

一种基于内容的图像检索方法^{*})

席磊¹ 冀亚丽¹ 康海东² 刘羿¹

(河南农业大学信息与管理科学学院 郑州 450002)¹ (河南省地矿建设工程(集团)有限公司 郑州 450053)²

摘要 提出了一种基于区域对象特征建立图像内容索引的检索方法,为研究和实现对象级的基于内容图像检索(CBIR:Content-Based Image Retrieval)提供了途径。由于区域对象的特征利用不变矩进行描述,检索方法具有二维的平移、尺度、旋转不变性。由于匹配时采用了非几何相似度量准则,检索结果更符合视觉感知。

关键词 基于内容的图像检索,区域对象,相似度

Method of Content-based Image Retrieval

XI Lei¹ JI Ya-li¹ KANG Hai-dong² LIU Yi¹

(College of Information and Management, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)¹

(Henan Geological and Mineral Resources Construction Engineering(Group) Limited Company, Zhengzhou 450053, China)²

Abstract In this paper, we propose a retrieval method which makes the index of image content based on the area object. It gives a way to realize the object-level CBIR. Because the feature of the area object is described with invariant moments, the method has the invariance of translation, scale and rotation. As using a non-geometrical similarity in matching, the result is accord with vision apperceive.

Keywords Content-based image retrieval, The area object, Similarity

1 引言

计算机和信息技术的飞速发展,促使基于内容的图像检索(CBIR, Content-Based Image Retrieval)得以产生和应用,如 IBM 公司的 QBIC(Query by Image Content)^[1], MIT 媒体实验室的 Photobook^[2]等。虽然小波变换^[3]、BP 神经网络^[4]等新技术不断在 CBIR 系统中采用,然而现有 CBIR 系统仍使用视觉特征表达图像内容,造成了诸如图像中某一对象由于位置、大小、方向的改变被视为其他对象而导致的检索失败等问题,所以建立在视觉特征基础上的对象和语义特征的研究是 CBIR 的发展方向,同时也成为当前的研究热点。

提出了一种基于区域对象特征的图像检索方法,这是从特征级 CBIR 到对象级 CBIR 的过渡,为进一步研究和实现对象级 CBIR 提供了途径。第 2 部分介绍了区域对象的建立与表示。第 3 部分介绍基于区域对象特征的相似性度量。最后是结束语。

2 区域对象的建立与表示

通常的数字图像格式都是基于 RGB 颜色模型的,然而认知科学及视觉心理学证明,人类不能使用 RGB 成分感知颜色。而图像检索又是基于人的视觉生理和心理特性的,检索结果往往只是通过用户的肉眼进行判断。所以在诸多颜色模型中(例如 CMYK 颜色模型、XYZ 颜色模型、HSV 颜色模型、YIQ 和 YUV 颜色模型等),选择 HSV 颜色模型作为颜色空间进行量化,是因为它具有与知觉一致的独立通道,是一种适合人眼分辨的颜色空间,又能方便地同 RGB 颜色模型进行转换。最初彩色图像量化被应用于图像重构,这是由于图形

处理硬件的色彩数量局限,虽然如今这一问题已经解决,但彩色图像量化在缓解帧缓冲器空间上仍然具有实际意义。而且,量化也可以保障检索的时间需求,并减少视觉上的失真。

以分量 H, S, V 量化级数的比值 $Q_H : Q_S : Q_V$ 代表重量化方案时,常用的三种方案是 $8 : 3 : 3, 16 : 4 : 4, 32 : 8 : 8$ 。考虑到检索的时间需求和视觉效果, $16 : 4 : 4$ 的方案比较适合当前的系统需求。图 1 是采用 $16 : 4 : 4$ 方案时重量化后的 HSV 颜色空间,图 3 是对图 2 重量化后的结果。

