

文章编号: 1001-9014(2008)06-0447-05

基于分水岭变换和区域融合的建筑物彩色图像分割

魏志强, 杨森

(中国海洋大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要: 提出了一种彩色建筑物图像分割方法, 该算法采用区域面积控制预处理技术和分水岭算法生成初始分割, 结合区域对称性等多种属性作为区域相似性的度量, 由区域融合得到最终分割结果. 同时又提出了一种基于融合代价函数值直方图分布的终止阈值自动设定法. 实验证明, 本文提出的算法可生成有意义的建筑物各区域, 并能有效地降低噪声对分割的影响, 对三维重建等研究领域的建筑物图像分割有着十分重要的意义.

关键词: 图像分割; 分水岭算法; 区域融合; 直方图

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

SEGMENTATION OF COLOR BUILDING IMAGES BASED ON WATERSHED AND REGION MERGING

WEI Zhi-Qiang, YANG Miao

(Department of Computer Science, Ocean University, Qingdao 266061, China)

Abstract: A kind of color building images segmentation method was proposed here. This approach applied area control pre-treatment and the watershed algorithm to produce the original regions. The axial symmetry combined with other properties was estimated as region similarity features. The final segmentation was derived by using merging process. And the termination criterion was determined from the distribution (histogram) of the merging costs as an adaptive threshold. The results show that the approach proposed here can produce effective region of building and reduce the noise influence to segmentation. So it's very significant for building image segmentation in 3D reconstruction.

Key words: image segmentation; watershed algorithm; region merging; histogram

引言

彩色图像分割是进行图像识别和理解的基础, 也是计算机视觉研究中的核心问题和经典难题之一. 在三维重建中, 各种单目和多目的重建方法都需要准确提取相应特征点、线, 因此能否将建筑物图像分割成为有意义的区域, 获得准确区域轮廓而不受噪声的影响, 直接决定了由建筑物图像完成三维重建的质量.

分水岭变换是一种被广泛使用的图像分割方法. 与灰度图像情况相似, 彩色分水岭变换同样存在着两个问题: 一是过分割问题, 二是因噪声引起的极值区域造成的错误分割. 在解决彩色图像分水岭过分割问题的各种方法中^[1-4] 有一类结合区域分裂和融合的彩色图像分割法^[5], 它们通过应用相似性度

量(融合代价函数)衡量两个邻接区域的差别, 指导分割结果.

本文提出了一种基于分水岭变换和区域融合技术的彩色建筑物图像分割方法. 首先, 通过对张量梯度图像^[6]中极小值区域面积的控制, 消除通常是由噪声引起的无意义区域, 提高分水岭分割的准确率. 然后由分水岭算法得到初始分割区域, 建立区域邻接图的最小生成树, 用色调、区域对称性、纹理属性的加权和作为区域融合代价函数, 最后应用融合代价函数值直方图分布自动确定融合终止阈值, 由区域融合得到最后的分割结果. 通过实验证明本文提出的方法可有效用于建筑物图像分割.

1 彩色图像梯度及面积控制

1.1 张量梯度

收稿日期: 2007-12-17, 修回日期: 2008-05-21

Received date: 2007-12-17, revised date: 2008-05-21

基金项目: 山东省中青年科学家基金(2005BS01001)和山东省自然科学基金(Z2007G06)资助项目

作者简介: 魏志强(1968-), 男, 山东德州人, 教授, 主要研究方向为计算机视觉, 图像处理等.

通讯作者: 杨森 Lemonmiao@gmail.com

分水岭算法用于彩色图像处理时,关键在于彩色图像梯度的计算,本文算法选择了基于张量的彩色梯度计算方法. 设彩色图像的各分量为 $I_n (n=1, \dots, N)$, 则图像中的变化趋势可用如下二阶微分矩阵计算^[6]

$$H = \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^N \left[\frac{\partial I_n}{\partial x} \right]^2 & \sum_{n=1}^N \left[\frac{\partial I_n}{\partial x} \frac{\partial I_n}{\partial y} \right] \\ \sum_{n=1}^N \left[\frac{\partial I_n}{\partial x} \frac{\partial I_n}{\partial y} \right]^2 & \sum_{n=1}^N \left[\frac{\partial I_n}{\partial y} \right]^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

与两个特征值 $\lambda + / -$ 对应的特征向量 $u \perp v$ 就是图像在该处变化最大和最小的两个正交方向, 同时定义向量的梯度范数为 $\sqrt{\lambda_+}$. 多通道的复合作用, 不仅增强了图像中的变化趋势, 使边缘更突出, 而且噪声很难在每个分量上都形成边缘, 因此可有效地消除随机的彩色噪声和与图像结构无关的噪声.

