(9)计算出。
for i = 1:n % 此循环为逐列二值化过程, n 为图片的列数
    w(i) = -sqrt((E_max - x0)^2 + (w_max - y0)^2 - (E(i) - x0)^2)
    + y0;
    T_best(i) = T(i) - w(i);
    ff(:, i) = 255 * (f(:, i) > T_best(i));
end % ff 为仅含有灰度值为 255 与 0 的图片
```

4 实验结果与分析

本方法在对一组铸坯缺陷图片上进行测试,铸坯缺陷图片来自钢铁厂现场采集图片。拍摄时外界不能有干扰光源,本次

采集使用普通数码相机拍摄,分辨率为 $3\ 648 \times 2\ 736$,拍摄时仅用闪光灯作为光源,图片格式为 JPEG。图 11 为专业缺陷铸坯判定人员用 PS 处理出的标准二值化图片与本算法处理结果的对比。其中图(a)与(c)为本文算法的结果图,图(b)与(d)分别为对应的标准二值化图片。

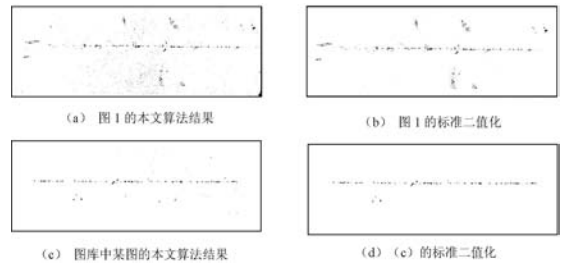


图 11 本文算法结果与标准二值化图片的对比

表 1 为本文算法结果图与标准结果图主要指标的对照表,以下是对各个指标的说明。噪声像素:标准结果图中没有黑色像素部分而本算法结果图出现了黑色像素的像素个数。干扰目标:本算法结果图中新增的连片噪声像素(100 个以上像素相连)的片数。丢失像素:标准结果图中有黑色像素部分而本算法结果图却没有的像素个数。丢失目标:结果图中丢失的连片黑色像素的片数。

表 1 本文算法结果与标准对比

图片	噪声像素	干扰目标	丢失像素	丢失目标
图 11(a)	369	0	156	0
图 11(c)	150	0	86	0
随机 50 幅图片	185(平均)	0.2(平均)	105(平均)	0.1(平均)

从表 1 可得出,为了后期对结果图片进行的目标识别,衡量二值化成功与否的重要指标即干扰目标与丢失目标的数目几乎为零;虽噪声像素与丢失像素较多,但这些误差对实际应用方面影响不大。从整体来讲,本文算法处理后的结果图片是一幅处理效果较好的二值化图片。

5 结语

针对图像二值化时所遇到的光照不均匀的问题,本文提出了在 OSTU 算法上进行改进,对图像的每一列进行 OSTU 法处理,得出初步阈值,再根据光照情况在初步阈值上进行调整从而得出此列的最终二值化阈值,进而对整幅图片进行二值化,不需要对不均匀的背景光照做预先处理。实验表明:该算法能准确有效地对光照不均匀且目标与背景差别较小的弱目标图像的特征进行提取,从而为后续的图像处理工作打下较好的基础。

参 考 文 献

- [1] 张德刚,戴冠中,刘航.改进的指纹自适应阈值分割算法[J].计算机应用研究,2008,25(6):1739-1740,1749.
- [2] 何昕,李晓华,周激流.一种自适应多阈值直方图均衡方法[J].计算机工程,2011,37(17):206-210.
- [3] Sauvola J, Pietikainen M. Adaptive document image binarization[J]. Pattern Recognition, 2000, 33(2): 225-236.
- [4] Sahoo P K, Soltani S, Wong A K C, et al. Survey of thresholding techniques[J]. Computer Graphics, Vision and Image Processing, 1988(41): 233-260.

R2011b 版本的 MATLAB 程序完成。三种纹理图像含有丰富的透视特性,同时包含具有代表性的结构性、半结构性和随机性纹理,满足实验需要。输入图像大小为 105×105 ,图像分辨率 dpi 为 96×96 ,合成效果如图 8 所示,其中,每一行的最后一幅为采用文献[9]中能量优化方法得到的结果。

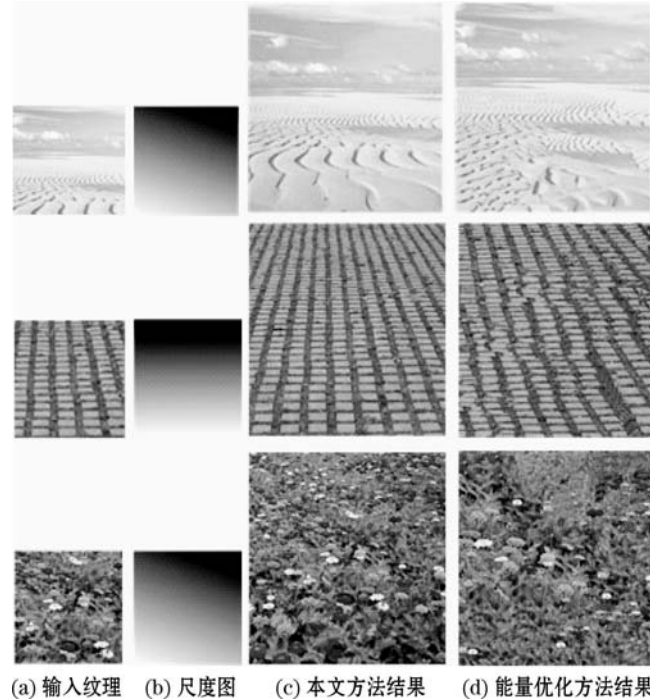


图 8 结合能量优化与缝合技术的透视纹理合成结果

对于图 8 中三种纹理图像的实验,给定的倾角和斜角分别是: $\sigma = 30^\circ, \tau = 18^\circ; \sigma = 15^\circ, \tau = 0^\circ; \sigma = 60^\circ, \tau = 20^\circ$ 。设定像素块的大小分别为 $5 \times 5, 7 \times 7$ 和 5×5 时对应三幅输入纹理有良好的合成结果。图 8 表明,相对于文献[9]中的方法,提出的结合图像缝合的改进能量优化方法能够同时适用于具有结构性、随机性等多种类型的透视纹理,合成的图像很好地保持了输入样图的透视特性和全局特性。由于结构性纹理中存在明显的边缘信心,在合成过程中即使是存在细微的接缝也容易被眼所感知。因此,相较于结构性纹理而言,本文算法对随机性纹理的合成具有更好的视觉效果。

为了进一步分析该方法的效率,选择 10 幅尺寸为 105×105 的纹理图像作为输入样本,设置三种输出尺寸: $128 \times 128, 256 \times 256, 512 \times 512$,像素块大小分别采用 $5 \times 5, 7 \times 7$ 和 9×9 ,得到每一种情况下算法的平均运行时间,如表 1 所示。

表 1 改变输出尺寸和像素块大小的平均合成时间 单位:s

