

Integration of Photographic Art and Imaging Technology: Calculating Effect of Small Depth of Field

Qi LI^{*}, Mei-juan BIAN, Zhi-hai XU and Hua-jun FENG

State Key Lab of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou, China, 310027

^{*}Corresponding author

Keywords: Imaging technology, Photographic art effect, Image processing.

Abstract. Photography teaching is inseparable from photography tools. Image processing and computing play an increasingly important role in modern photography tools. Some of the artistic effects that were originally achieved by camera hardware can now be achieved with software calculations. Background blur technology with small depth of field is a typical application. Based on the principle of optical imaging, this paper designs an image processing method to calculate the imaging effect of small depth of field, and explores the integration of imaging technology and photography art. The advancement of future imaging technology will better serve the art of photography. The integration of technology and art is a development trend, and the content of photography teaching needs to be updated simultaneously.

摄影艺术与成像技术的交融：小景深效果的计算

李奇^{*}, 边美娟, 徐之海, 冯华君

浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州, 中国, 310027

^{*}通讯作者

关键词: 成像技术; 摄影艺术效果; 图像处理

摘要: 摄影教学离不开摄影工具, 而在现代摄影工具中, 图像处理和计算发挥越来越重要的作用。一些原来要靠相机硬件实现的艺术效果, 现在用软件计算同样可以达到。小景深背景虚化技术即是典型的应用。本文基于光学成像原理, 设计了图像处理方法计算出小景深成像效果, 对成像技术与摄影艺术的交融进行初步探索。未来成像技术的进步将更好地服务于摄影艺术, 二者的融合是发展趋势, 摄影教学内容也需要同步更新。

1. 引言

“照相机与摄影技法技巧”课程是浙江大学的一门通识课程。学生多数是从零开始的初学者, 实习工具是基于传统成像理论的数码单反相机。随着现代计算成像摄影的发展, 更多的图像处理技术引入到摄影工具中, 越来越多的照片加入了图像处理的要素, 并将在商用摄影工具中广泛应用。学生学习完这门课后, 很可能要面对所学知识无法解释下一代摄影技术的情形, 这也是教学改革必须面对的问题。

目前摄影工具的制造者不仅关注如何保证摄影技术的正确运用, 也试图通过计算的手段“制造”艺术效果, 使得原来只能由专业人士实现的摄影效果变得初学者也可掌握, 原来只有高端摄影装备才能达到的艺术效果, 未来用普通的手机也可轻松完成[1]。本文以通过图像处理的方式计算得到小景深图像为例, 对摄影艺术与成像技术的交融进行初步探讨, 也为丰富教学内容提供素材。

2. 技术现状

背景虚化是通过减小成像系统的景深，使成像主体准焦同时场景的背景信息处于模糊的方法。随着成像设备的发展以及摄影技术的进步，摄影师们越来越多地需要利用这一方法来突出成像主体、用来增加作品的视觉美感。目前，在Photoshop等图像处理软件中已经增加了背景虚化的图像处理功能，但是这些技术往往仍然需要消费者通过手动选取感兴趣的目标主题区域，不仅操作过程繁琐，而且得到的虚化效果并不符合光学成像系统的成像原理。

3. 小景深艺术效果的计算

进行背景虚化处理首先要根据物体的深度对主题和背景进行分割。借鉴已有的各种基于单幅图像进行场景深度信息估计的思想，可对离焦图像序列中的图像进行处理，并根据所拍摄场景在物空间中不同物距的景物对应的准焦位置不同的原理，利用成像系统拍摄所获得的单张图像中景物准焦与模糊程度不同的特点，对场景中的景物深度信息进行估计。同时，为了解决原有基于离焦程度估计景物深度信息方法中存在的景物深度信息会受到细节纹理影响从而产生深度不连续的问题，引入超像素分割的概念，根据图像的特征将图像的同源区域块分成一块，使图像中的同一景物整体深度连续，从而实现前后景分割的目的。进一步地，结合形态学二值化和膨胀的手段来避免对焦过程中由于镜头移动而引起的所拍摄景物在图像中的漂移问题，进而得到拍摄前景主体区域的模板，并以分割出来的前景和背景。