1.2 面积控制预处理

在分水岭分割过程中, 噪声会影响梯度算法对图像边缘的正确反映, 且引起的极值区域通常由于其特征与其它区域有明显的不同使得原本应属于同一个区域的各个部分不能及时合并进而影响随后的分割与合并. 这些区域的像素个数一般比较少, 因此, 我们对梯度图像中比较小的极小值区域的面积用阈值 M 来约束, 将小于阈值的极小值区域逐渐与其值最接近的邻近像素合并直到面积大于阈值, M 一般不超过 8, 本文中取 4.

2 分水岭变换

2.1 分层分水岭变换

我们可将层次化分水岭变换视为标记法分水岭^[7]的一个特殊情况: 尺度为 k 的分水岭变换忽略势能小于某一阈值 k 的区域最小值, 只对一部分标记过的区域最小值进行模拟淹没.

2.2 区域邻接图

我们用加权区域邻接图 (WRAG, Weighted Region Adjacency Graph) 来描述梯度图像的分水岭分割, 无向图 G 由集合 V 和 E 组成, V 代表各个积水盆地, E 是两相邻区域顶点偶对的边界集合. 边上的权值为模拟淹没过程中分隔两积水盆地分水岭点的最低高度. 最小生成树 (MST, Minimum Spanning Tree) 包含图 G 所有顶点, 并由图 G 中边的子集构成. 图 2 为图 1 所示梯度图像的 MST.

3 区域融合

2	2	4	3	3	1	3	7	5	5
3	6	4	3	5	5	11	7	5	9
5	7	5	6	6	9	13	9	11	11
10	10	10	8	8	19	19	19	15	15
12	5	5	8	6	23	9	9	15	11
4	4	6	2	0	2	2	3	3	1
8	4	6	10	4	4	2	3	5	2
10	10	8	12	8	5	5	4	6	4
14	14	18	18	18	7	7	9	9	9
10	14	8	8	22	5	7	5	4	11

图 1 原始梯度图, 加重标记为极小值区域
Fig. 1 Original gradient image, the *markers are the regional minima

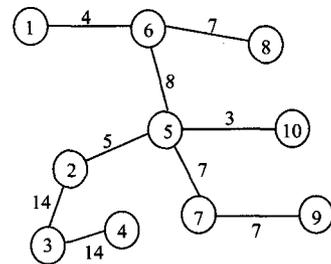


图 2 图 1 所示梯度图的 MST
Fig. 2 MST of the image shown in Fig. 1

得到区域节点的最小生成树后, 我们根据区域间的相似程度, 更新最小生成树相应边上的权值 (融合代价函数值), 按照权值的大小建立区域融合队列. 融合队列中的节点被逐渐合并、更新直到满足终止准则.

3.1 融合代价函数设计

在各种区域融合代价函数的设计中, 大部分是根据区域的某一个特征来设计^[8,9], 而实践过程证明, 各种独立的评价函数往往有其适用的范围, 有一定的局限性. 对于建筑物图像, 每个部分通常都具有典型轴对称性, 本文构造的区域相似性函数中综合考虑了色调、亮度纹理及区域的对称性三方面因素, 由三个函数的加权组合来判断区域间的相似程度. 实验表明这种方法可以更好地分离原图像中的物体和背景. 这里综合相似性评价函数 (融合代价函数) 为

$$RD(p, q) = \sum_{i=1}^3 w_i \times RD_i(p, q) \quad (2)$$

其中 p, q 为两个邻接区域, RD_i 表示第 i 个函数, w_i 为相应函数的权值. 本文采用的三个函数依次为平均色调差异 (RD_1)、纹理差异 (RD_2)、对称程度 (RD_3).

