

文章编号: 1007-2780(2012)02-0229-06

基于分割的离焦图像深度图提取方法

史国凯¹, 王琼华^{1,2*}, 李大海¹, 赵悟翔¹, 彭华荣¹, 罗江勇¹

(1. 四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065, E-mail: shiguokai123@126.com;

2. 四川大学 视觉合成图形图像技术重点学科实验室, 四川 成都 610065)

摘 要: 针对影视作品中的大量离焦图像, 提出了一种离焦图像的深度图提取方法。将离焦图像的聚焦前景和离焦背景进行分离。对离焦背景提出了深度图模型匹配的方法, 构建深度图模型并结合人眼视觉对场景深度的敏锐判断, 将背景与对应的深度图模型进行匹配, 实现背景深度图的构建; 提出了基于颜色分割的深度图再处理, 来进一步提高场景深度图的精度。对前景采用单深度赋值, 并结合背景深度图融合生成最终深度图。实验表明采用该方法提取的深度图在深度跳跃和深度平滑区域都得到了好的效果。

关 键 词: 2D 转 3D; 前景分割; 深度图; 颜色分割

中图分类号: TP391

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20122702.0229

Method for Depth Map Extraction of Defocused Image Based on Segmentation

SHI Guo-kai¹, WANG Qiong-hua^{1,2*}, LI Da-hai¹,
ZHAO Wu-xiang¹, PENG Hua-rong¹, LUO Jiang-yong¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University,
Chengdu 610065, China, E-mail: shiguokai123@126.com;

(2. State Key Laboratory of Fundamental Science on Synthetic Vision, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: For a large number of defocused images in films and televisions, the paper proposes a method for depth map extraction of defocused image. Firstly, the focused foreground is separated from the defocused background in a defocused image. For the defocused background, a method for depth map model matching is presented, a depth map model is constructed, and the background and the corresponding depth map model is matched with the help of human's sensitive judgments on the scene depth. The paper also presents the depth map reprocessing based on color segmentation to improve the accuracy of the depth map of the scene. Finally, for the focused foreground, we assign a single value to be the depth in the area of the foreground, and produce the final depth map with respect to background depth map. The experiment shows depth maps obtained by the proposed method have good results in the areas of depth smooth and depth jump.

Key words: 2D to 3D conversion; foreground segmentation; depth map; color segmentation

收稿日期: 2011-08-17; 修订日期: 2011-10-20

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60877004, No. 61036008)

作者简介: 史国凯(1982—), 男, 山西朔州人, 硕士研究生, 研究方向为三维立体显示。

* 通讯联系人, E-mail: qhwang@scu.edu.cn

1 引 言

影视作品在拍摄过程中,为了凸显主角,往往采用局部区域聚焦拍摄技术,所以影视作品中存在着大量的离焦图像。实现这些离焦图像的 2D(二维)转 3D(三维)对 2D 影视作品的 3D 化意义重大。

实现图像的 2D 转 3D 关键是深度图提取,目前离焦图像深度图提取的研究已经取得了一定的成果。Wong 和 Erns 提出通过离焦图像的模糊估计法来提取深度图^[1]。使用高斯滤波器的二阶导数去处理离焦图像的边界时,返回的响应函数有一个正的极值和一个负的极值,通过计算这两个极值的间隔,来求取离焦像素点的模糊半径,最后通过模糊半径的大小求取对应的深度值。Valencia 等人利用小波分析和基于李普希兹指数的边界离焦估计,从单幅图像中获取相对深度^[2]。由于图像被按行分成了一系列一维信号来处理,所以所得深度图带有严重的条状干扰。Ge Guo 和 Nan Zhang 在 Valencia 的基础上引进了颜色分割和边界约束,消除了条状干扰^[3]。以上这些方法都是直接通过离焦分析来获取图像的深度信息,对某些图像的深度图提取获得了比较好的效果,但是其中存在着一个共同的问题,即计算精度很大程度地依赖于图像中的高频信号,如果聚焦的前景区域中相对平滑,缺少强度突变的纹理信息,则该区域的深度计算容易出现错误的结果。

为了解决这一问题,Yi-Che Chen 和 Yi-Chin Wu 在不同聚焦条件下拍摄同一场景的不同区域,利用基于高斯滤波的离焦分析法去处理每一帧图像,获取各个区域的相对深度^[4]。其深度图的精度与拍摄图像的帧数有关,帧数越多,深度图精度越高。由于该方法通过拍摄多帧图像来提取深度图,所以对已有影视作品的 2D 转 3D 并不适合。