3.1 高斯再模糊

我们可以利用薄透镜模型来分析准焦和离焦情况，如图1所示。

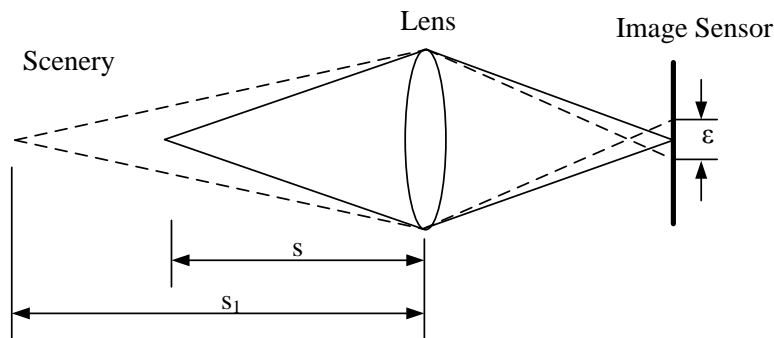


图1 薄透镜成像模型中准焦与离焦示意图

当物点位于成像系统距离为 s 时，来自该物点的所有光线都会收敛于图像探测器的像点上，因此所成的像是清晰的，而当物体位于距镜头距离为 s_1 的位置时，到达图像探测器的光线则为发散的，从而产生直径为 ε 的离焦模糊的弥散圆，离焦模糊的程度便取决于模糊圆的直径的大小， ε 可以用公式来表示[2]：

$$\varepsilon = \frac{|s_1 - s|}{s_1} \frac{f_0^2}{F(s - f_0)} \quad (1)$$

式中， f_0 和 F 分别表示成像系统的焦距和光圈数。

由于离焦模糊图像可以用清晰图像与点扩散函数（PSF）的卷积来表示，而通常情况下离焦情况下的PSF可以用高斯函数 $g(x, \sigma)$ 来表示。其中标准差可以用来衡量离焦量的大小，且其与弥散圆直径有线性关系。因此，对于模糊的阶跃边缘，其表达式如下：

$$s(x) = f(x) \otimes g(x, \sigma) \quad (2)$$

对于在多景深场景中拍摄得到的一组离焦序列图中的一幅前后景离焦程度不同的散焦图像而言，首先利用已知的高斯卷积对图像进行再模糊，得到再模糊图像，对再模糊图像进行傅里叶变换，记为 D 。

3.2 稀疏深度图

这里采用频谱对比度的方法对 D 进行处理（频谱对比度的概念是一个像素与相邻像素的绝对值对数差），再利用非线性回归分析来建立边缘处的频谱对比度与空间变化的离焦模糊量的关系，构成稀疏深度图。

根据上述方法得到修正的稀疏深度图后，采用抠图拉普拉斯矩阵进行深度插值[3]。大量实验发现，这种方法得到全局离焦图会受到纹理等细节信息的影响，这些信息体现在图像中的灰度信息与其实际的深度信息并不匹配，因此，为了避免全局离焦图中的纹理等细节信息对前后景分割的影响，不能仅仅将图像的灰度值作为深度估计的依据，需要采用更加合理的分割方式来估计图像中景物的场景深度。

3.3 超像素分割

图像的像素只是图像的离散化表示形式，而不是作为自然实体存在的，这代表着，图像中的像素个数非常多，以至于在图像中以像素为单位对其进行处理是十分复杂的，因而人们提出了超像素的概念[4]。超像素指的是由具有相似亮度、颜色和纹理等特征的相邻像素所构成的图像小块。通常来说，这些图像块不仅会保留物体在图像中的强边缘结构等重要信息，同时可以为图像分割提供具有指导意义的有效依据。超像素分割的图像是利用图像中的边缘结构及纹理细节等信息，并结合归一化的超像素分割算法而得到的。

在得到全局离焦图后，将基于熵率的超像素分割方法引入，得到作为对焦主体的前景图像，再选取合适的灰度阈值用来对所拍摄的场景进行前后景分割。

3.4 背景虚化流程

按前述的方法估计出所获得图像中不同空间位置处景物的场景深度信息后，对于单一背景而言，可以结合超像素分割以及阈值处理的方法，直接得到图像主体的二值图模板和背景的二值图模板，对背景进行统一程度的模糊处理，并分别得到主体的清晰度彩色图像和背景模糊的彩色图像，从而得到对原图像的背景进行虚化从而突出关注主体区域的效果，算法的流程图如下图所示。