颜色量化在数学上属于大规模聚类问题^[5]。从图 3 可以看到,重量化产生了主要反映颜色特征的聚类区域。根据“同一种物质、粒子、细胞具有相同或相似灰度或彩色的概率最大”原理^[6],每一个聚类区域就是一个区域对象,以区域对象特征作为索引,可以缩短由逐点匹配产生的大量时间耗费,又可以充分利用对象特征表达图像内容。

对于二维灰度图像,几何矩的引入产生了所谓的矩不变量。它已广泛应用在图像处理和模式识别问题中^[8],成为对象识别的典型工具。另外矩特征使得匹配具有全局性,对于噪声和其它干扰也是鲁棒的。对于区域对象形状特征的描述可以直接使用 Hu 矩^[7],因为它建立了较为简便的全局形状描述,并且具有二维平移、旋转、尺度不变性。通常区域中的所有像素都要参加运算,但是因为识别信息更多的存在于区域边界而不是内部^[8],使用区域对象的边界点也可以得到满意的结果。

在表示区域对象的特征时,以矩阵形式来存储特征信息。将所有区域对象的相同特征按照一定的规则形成矩阵,那么每一种特征都可以形成一个特征矩阵,所有的特征矩阵就是图像内容的索引。采用的规则是:特征矩阵中每一个特征值

^{*})基金项目:河南省教育厅科技攻关计划项目(200510466005)资助。席磊 讲师,主要从事数据库技术及人工智能方面的研究;冀亚丽 硕士,主要从事图像处理与模式识别方面的研究;康海东 工程师,主要从事数字化测量方面的研究;刘羿 硕士,主要从事数据挖掘方面的研究。

的位置与同一区域中重量化值在重量化值矩阵中的位置相同,同样的重量化值排列在重量化矩阵中的同一列,所有的列按照重量化值的大小从左至右在重量化矩阵中。

在表示区域对象的特征时,以矩阵形式来存储特征信息。将所有区域对象的相同特征按照一定的规则形成矩阵,那么每一种特征都可以形成一个特征矩阵,所有的特征矩阵就是图像内容的索引。采用的规则是:特征矩阵中每一个特征值的位置与同一区域中重量化值在重量化值矩阵中的位置相同,同样的重量化值排列在重量化矩阵中的同一列,所有的列按照重量化值的大小从左至右在重量化矩阵中。

例:图3中图像(a)的重量化值矩阵为 $\begin{bmatrix} 7 & 8 & 17 & 26 \\ 7 & 0 & 0 & 26 \\ 7 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$,

表示面积特征的矩阵是 $\begin{bmatrix} 805 & 4105 & 2066 & 2348 \\ 7 & 0 & 0 & 1 \\ 268 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$,表示周

长特征的矩阵是 $\begin{bmatrix} 135 & 474 & 473 & 277 \\ 7 & 0 & 0 & 1 \\ 95 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ 。也就是说,在图像

