

图像分割复杂性测度研究

魏庆¹ 卢照敢^{1,2} 邵超¹

(河南财经政法大学计算机与信息工程学院 郑州 450002)¹

(西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049)²

摘要 基于内容的图像处理与分析技术,其基本前提是确定图像中包含的内容,即具有语义的内容对象。图像分割技术是实现图像内容对象检测的基本方法。对图像分割中的必要性问题进行了相关研究,针对大部分图像分割算法因所分割的图像不具有语义信息而导致图像分割出现无意义情况的现状,提出了一种图像分割复杂性的定义。基于该定义,给出了其实现方法。通过系统的实验结果表明,所提出的新的图像分割复杂性指标可以很好地适应图像目标区域大小,是衡量图像分割必要性的一种合理有效的方法,且能够成为一种重要的图像分割判断指标。

关键词 图像,复杂性,测度,分割

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A

Study on Image Segmentation Complexity Measure

WEI Qing¹ LU Zhao-gan^{1,2} SHAO Chao¹

(School of Computer and Information Engineering, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450002, China)¹

(School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)²

Abstract The basic foundation of processing and analysis technology of image is confirming the content of image, namely with semantic content object. The existing image segmentation algorithms make segmentation areas only according to the color, and texture. Therefore it does not have any semantic information. Aiming at this issue, the necessity of image segmentation problem was analyzed, and the definition of a new image segmentation necessity evaluation index was proposed, and also, the judgment procedure and realization method were provided based on this index. The experimental results show that compared with the existing image segmentation method, the proposed image segmentation necessity index has very good adaptability to the target area size, and it can be an important measure and effective method to the necessity of the image segmentation.

Keywords Image, Division, Complexity, Measure

1 引言

经过几十年的发展历程,针对图像分割算法的相关研究,逐渐出现了上千种^[1-3]不同类型的算法。就通常情况而言,图像分割方法可分为3类^[1]:(1)基于区域的分割算法;(2)全局知识阈值化分割算法;(3)基于边缘的分割算法。

然而,目前大部分图像分割算法都只能针对某一种特定情况起作用,而不能对多种图像进行通用性分割。同时,对于分割算法选择的标准也仍然是一个待解决的问题^[4]。因此,对图像分割的评价指标的研究正在成为重要的环节^[5]。另一方面,算法的性能测度也成为重要的研究子课题^[6],因为算法在不同分割状态下的性能测度是图像分割环节中的一个关键因素。我们需要一种选择器,它能够以算法选择的方式适应不同情况下的图像分割;同样,选择不同的算法在分割结果的性能进行比较则是比较器所要做的工作,其目的是帮助选取适合的算法用以处理对应的待分割图像。分割评价指标

的研究,一方面可以改进已有的算法,提高分割图像的质量、指导算法研究的目标;另一方面,也能根据需要,从目前众多的图像分割算法中选择最优方法。这种图像分割评价指标不仅可以达到图像分割算法优化的目的,也可以提高现有算法的分割性能,对未来新技术的研究具有一定的指导价值。

关于图像分割必要性的文献资料到目前为止仍然较少,一些文献^[3,4],即使涉及了这个方面的问题,也没有深入地进行研究。在文献^[3,4]中,作者分别采用CCI和WMMCI作为图像分割测度依据,使用一种预先给定的阈值来表达图像分割的必要性条件。然而,这些阈值的确定方法是这两篇参考文献尚未提供的,因此,图像分割的必要性研究仍有许多问题需要解决。

2 图像分割的复杂性

近年来,人们提出了几种较为精确的图像分割算法,即Normalized Cuts (NC)方法^[6]、Mean shift clustering 算法^[7]、

收稿日期:2012-08-26 返修日期:2012-11-20 本文受国家自然科学基金项目(61202285),河南省科技厅科学技术重点项目(12A510001)资助。