为了对已有的影视作品中的离焦图像也能实现 2D 转 3D,同时又不受图像中信号频率高低的影响,本文提出一种基于分割的离焦图像深度图提取方法。首先通过分离图像中聚焦的前景和离焦的背景,接着构建深度图模型,最后对前景采用深度单一赋值的方法,结合背景深度图提取出最终深度图。

2 深度图提取流程

图 1 为离焦图像深度图提取流程,该流程主要分为前景提取和深度图提取两个部分。在深度图提取部分又分为 3 步,分别对应图 1 中的①、②和③,前两步是关于背景深度图提取。第一步是深度图模型构建与初始深度图的生成,由此得到一幅与图像离焦背景相匹配的深度图,文中称作初始深度图;第二步是基于颜色分割的深度图再处理,由此对第一步得到的初始深度图做再处理,得到背景深度图;第三步是对前景采用单深度赋值的方法,结合背景深度图提取出最终深度图。

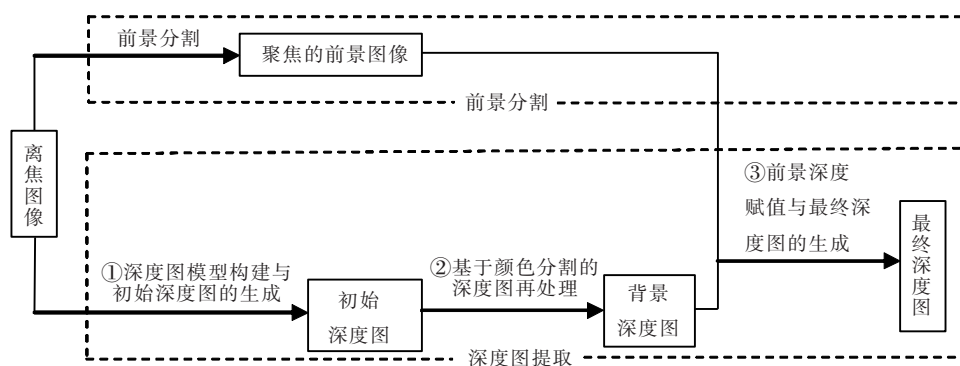


图 1 离焦图像深度图提取流程

Fig. 1 Extraction process of depth map of defocused image

3 前景分割

离焦图像前景提取就是要实现将聚焦前景和离焦背景的分离,采用文献[5]提出的离焦图像分

割方法来实现离焦图像的分割。该方法由三步组成。第一步,采用再模糊模型处理生成一个输入图像的显著图,该图中记录了聚焦较好的像素。第二步,使用双边滤波和形态学滤波对第一步得

到的图像进行平滑并增强图像的显著区域,然后,采用自适应阈值法将图像分成 3 个区域,分别为前景区域、背景区域和不确定区域。第三步,通过自适应错误控制处理算法处理第二步得到的图像,准确地提取出聚焦前景的边界,并由此得到了较准确的离焦图像前景分割图

图 2 为采用该方法进行离焦图像前景分割的结果。图 2(a)为电影《X-MEN》中截取的一幅离焦图像;图 2(b)为图 2(a)对应的前景分割结果,图中白色区域表示前景,黑色表示背景。



图 2 离焦图像前景分割

Fig. 2 Foreground segmentation of defocused image

4 深度图提取

离焦图像中,为了突显主角,通常聚焦的前景较大,在这样的拍摄镜头下,离焦的背景区域往往具有以下特征:(1)离焦区域内边界模糊,深度跳跃不明显;(2)若场景中存在明显颜色差异的区域,且这些区域处在不同的深度,则深度跳跃较明显。基于以上两点,文中提出了一种半自动的深度图提取方法。

4.1 深度图模型构建与初始深度图的生成

通过对大量的影视离焦图像观察统计,发现离焦的影视图像中,背景深度变化往往属于图 3 所示四类模型之一,其中图 3(a)、(b)、(c)和(d)分别给出了 4 组深度图模型,每个模型中像素的不同灰度值对应着不同的深度值,灰度值越大,深度越小,反之灰度值越小,深度越大。

图像的离焦区域内的边界往往很模糊,不利于通过边界自动判断图像与哪一个深度图模型匹配。为了能更加准确地找到匹配的深度图模型,

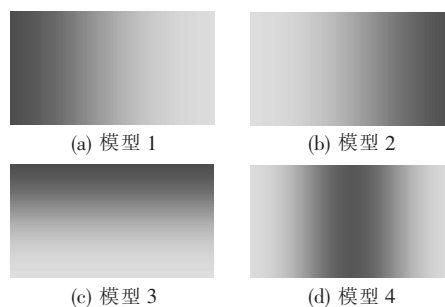


图 3 深度图模型

Fig. 3 Depth map model

我们提出了基于人眼深度判断的半自动深度图模型匹配法来构建图像离焦背景区域的初始深度图。该方法主要分为 3 步:

(1)在离焦图像上编辑条件直线,为步骤 3 中构建初始深度图提供一个判断条件。在编辑条件直线时只要体现出条件直线的斜率即可,斜率的大小与图像离焦背景区域的深度范围大小一致。深度范围大小可以直接由人眼观察获取。

针对图 3 提出的 4 种深度图模型,图 4 给出了每种深度图模型对应的条件直线示意图。

图 4 中(a)、(b)、(c)和(d)依次和图 3 中(a)、(b)、(c)和(d) 4 种深度图模型对应。图 4 中灰色区域表示原始离焦图像,黑色直线表示条件直线。其中图 4(a)中的直线表示斜率 $p > 0$ 的条件直线,图 4(b)中的直线表示斜率 $p < 0$ 的条件直线,图 4(d)中左边直线表示斜率 $p_1 < 0$ 的条件直线,右边直线表示斜率 $p_2 > 0$ 的条件直线,图 4(c)中左边直线表示斜率 $p_1 > 0$ 的条件直线,右边直线表示斜率 $p_2 < 0$ 的条件直线。

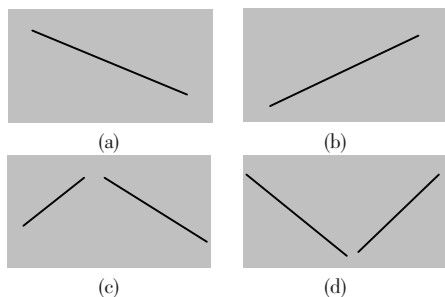


图 4 条件直线示意图

Fig. 4 Diagram of condition linear

(2)提取条件直线的斜率。利用 sobel 边界提取法提取出编辑后的图像边界,然后通过 hough 变换将边界图像从图像空间变换到参数空

间,提取出所编辑的条件直线:

$$q = px_0 + y_0 \quad (1)$$

其中 (x_0, y_0) 为图像空间中位于条件直线上的点, (p, q) 为参数空间中对应的点, p 为条件直线的斜率。

(3)构建与图像离焦背景区域相匹配的初始深度图。若 $p > 0$,则该图像的初始深度图与深度图模型 1 匹配,调用式(2)构建该深度图;若 $p < 0$,则该图像的初始深度图与深度图模型 2 匹配,调用式(3)构建该深度图;若 $p_1 < 0$ 且 $p_2 > 0$,则

该图像的初始深度图与深度图模型 3 匹配,调用式(4)构建该深度图;若 $p_1 > 0$ 且 $p_2 < 0$,则该图像的初始深度图与深度图模型 4 匹配,调用式(5)构建该深度图。

$$B(x, :) = \frac{(1 - e^{-|p|^k}) \cdot 255 \cdot x}{W} \quad (2)$$

$$B(x, :) = \frac{(1 - e^{-|p|^k}) \cdot 255 \cdot (W - x)}{W} \quad (3)$$

$$B(:, y) = \frac{\left(1 - e^{-\frac{(|p_1| + |p_2|)^k}{2}}\right) \cdot 255 \cdot y}{H} \quad (4)$$

$$B(x, :) = \begin{cases} k \cdot 255 \cdot \left[\frac{p_1 \cdot (p_2 - p_1)}{HWp_2} x^2 - \frac{2p_1}{H} x + 1 \right], & |p_1| > |p_2| \\ k \cdot 255 \cdot \left[\frac{p_1 \cdot (p_2 - p_1)}{HWp_2} (W - x)^2 - \frac{2p_1}{H} (W - x) + 1 \right], & |p_1| < |p_2| \end{cases} \quad (5)$$

其中 $B(x, :)$ 中的“:”表示像素纵坐标 y 从 1 取到 H , H 为离焦图像的高度;同理, $B(:, y)$ 中的“:”表示像素横坐标 x 从 1 取到 W , W 为离焦图像的宽度。参数 k 可以控制深度变化范围。

图 5 为图 2(a)的初始深度图的提取流程。图 5(a)为按深度走势在图 2(a)上编辑条件直线后的图像;图 5(b)为图 5(a)经 sobel 边界提取后的图像;图 5(c)为 5(b)经 hough 变换后提取的条