3.1.1 平均色调差异

其评价函数为

$$RD_1(p, q) = \frac{\|R_p\| \cdot \|R_q\|}{\|R_p\| + \|R_q\|} [\mu(p) - \mu(q)]^2, \quad (3)$$

其中, $\|R_p\|$ 表示区域的势, $\mu(p)$ 为区域色调的均值.

3.1.2 纹理差异

对于色调一致的区域,其亮度空间分布特征的不同,即纹理特征也反映了视觉的差别,前人用的直方图法^[10],只能反映组成而不能反映空间分布情况.因此,本文用如下 2 个参数反映区域纹理特征^[11]

$$T_x = \frac{\sum_{i,j} T[f(i,j) - f(i,j+1)]}{N_p}, \quad (4)$$

$$T_y = \frac{\sum_{i,j} T[f(i,j) - f(i+1,j)]}{N_p}, \quad (5)$$

其中, $f(i,j)$ 表示区域中像素的亮度值, T_x 反映了水平方向的变化频率, T_y 代表垂直方向的变化频率. 函数

$$T(f_i - f_{i+1}) = \begin{cases} = 1, & \text{if } f_i \neq f_{i+1} \\ = 0, & \text{if } f_i = f_{i+1} \end{cases} \quad (6)$$

区域间的纹理差异定义为

$$RD_2 = |T_x^p - T_x^q| + |T_y^p - T_y^q| \quad (7)$$

3.1.3 区域合并后对称程度估计

在正投影拍摄情况下,图像中一个区域的轴对称程度可用其关于轴对称的每一列的行数是否一致来衡量.因此本文提出如下函数衡量合并后区域轴对称程度:

$$RD_3(p, q) = \sum_{i=1}^{\lfloor \frac{NC-1}{2} \rfloor} (N_R(i) - N_R(NC - i + 1)) \quad (8)$$

其中, NC 表示 p, q 区域合并后的列数, $N_R(i)$ 为合并后区域第 i 列的行数. $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示取整.

3.2 融合过程控制

区域合并的准则是根据邻接区域的融合代价函数值,合并最小生成树中权值最小的两个节点,用一个新节点取代,然后更新融合队列,按式(2)重新计算权值,进行下一次合并,如此迭代,直到满足规定的终止条件.

一般区域合并的终止条件是设定迭代次数或设定一个阈值,当达到规定的最终区域数或最小权值边的融合代价函数值超过阈值时终止合并.迭代次数和阈值的选取都没有一个恰当的准则,往往要根据不同的图像进行人工调整,需要反复进行试验来确定^[12].本文利用融合前代价函数值的直方图分布情况,将具有最多数目的对应融合代价函数值区间

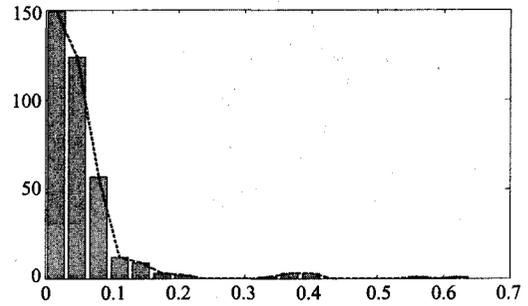


图3 Lena 彩色图像融合代价函数值直方图分布(权值为 0.5,0.4,0.1)

Fig.3 Histogram of the merging costs for Lena color image, the weights are set 0.5, 0.4, and 0.1

作为监控对象,当融合过程达到了其数目为融合前该区间数目的 5% 时自动停止区域合并,从而解决了人工设定融合终止条件的问题.图 3 所示为 Lena 图采用如上相似度评价的融合代价函数值的分布.

4 实验分析

本节以彩色建筑物图像为例与文献[8]对比,验证本文算法的有效性.图 4、5 为彩色建筑物图像分割实验,图 4(b)为分水岭变换产生的过分割区域,图 4(c)为使用文献[8]中基于平均灰度的融合算法的分割结果图,其终止标准为区域数目 ≤ 40 .图 4(d)为采用本文第三部分所述方法得到的自动分割结果.可见,与文献[8]的结果相比,生成区域规则,分割效果更好.更重要的是,文献[8,12]中需要人工确定终止融合的最终区域数目,如果设定的终止融合区域数目不当,则会影响分割的效果.在图 5 中,若采用文献[8]的方法,将区域融合终止条件设为区域数目 ≤ 60 (结果如图 5(b)所示)或设定为 10 (结果如图 5(c)所示)都不能正确反应各个区域,图 5(d)为本文方法分割结果在原图上显示,相比较而言,本文方法可自动生成准确有效的分割区域.实验中采用的融合代价函数权值为 0.6、0.2 和 0.2.图 6 为算法抗噪性能比较,图 6(b)为均值为 0,方差为 1% 高斯噪声污染图像,图 6(c)为未采用面积控制预处理且仅使用色调差异作为代价函数的分水岭分割合并结果,图 6(d)为本文算法结果,其中各函数权值为 0.4、0.1 和 0.5.可见,本文采用的面积控制预处理方法,可在一定程度上控制由噪声影响而造成的错误分割,产生比图 6(c)更为有意义的区域.