魏庆(1977—),男,硕士,讲师,主要研究方向为算法优化,E-mail:weiqing_huel@gmail.com;卢照敢(1977—),男,博士,讲师,主要研究方向为数字图像处理;邵超(1978—),博士,副教授,主要研究方向为机器学习。

level sets 分割算法^[8]、watershed 算法^[9]、基于图论的分割方法^[10]、拓扑导数^[11]、区域增长^[12]等新的图像分割方法。对于那些包含大量琐碎物体对象的图像来说,这些较为精确的图像分割算法需要较大的计算量并且获得的分割区域可能没有实际的语义信息。复杂图像虽然仅占实际图像中的小部分,但却是实际图像分割的瓶颈问题。这样,如何度量图像分割的必要性是近年来的一个研究问题,其中 Kedai Zhang 和 Y. Luo 分别在文献[3,4]中进行了研究和探讨。另外一种描述图像分割复杂性的方法就是由 Y. Luo 等人提出的聚类连通性指数(Cluster Connectivity Index, CCI)^[4]。计算图像的聚类连通性指数,需要对图像进行分割,再通过对图像中每个像素的连通性取平均值得到该指数。然而,与 WMMCI 的方法一样,聚类连通性指数仅仅是一种描述图像整体分割复杂性的方法,可兼用作判断图像分割必要性的方法。在观测图像中对象的方法中,图像所要分割区域的大小是影响图像区域分割的重要因素。如果图像分割后得到的区域对象毫无意义或者图像本身无法进行分割,那么在实际图像分析中,就无需对这些图像进行分割。

为了说明这样的图像,我们在图 1 中给出 4 幅不需分割的图像,从其分割结果中(见图 2)可看出任何对这些图像的分割均无任何的实际意义,其中图 2 中的图像分割结果是用基于图论的分割方法对图 1 中的每个图像进行分割得到的。从图 2 中可以看出图像中更多的细节被当作对象分离出来了,但是这些图像细节信息本身并不具有任何的语义信息,无助于基于图像内容的分类和检索。根据这些图像的内容,它们无需进行分割,应该对整个图像进行分类和检索。但是,如何辨识出这样的图像是一项具有挑战性的工作。



图 1 不必分割的图像

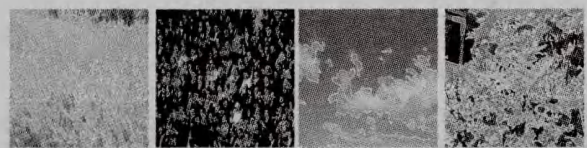


图 2 采用基于图论的分割算法对图 1 中的图像分割的结果

3 图像分割复杂性测度指标及判断方法

为了能够将图像分割成有意义的区域,需要给出有意义区域的定义。然后,以此为准则构造相应的图像分割算法。虽然给出有意义区域的概念很困难,但本文在这里尝试给出一种能反映语义对象区域基本特征的有意义区域的概念。如上所述,文献[3,4]所给的图像复杂性描述方法忽略了图像中区域的大小,而图像中可分割区域的大小对于确定图像分割的必要性具有重要的意义。这两种方法实质是用来衡量图像中边缘信息的多少,无法确定含有少数几个平坦区域的图像分割的必要性。因此,这里我们提出了一种新的图像分割必要性指标,即分割复杂性测度,它综合考虑了图像的分割复杂性和潜在图像区域的大小。图像分割的复杂性实质上与图像

中可分割的区域个数相关,而图像分割的必要性是与图像中可分割的区域大小相关,它们分别反映了图像分割问题的两个方面。接下来,综合考虑图像可分割区域的个数和大小,给出分割复杂性测度(SCM)的定义及其具体的实现方案。

3.1 分割复杂性指数的定义

假设图像初次分割的区域表示为 $\{R(i) | i \in \{1, 2, \dots, K\}\}$, 其中 K 为图像可分割的区域个数; $\{N(i), i \in \{1, 2, \dots, K\}\}$ 是这些图像可分割区域相应的大小。将图像可分割的区域由大到小进行排序,用 $\{R(n, i) | n=1, 2, \dots, K, i \in \{1, 2, \dots, K\}\}$ 表示排序后的图像可分割区域,其中区域 $R(n, i)$ 比区域 $R(n+1, i)$ 大。预先给定区域大小 $N(0)$, 计算小于 $N(0)$ 的图像可分割区域所对应的信息熵,将信息熵与该区域占图像百分比的乘积作为图像可分割性的度量,即

$$P_s = \frac{1}{N} 2S_{N(0)}(K_0) H_{N(0)}(K_0) \quad (1)$$

式中, $S_{N(0)}(K_0)$ 和 $H_{N(0)}(K_0)$ 分别表示小于 $N(0)$ 的图像可分割区域信息熵和其所占图像的百分比,其具体的计算方法由下式给出。

$$H_{N(0)}(K_0) = - \sum_{n=1}^{K_0} \left[\left(\frac{N(2n, i)}{N} \right) \log_2 \left(\frac{N(2n, i)}{N} \right) \right] \quad (2)$$

$$S_{N(0)}(K_0) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{K_0} 2N(n, i) + 1$$