件直线图像;对图 5(c)提取出的条件直线的斜率,在步骤 3 的条件判断下可得图 2(a)的背景深度图与深度图模型 3 匹配,由此可以得到图 2(a)背景对应的初始深度图为图 5(d)。

4.2 基于颜色分割的深度图再处理

若离焦背景中存在第 4 节开头处提到的特征(2)的话,如果只用深度图模型匹配法来构建深度图,则本来明显的深度跳跃却因该方法而没有实现深度跳跃。这样势必会影响 3D 显示的效果。为了弥补这一缺陷,我们引入了颜色分割法对 4.1 节得到的初始深度图做再处理。

首先通过 Mean Shift 颜色分割法^[6],将图像根据颜色分成不同的区域,因为某些场景具有相对稳定的颜色特征,像天空、山、树木和陆地等,根据其各自特有的颜色属性可以按颜色将其分成不同的深度区域^[7-8]。结合文中第 4 节开头处提到的特征(2),文中将室外的场景大致分成 4 层:天空,远处的山,远处的树,近处的树,其他,依次用 S, M, F, N, O 表示,调用公式(6)可计算出再处理后的深度图上每一点处得像素灰度值:

$$B_0(x, y) = \begin{cases} 0, & (x, y) \in S \\ \sigma_M \cdot B(x_M, y_M), & (x, y) \in M \\ \sigma_F \cdot B(x_F, y_F), & (x, y) \in F \\ \sigma_N \cdot B(x_N, y_N), & (x, y) \in N \\ \sigma_O \cdot B(x, y), & (x, y) \in O \end{cases} \quad (6)$$

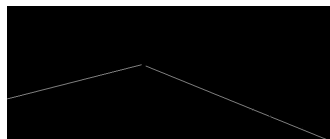
其中, $B_0(x, y)$ 为再处理后的深度图在点 (x, y) 处对应的灰度值, (x_M, y_M) 、 (x_F, y_F) 和 (x_N, y_N) 分



(a) 图 2(a)编辑条件直线后的图像



(b) 图 5(a)的边界图像



(c) 条件直线图像



(d) 图 2(a)的初始深度图

图 5 离焦图像初始深度图的提取流程

Fig. 5 Extraction process of initial depth map of defocused image

别为式(7)、(8)、(9)所示:

$$(x_M, y_M) = \{(x, y) | \min\{y | (x, y) \in M\}\} \quad (7)$$

$$(x_F, y_F) = \{(x, y) | \min\{y | (x, y) \in F\}\} \quad (8)$$

$$(x_N, y_N) = \{(x, y) | \min\{y | (x, y) \in N\}\} \quad (9)$$

其中, $\min\{G\}$ 表示取集合 $\{G\}$ 中元素的最小值, 参数 σ_M 、 σ_F 、 σ_N 和 σ_0 可以调节各区域灰度值的大小, 进而实现相邻区域间深度跳跃自然。

4.3 前景深度赋值与最终深度图的生成

由于图像前景聚焦很好, 相对清晰, 因此根据单眼深度暗示, 在清晰的图像部位其阴影或光照不均等可以提供单眼深度信息^[9-10]。同时前景物体的深度变化相对于整个图像场景的深度变化来说很小。所以我们利用式(10)对聚焦的前景图像采用单深度赋值的方法获得前景深度图。

$$F(x, y) = \max(\{B_0(i, j) | i = 1, 2, \dots, W; j = 1, 2, \dots, H\}) \quad (10)$$

其中 $F(x, y)$ 为前景深度图上点 (x, y) 处像素的灰度值, $B_0(i, j)$ 为 4.2 节再处理后的深度图上点 (i, j) 处像素的灰度值。

借助前景分割后的二值图像, 可以实现前景深度图和背景深度图的融合得到最终深度图。调用公式(11)来求得最终深度图:

$$Q(x, y) = \begin{cases} \delta \cdot F(x, y), & E(x, y) = 0 \\ B_0(x, y), & E(x, y) = 255 \end{cases} \quad (11)$$

其中, $E(x, y)$ 为第 3 节前景分割后所得的二值图像上点 (x, y) 处像素的灰度值, $Q(x, y)$ 为最终深度图上点 (x, y) 处像素的灰度值, 参数 δ 可以调节前景与背景的相对深度关系。

参考文献:

- [1] Wong K T, Ernst F. Master thesis "Single Image Depth-from-Defocus" [D]. Eindhoven, The Netherlands: Delft University of Technology & Philips Natlab Research, 2004.
- [2] Valencia S A, Rodriguez-Dagnino R M. Synthesizing stereo 3D view from focus cues in monoscopic 2D images [J]. *Proc. SPIE*, 2003, 5006: 377-388.
- [3] Guo G, Zhang N, Huo L, et al. 2D to 3D Conversion based on edge defocus and segmentation [C]// *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Las Vegas, America: IEEE, 2008: 2181-2184.
- [4] Chen Y C, Wu Y C, Liu C H, et al. Depth map generation based on depth from focus [C]// *IEEE International Conference on Systems and Applications*, Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, 2010: 59-63.
- [5] Li H L, Ngan K N. Unsupervised video segmentation with low depth of field [J]. *IEEE Transactions on Circuits*

图 6 为经文中方法提取出的图 2(a) 的最终深度图。从图中可以看出该深度图在场景中主要的深度跳跃区域的深度跳跃得到了很好的体现, 在同一深度区域和深度变化缓慢区域其深度变化连续性也得到了很好的体现。



图 6 最终深度图

Fig. 6 Final depth map

5 结 论

通过前景分割, 将聚焦的前景和离焦的背景分离。对背景采用深度图模型匹配的方法, 构建背景初始深度图, 利用了人眼对场景深度的敏锐感知, 使得离焦背景和对应的深度图模型的匹配精度得到了保证。深度图模型匹配法计算简单, 便于实现。此外通过基于颜色分割的深度图再处理使得深度图得到了进一步的优化。给前景赋单一的深度值, 这样一方面可以将前景与背景明显分层, 从宏观上可以获得很好的前后景之间的深度差异感, 其深度边界清晰, 层次分明; 另一方面单一的前景深度值和单眼深度暗示相结合, 可以使前景内部深度连续光滑, 可以避免因算法局部错误而导致的深度跳跃现象。文中提到的深度图模型适合处理影视作品中的大多数离焦图像, 但还不够全面, 在接下来的研究中, 可以对深度图模型的精度进一步提高, 覆盖面进一步扩大, 以适合更多类型的场景。

- and Systems for Video Technology, 2007, 17(12): 1742-1751.
- [6] Comaniciu D, Meer P. Mean shift-a robust approach toward feature space analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(5): 603-619.
- [7] Battiato S, Curti S, La Cascia M, et al. Depth-map generation by image classification [C]//*SPIE IS&T/SPIE's 16th Annual Symposium on Electronic Imaging*, San Jose, America; SPIE, 2004.
- [8] Nedovic V, Smeulders A W M, Redert A, et al. Depth Estimation via Stage Classification [C]//*3DTV-Conference*, Istanbul, Turkey; IEEE, 2008: 77-80.
- [9] Zhang R, Tsai P, Cryer J E, et al. Shape from shading: A survey [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1999, 21(8): 690-706.
- [10] Kang G W, Gan C Q, Ren W W. Shape from shading based on finite-element [C]//*Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Guangzhou, China; IEEE, 2005, 8: 5165-5169.

国际单位制(SI)

在科技期刊和科技论文中,要求物理量和单位使用国际单位制(SI)和法定计量单位。国际单位制的构成是:

$$\text{国际单位制(SI)} \left\{ \begin{array}{l} \text{SI 单位} \left\{ \begin{array}{l} \text{SI 基本单位} \\ \text{SI 导出单位} \left\{ \begin{array}{l} \text{包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位} \\ \text{组合形式 SI 导出单位} \end{array} \right. \\ \text{SI 单位的倍数单位} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

公差表示法

1. 参量与其公差的单位相同时,单位可以只写 1 次。例如:“12.5 mm±0.2 mm”可写为“(12.5±0.2)mm”,但不得写作“12.5±0.2 mm”。公差用百分数表示时,例如:“λ=550 nm±2 %”这种表示是错误的,应为“λ=550×(1±0.02)nm”。

2. 参量的上、下公差相等但单位不同时,公差分别写在参量的右上、右下角,且单位只写一次,例如:10 $^{+0.1}_{-0.2}$ g;当参量与公差的单位不同时要分别写出,例:30 cm $^{+5}_{-3}$ mm。

3. 参量上、下公差的有效数字应全部写出。例如:18 $^{+0.200}_{-0.255}$ mg。

4. 参量的上或下公差为“0”时,“0”前面的符号应省略。例如:273 $^{+1}_0$ K。

5. 表示 2 个绝对值相等、公差相同的量值范围时,范围号不能省略。例如:(-7.0±0.5)~(7.0±0.5)℃。

6. 表示带百分数公差的中心值时,百分号只需写 1 次,且“%”前的中心值与公差应用括号括起来。例如:(65±0.5)%。