在基于分水岭分割和区域融合类的算法中,由于存在过分割问题使区域融合过程的执行时间较

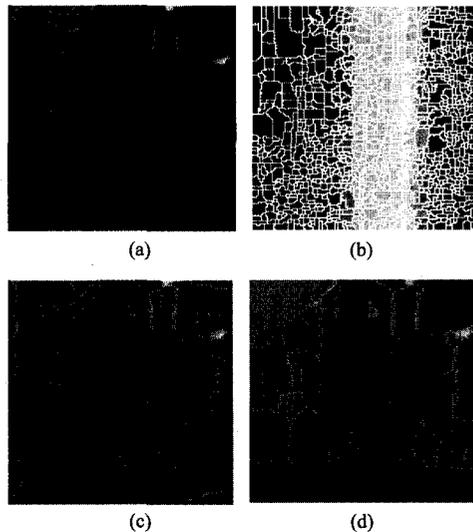


图4 建筑物图像分割融合效果对比 (a)原图 (b)分水岭过分割图像 (c)采用文献[8]算法的分割结果 (d)本文方法分割结果

Fig. 4 Segmentation results of different methods (a) original image (b) over segmentation of watershed (c) segmentation result of literature[8] (d) segmentation result of our method

长,而本文设计的算法中采用了面积控制预处理,减少了初始融合区域的数目,为综合融合代价函数的计算争取了时间,因此,整个算法与采用单个代价函数算法的计算时间基本相同;与采用人工设置终止阈值的方法相比,如果设置的终止区域数过小,会增加计算负担,运算时间反而比本算法长.另外,实际中应根据建筑物与背景之间的相关性和图像的实际情况调节相似性各函数的权值.一般情况下建筑物与背景以及建筑物各部分之间的主要差异为色调,因此权值的分配以第一个函数为主,而纹理和对称性程度差异是对色调一致区域的进一步区分,故权值较小.当遇到图像中存在噪声等特殊情况时,色调不能正确反应区域间的差异,就应以不受噪声影响的其他特征为主来衡量区域间的相似性,比如说区域的对称性,权值的分配也应做适当的调整.

5 结语

本文针对彩色建筑物图像分割问题,提出了一种新的基于分水岭变换和区域融合的分割方法.该方法结合了区域面积控制预处理,且利用建筑物的轴对称特点,设计了综合考虑区域色调、纹理和对称程度的加权组合融合代价函数,并根据代价函数值的直方图分布,自动确定区域合并的停止阈值.该方法与使用单一融合代价函数及人工设定融合终止区域数目的方法相比,不但可以有效地将建筑物分割

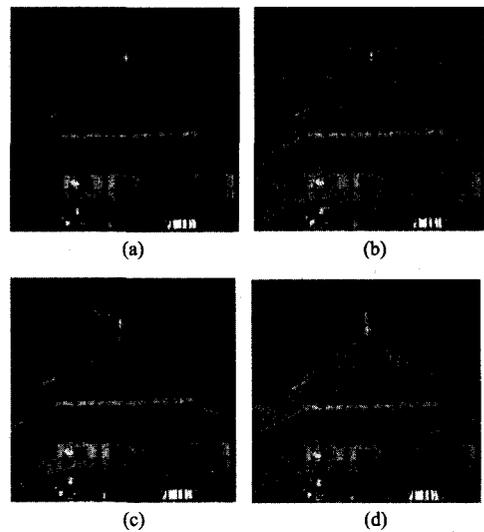


图5 融合终止条件的设定对分水岭区域融合分割效果的影响 (a)原图 (b)最终区域数目为60 (c)最终区域数目为10 (d)本文自动分割结果

Fig. 5 Segmentation results using different region merging terminate condition (a) original image (b) terminate region number is 60 (c) terminate region number is 10 (d) our automatic segmentation result