式中,参数 N 表示图像的大小,用来对 $S_{N(0)}(K_0)$ 和 $H_{N(0)}(K_0)$ 的乘积进行归一化; $S_{N(0)}(K_0)$ 和 $H_{N(0)}(K_0)$ 实质上分别反映了图像可分割小区域的重要性和其数量。

由于图像可分割小区域占图像的百分比总是小于 1, 这导致 $H_{N(0)}(K_0)$ 的大小与图像可分割小区域的个数密切相关,即 $H_{N(0)}(K_0)$ 的值越大,图像可分割小区域的个数越多,则图像可分割性越差,也就是图像分割必要性越小。然而,如果图像可分割小区域的信息熵很小且仅占图像大小的一小部分,那么图像分割必要性指标(P_s)的值就会很小,则图像可进一步进行分割;否则,该图像可不用分割。因此,本文所给出的指标可有效地反映图像可分割区域的大小和图像分割的复杂性。

3.2 分割复杂性指数的实现方法

与 WMMCI 和 CCI 一样,其需要预先给定图像分割复杂性测度的阈值,以便判定图像是否值得分割。根据图像分割必要性的定义,其阈值的大小与预先给定的区域大小 $N(0)$ 有关,只有大于该区域的图像分割区域在图像内容分析时才被考虑。为了确定图像分割必要性的阈值,假设 $N(0)$ 是图像最大的可分割区域,而其他的可分割区域比它略小,则最大的可分割区域与其他的可分割区域基本上可看作相等,此时图像分割性指数的值可用作其分割必要性的阈值 $P_s(N(0))$ 。当图像的分割复杂性测度小于该阈值时,该图像可不用分割。所以,图像分割必要性的阈值可由下式计算得到:

$$P_s(N(0)) = - \frac{[2N - N(0)]^3}{N^3} \log_2 \left(\frac{N - N(0)}{N \cdot N(0)} \right) \quad (3)$$

当 $N(0)$ 远小于图像的大小时,如式(4)所示的分割必要性阈值可由下式近似计算得到:

$$P_s(N(0)) = - \log_2 \left(\frac{2}{N(0)} \right) \quad (4)$$

在彩色图像中, HIS 颜色空间可反映人类对颜色的视觉,

比较适合于彩色图像的分析。在 HIS 颜色空间中,亮度组分比较适于图像的纹理分析,其他的两个组分比较适合于所提图像的颜色特征。这里,图像的饱和度组分用作图像颜色信息的重要性指数。颜色的饱和度值越高,颜色信息越可靠,而人类眼睛对颜色的感知主要来源于颜色的色调组分。

对于任何给定的彩色图像,根据其色调组分的直方图,采用基于直方图的多阈值分割方法^[16]对图像进行初始分割,进而计算其分割复杂性测度。这种基于多阈值的图像分割方法在很多的场合下均是一种十分简单有效的图像分割方法,因为实际中的不同物体对象表现为不同的颜色。因此,计算分割复杂性测度的过程可按如图 3 所示的流程来计算,其中区域标识方法用文献^[11]中给出的方法来实现,而多阈值分割方法^[12]的多个阈值通过对色调直方图用高斯函数进行光滑后检测其最大值点得到。



图 3 图像分割复杂性的判别流程

4 实验结果

为了验证图像分割必要性判别的精确性,我们构造了一个由 121 幅图像组成的图像数据库,其包括多种类别的图像。根据图像的语义内容及图像复杂性,图像数据库中每幅图像均有一个标记位用于标识该图像是否需要分割,然后用这里给出的图像分割必要性判断方法进行验证。在实验中,实现了 3 种图像分割必要性判断方法,将它们的判断结果与图像数据库中图像分割必要性标记位进行对比,用其正确率作为这些算法分割必要性的精确度,结果如表 1 所列。