输出尺寸 块大小	128 × 128	256 × 256	512 × 512
5 × 5	16.36	50.17	106.49
7 × 7	10.54	37.48	82.37
9 × 9	7.83	23.42	67.50

由表 1 可知,固定输出大小时,耗时随着像素块尺寸增大而缓慢减少;对于固定的像素块,随着输出尺寸的增加耗时增长逐渐加快。合成纹理大小为 256×256 和 128×128 时都可以在 1 分钟内完成,其中合成 128×128 时仅仅需要 10 秒左右的时间;而基本传统能量优化方法合成 256×256 需要 7 ~ 10 分钟,合成 128×128 约为 1 ~ 3 分钟。因此,与传统透视特性纹理合成技

术相比,改进的合成方法具有更高的计算效率。

4 结 语

本文根据纹理合成由“点匹配”到“块匹配”的思想,用块处理代替点计算,建立基于图像块的能量优化模型,并引入图像缝合技术改进了传统能量优化方法,结合尺度评估方法实现对透视纹理的有效合成。该方法在保持样本透视特性的基础上,对结构性、随机性等多种类型的透视纹理等的合成取得了良好的效果;此外,与同类方法相比计算效率大大提高,在大场景电影制作、大型电子游戏场景、特效广告等领域具有更广泛的适用范围。

参 考 文 献

- [1] 高瑛,刘生春,王延凤. 图像纹理合成的研究应用[J]. 现代电子技术,2012,35(14):87-89.
- [2] 邹昆,沃焱,张见威. 基于条块拼接的快速纹理合成[J]. 计算机工程与设计,2012,33(3):1008-1012.
- [3] 彭晏飞. 基于神经网络的自然景物纹理合成技术的研究[D]. 辽宁:辽宁工程技术大学,2006.
- [4] Huang G, Gao M, He Z W, et al. An improved example-based texture synthesis algorithm[C]//Proceedings of the Second WRI Global Congress on Intelligent Systems, Washington, USA, 2010:288-291.
- [5] 朱文浩,魏宝刚. 基于样本的纹理合成技术综述[J]. 中国图象图形学报,2008,13(11):2063-2069.
- [6] Efros A, Leung T. Texture synthesis by non-parametric sampling [C]//Intl. Conf. on Computer Vision, Corfu, Greece, 1999:1033-1038.
- [7] Vinod K R S, Arivazhagan S. Effects of variation of patch size and seam size in patch based texture synthesis [C]//International Conference on Computing Communication and Networking Technologies, India, 2010:1-8.
- [8] Efros A, Freeman W. Image quilting for texture synthesis and transfer [C]//SIGGRAPH 2001, Los Angeles, ACM Press, 2001:341-346.
- [9] Kwatra V, Essa I, Bobick A, et al. Texture optimization for example-based synthesis [C]//Proceedings of SIGGRAPH 2005. New York, ACM Press, 2005,3(24):795-802.
- [10] Dong W M, Zhou N, Paul J C. Perspective-aware texture analysis and synthesis [J]. The Visual Computer, 2008,24(9):515-523.
- [11] 李鹏飞,龙观水,景军锋. EM 算法在纹理织物图像分割中的应用[J]. 西安工程大学学报,2012,26(2):195-199.

(上接第 186 页)

- [5] 何晶,范九伦,李利. 基于多层次分块的指纹图像二值化方法[J]. 计算机工程与设计,2008,29(14):740-742.
- [6] 程培英,沈会良. 一种光照不均匀图像的恢复增强方法[J]. 计算机应用与软件,2008,24(10):52-54,62.
- [7] 闫三虎,胡卫东,罗小平. 改进二值化算法在 QR 码识别中的应用[J]. 计算机系统应用,2011,20(6):165-168.
- [8] 叶芾芸,许磊. 文本图像的快速二值化方法[J]. 红外与毫米波学报,1997,16(5):344-350.
- [9] Trier, Jain Ak. Goal-directed evaluation of binarization methods[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995,17(12):1191-1201.
- [10] 张引. 基于空间分布的最大类间方差牌照图像二值化算法[J]. 浙江大学学报:工学版,2001,35(3):272-275.