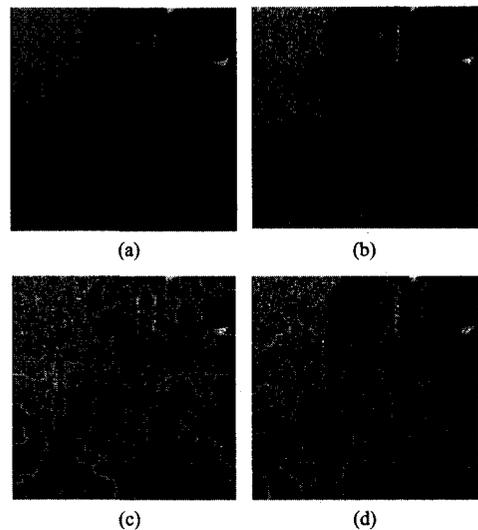


图6 噪声彩色建筑物图像的分割 (a)原图 (b)噪声图像 (c)非面积控制单一函数分割结果 (d)本文结果

Fig. 6 Segmentation results of noised color building image (a) original image (b) the polluted image (c) the segmentation result without area pretreatment and single dissimilarity measure (d) the segmentation result adopted our proposed approach

成各个区域,可以在分水岭分割过程中减小噪声的影响,且由于能够自动确定区域合并停止阈值而具有较强的灵活性,适合应用于建筑物三维重建等领域的早期图像分割处理.

REFERENCES

- [1] Meyer F. Color Image Segmentation[C]. Proceedings of 4th

- IEEE Conference on Image Processing and Applications, 1992, 354(53):303—306.
- [2] Crespo J, Schafer R. The flat-zone Approach and Color Images [C]. In Proc. ISMM'94, 1994, 85—92.
- [3] Beucher S. Watershed Hierarchical Segmentation and Waterfall Algorithm [C]. In Proc. ISMM94, 1994, 69—76.
- [4] ZHANG Tian-Xu, ZHAO Guang-Zhou, WANG Fei, et al. Fast recursive algorithm for infrared ship image segmentation [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (张天序, 赵广州, 王飞, 等. 一种快速递归红外舰船图像分割新算法. *红外与毫米波学报*), 2006, 25(4):295—300.
- [5] SUN Wei, XIA Liang-Zheng. Infrared target segmentation algorithm based on morphological method [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (孙伟, 夏良正. 一种基于形态学的红外目标分割方法. *红外与毫米波学报*), 2004, 23(3):233—236.
- [6] Joost van de Weijer, Theo Gevers. Tensor Based Feature Detection for Color Images [C]. Twelfth Color Imaging Conference: Color Science and Engineering Systems, Technologies, Applications, 2004, 100—105.
- [7] Vincent L, Soille P. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991, 13(6):583—598.
- [8] Haris K, Efstratiadis Serafim N, Maglaveras Nicos, et al. Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1998, 7(12):1684—1699.
- [9] Wang D. Unsupervised video segmentation based on watersheds and temporal tracking [J]. *IEEE Transactions on Circuits System and Video Technology*, 1998, 8(9):539—546.
- [10] Cheng H D, Jiang X H, Wang J, et al. Color image segmentation based on homogram thresholding and region merging [J]. *Pattern Recognition*, 2002, 35(2):373—393.
- [11] LI Qing-Zhong, SHI Wei, CHU Dong-Sheng, et al. A color image segmentation method by fusion of clustering and region growing [J]. *Computer Engineering and Applications* (李庆忠, 石巍, 褚东升. 一种融合聚类与区域生长的彩色图像分割方法. *计算机工程与应用*), 2006, 14:76—78.
- [12] CUI Ming, SUN Shou-Qian, PAN Yun-He. An image region merging algorithm based on modified fast watershed transform [J]. *Journal of computer-aided design & computer graphics* (崔明, 孙守迁, 潘云鹤. 基于改进快速分水岭变换的图像区域融合. *计算机辅助设计与图形学学报*), 2005, 17(3):546—552.