表 1 图像分割必要性的精确性对比

图像分割必要性判断方法	精确性
Wtmm 密度	0.8027
可分割区域大小的方差	0.7383
亮度方差	0.7686
连通性指数	0.8308
分割复杂性指数	0.9851
	0.9626
	0.9583
	0.9111
	0.9021
	0.9055

这里,我们也将图像的亮度方差、图像可分割区域大小的方差等指标用作图像分割复杂性的指标,在给定相应的阈值情况下判别图像数据库中图像的分割必要性,进而加强对上述 3 种图像分割必要性判别方法的对比。表 1 显示了本实验所实现的 5 种图像分割必要性判别方法及其精确性对比结

果。基于小波极大值点密度、亮度方差、连通性指数等图像分割必要性判别方法的阈值,都是由低阈值和高阈值组成,通过对 20 幅典型不可分割图像的小波极大值点密度、亮度方差和连通性指数平均得到;而对于基于区域大小方差的方法,其阈值也是采用相同的方法得到;分割必要指数的阈值则是按式(1)直接计算得到。如表 1 所列,与其他的方法相比,本文所给出的图像分割必要性判断方法,对于不同的目标区域大小均可达到较好的精度,最高可达到 98%,而目标区域的大小对结果影响也较小。

接下来,给出了图像数据库中所有图像的分割复杂性测度变化曲线,如图 4 所示,我们检查了几个典型图像类型的图像数据及其分割复杂性测度。在给定目标图像区域大小为 300 个像素的情况下,这些图像下面的数字是这些图像在数据库中的位置索引。如图 4 所示,这些图像的分割复杂性指数很显然与相应图像中有意义区域的内容一致。正是因为这个原因,本文所提出的图像分割复杂性指数可较精确地反映图像的情况。

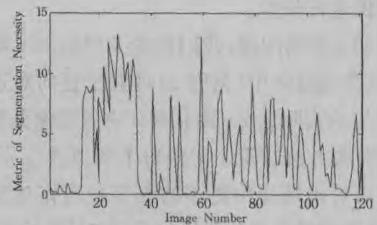


图 4 图像数据库中所有图像的分割必要性指数变化情况

当小波极大值点密度^[9]、连通性指数^[6]、亮度方差^[8]、可分割区域大小方差^[8]等图像分割必要性判别方法用来验证如图 5 中所示图像 31 的分割必要性时,它们分别对应的值为 0.27936、0.84944、0.21332 和 2243.5。根据这些方法所对应的阈值,图像 31 是不需要进行分割的。然而,在目标区域大小为 50、100 个像素时,该图像的分割复杂性测度分别为 5.86 和 6.3439,则在目标区域大小为 50 个像素时,该图像不需分割;当目标区域大小为 100 时,可进一步分割。这个实验结果验证了本文所提出的图像分割复杂性测度对目标区域大小具有很好的适应性。



图 5 具有不同分割复杂性测度值的典型图像

结束语 本文讨论了图像分割必要性的相关因素,并总结出图像分割的复杂性实质上与图像中可分割的区域个数相关,而图像分割的必要性则与图像中可分割的区域大小相关,它们分别反映了图像分割问题的两个方面。因此,本文综合

考虑了图像的分割复杂性和潜在图像区域的大小,提出了一种新的能反映语义对象区域基本特征的有意义区域的概念,即分割必要性指标 SCM,并给出了该指标的判断方法和使用流程。该 SCM 可以避免目前图像分割算法中所出现的分割无语义问题,可有效地反映图像可分割区域的大小和图像分割复杂性,并能较精确地反映出图像的分割必要性。通过实验验证表明,该图像分割必要性指标 SCM 对目标区域大小具有很好的适应性。

参考文献

- [1] Cios K J, Pedrycz W, Swiniarski R M. Data Mining Methods for Knowledge Discovery [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 1998, 9(6): 1533-1534
- [2] Feiyad U M. Data mining and knowledge discovery: making sense out of data [J]. IEEE Expert, 1996, 11(5): 20-25
- [3] Zhang K D, Lu H Q, Duan M Y, et al. Automatic Salient Regions of Interest Extraction Based on Edge and Region Integration [C]// Proceedings of 2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Montreal, Quebec, Canada: IEEE Industrial Electronics Society, 2006, 1: 620-623
- [4] Luo Y, Zhang Y J, Gao Y Y, et al. Extracting Meaningful Region for Content-based Retrieval of Image and Video [C]// Proceedings of SPIE Visual Communications and Image Processing, San Jose, California, USA: SPIE, 2001, 4310: 455-464
- [5] Mallat S, Hwang W L. Singularity detection and processing with

wavelets [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1992, 38(2): 617-643