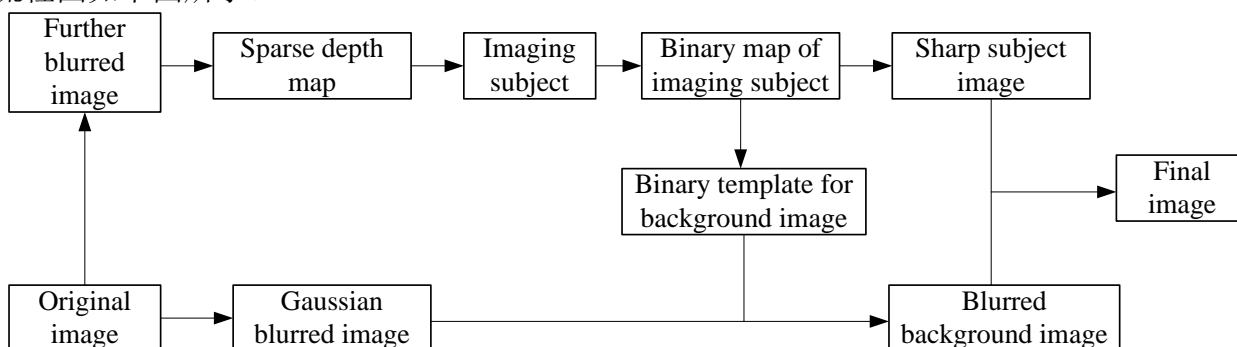


图2 背景虚化处理流程图

对于场景的背景存在深度变化的情况，则可采用多层次背景虚化算法[5]，根据估计得到的信息作为背景虚化的模糊尺度，对不同景深的物体进行不同程度的高斯模糊，从而达到符合成像系统光学离焦模型背景虚化效果。

4. 处理结果

前述的背景虚化方法可以根据用户需求，通过改变模糊尺度来控制背景虚化的程度，全过程可实现自动化与智能化，无需人工干预。



图3 多层次背景虚化算法处理结果图

从图3展示的不同程度背景虚化效果来看，利用这种方法不仅可以得到较为理想的虚化程度不同的背景虚化结果，还可以达到符合成像系统光学离焦模型的背景虚化目的。从图 (c) 可以看出，不同空间深度的景物的虚化程度是不同的，离镜头最远的书较离镜头较近的书的模糊程度更大，符合成像系统光学离焦模型理论。

5. 结束语

摄影教学是素质教育的重要组成部分。浙江大学的“照相机与摄影技法技巧”通识课程至今已有四十余年的历史，其教学内容已发生了深刻的变化。当前，手机摄影的应用越来越广泛；作为后来者，手机摄影从相机摄影中继承了许多传统成像技术，同时结合手机的特性融合了更多的图像处理功能。越来越多的照片不仅仅靠拍摄，还要靠计算与处理。学生在学习过程中，需要对未来的摄影技术有一定的了解，从而避免所学知识无法解释下一代摄影技术的情况。

本文以通过图像处理的方式计算得到小景深图像为例，对摄影艺术与成像技术的交融进行初步探讨，也为丰富教学内容提供素材。摄影工具的制造者不仅关注如何保证摄影技术的正确运用，也试图通过计算的手段“制造”艺术效果，诸如“大光圈-大景深”、“小光圈-小景深”这样在传统摄影中不能同时满足的摄影条件，通过图像处理的计算皆可突破，并服务于摄影艺术效果的构造。

致谢

本文为浙江大学光电学院教学改革项目 (8417N001)的阶段性和成果之一。

References

- [1] Qi Li, Meijuan Bian, Huajun Feng et al. Technology migration in photography general education: from camera to mobile phone, *WOP in Education, social sciences and psychology*, 26 (2019) 2243-2247.
- [2] Zhuo S, Sim T. Defocus map estimation from a single image, *Pattern Recognition*, 44 (2011) 1852-1858.
- [3] Levin A, Lischinski D, Weiss Y. A closed-form solution to natural image matting, *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 30 (2008) 228-242.
- [4] Ren X, Malik J. Learning a Classification Model for Segmentation, *IEEE International Conference on Computer Vision*, 1 (2003) 10-17.
- [5] Yeru Wang. Research on Auto-focus algorithms based on digital imaging processing, Doctoral thesis, Zhejiang University, (2018).