- [6] Fwu J K, Djuric P M. EM algorithm for image segmentation initialized by a tree structure scheme [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(2): 349-352
- [7] Chen C W, Luo J, Parker K J. Image segmentation via adaptive K-mean clustering and knowledge-based morphological operations with biomedical applications [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(12): 1673-1683
- [8] Yang X D, Gupta V. An improved threshold selection method for image segmentation [C]// Proceedings of 1993 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Waterloo, Canada: IEEE Computer Society, 1993, 1: 531-534
- [9] Shi Jian-bo, Malik J. Normalized cuts and image segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 888-905
- [10] 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
- [11] Li Chun-ming, Xu Chen-yang, Gui Chang-feng, et al. Level set evolution without re-initialization: a new variational formulation [C]// Proceedings of 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2005, 1: 430-436
- [12] Dougherty E R. Mathematical Morphology in Image Processing [M]. New York: M. Dekker, 1993

(上接第 281 页)

自动提取方法。该方法采用扩展特征树的表征结构表征三维 CAD 模型,准确有效地刻画了设计模型中不同粒度、不同形式的特征及它们之间的关系,有效地体现了模型中包含的设计语义;分析局部区域可重用特性,提出可重用区域判断原则,并以此为基础,以扩展特征树的表征结构为输入,依据局部区域的可重用性自动提取三维 CAD 模型中包含的候选可重用区域,确保了其可重用性;综合分析模型局部区域的复杂度、重用率等特性,进一步提出了局部区域的可重用度评价函数,通过子树匹配、可重用度计算的方式综合评价候选可重用区域,确定最终可重用区域,确保了可重用区域的合理性;此外,依据本文算法提取的可重用区域具备唯一性及稳定性,保证了以其为基础的局部检索重用的有效性。

为进一步加强可重用区域自动提取的质量,下一步的工作将考虑在可重用区域的最终确定过程中引入用户反馈及机器学习机制,以有效利用用户局部检索及重用的相关信息来捕捉用户高层需求,提供更加符合用户产品设计重用需求的局部可重用区域。

参考文献

- [1] Gunn T G. The mechanization of design and manufacturing [J]. Scientific American, 1982, 247(3): 114-130
- [2] Funkhouser T, Kazhdan M, Shilane P, et al. Modeling by example [C]// ACM SIGGRAPH 2004. ACM: Los Angeles, California, 2004
- [3] Bespalov D, Regli W C, Shokoufandeh A. Local feature extrac-

tion and matching partial objects [J]. Computer-Aided Design, 2006, 38(9): 1020-1037

- [4] Biasotti S, Marini S, Spagnuolo M, et al. Sub-part correspondence by structural descriptors of 3D shapes [J]. Computer-Aided Design, 2006, 38(9): 1002-1019
- [5] Bai J, Liu Y S, Gao S M. Multi-mode solid model retrieval based on partial matching [C]// The 10th IEEE International Conference on Computer-Aided Design and Computer Graphics, Beijing, China, 2007
- [6] Gal R, Cohen-Or D. Salient geometric features for partial shape matching and similarity [J]. ACM Trans. Graph., 2006, 25(1): 130-150
- [7] Li M, Fuh J Y H, Zhang Y F, et al. General and Partial Shape Matching Approaches on Feature-Based CAD Models to Support Efficient Part Retrieval [J]. ASME Conference Proceedings, 2008(43277): 121-130
- [8] Ma L J, Huang Z D, Wang Y W. Automatic discovery of common design structures in CAD models [J]. Computers & Graphics, 2010, 34(5): 545-555
- [9] Jackson C, Buxton M. The design reuse benchmark report: seizing the opportunity to shorten product development [R]. Benchmark Report. 2007
- [10] 白静,周广平. 面向设计重用的工程零件设计特征模型构建 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(004): 622-632
- [11] Pekka K. Tree Matching Problems with Applications to Structured Text Database [D]. University of Helsinki, AAT C305 045, 1992