(a)中存在一个区域,它的重量化值是8,它的面积是4105,周长是474。

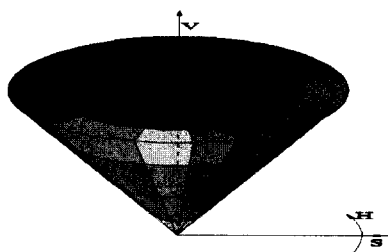


图1 重量化后的 HSV 颜色空间

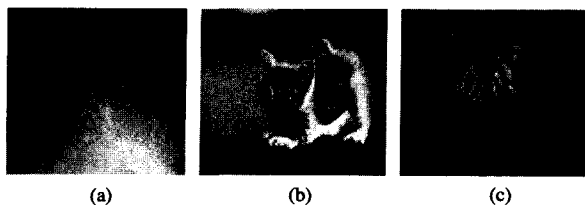


图2 重量化示例图

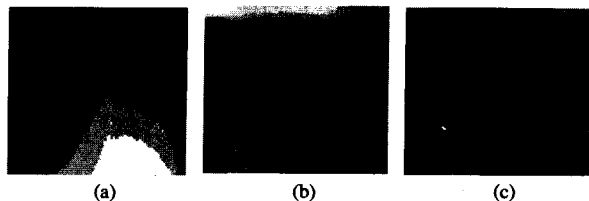
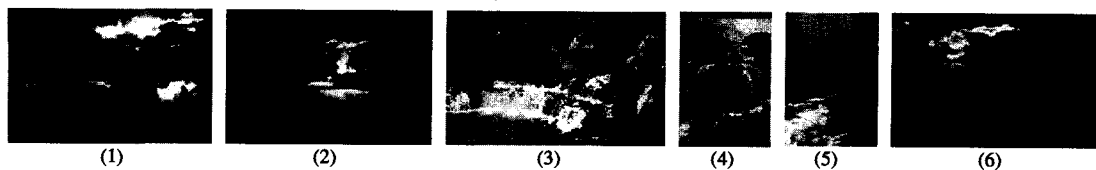


图3 对图2的重量化结果

3 相似性度量

从第2部分的分析与描述中,能够得到基于区域对象的



图像内容索引。为了完成检索,需要通过对图像内容索引的匹配来计算两幅图像之间的相似度。通常图像的比较借助距离度量函数这种几何相似度作为度量的准则,然而距离度量方法和人对相似性的感知判断之间存在一定的差距^[9],所以采用非几何相似度作为相似度度量的准则更适合。设变换后的两幅图像 A, B 的特征矩阵分别为 A_i 和 B_i (本文中的 i 值为 1-23,即使用 23 个特征矩阵表示图像内容), $\{A_3 + B_3\}$ 表示矩阵 A_3 与 B_3 (下标为 3 的矩阵是重量化值矩阵) 中对应元素相加后的非 0 元素的个数, $\{|A_i - B_i| > \alpha_i\}$ 表示矩阵 A_i 与 B_i 中对应元素相减后其绝对值大于 α_i 的元素个数(α_i 为经验值),则 A_i 与 B_i 的相似度 $SIMI_i$ 为:

$$SIMI_i = 1 - \{|A_i - B_i| > \alpha_i\} / \{A_3 + B_3\} \quad (1)$$

那么两幅图像 A, B 的相似度 $SIMI$ 为:

$$SIMI = \sum_{i=1}^N W_i * SIMI_i \quad (2)$$

其中 W_i 为对应相似度 $SIMI_i$ 的权重。

例:考虑图像 A, B, 若 $A_{13} = \begin{bmatrix} 5 & 7 & 10 \\ 4 & 0 & 6 \end{bmatrix}$, $B_{13} = \begin{bmatrix} 6 & 9 \\ 3 & 0 \\ 2 & 0 \end{bmatrix}$,

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{11}=4 & a_{12}=8 & a_{13}=11 \\ a_{21}=12 & a_{22}=0 & a_{23}=4 \end{bmatrix}, B_i = \begin{bmatrix} b_{11}=17 & b_{12}=9 \\ b_{21}=10 & b_{22}=0 \\ b_{31}=8 & b_{32}=5 \end{bmatrix} \alpha_i$$

$$= C = 3, \text{ 则在公式(1)中 } \{A_{13} + B_{13}\} = \begin{bmatrix} 11 & 16 & 10 \\ 7 & 0 & 6 \\ 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} = 6,$$

$$\{|A_i - B_i| > \alpha_i\} = \begin{bmatrix} |a_{11}-b_{11}| - C & |a_{12}-b_{12}| - C & |a_{13}-b_{13}| - C \\ |a_{21}-b_{21}| - C & |a_{22}-b_{22}| - C & |a_{23}-b_{23}| - C \\ |a_{31}-b_{31}| - C & |a_{32}-b_{32}| - C & |a_{33}-b_{33}| - C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10 & -2 & 8 \\ -1 & -3 & 1 \\ 5 & 2 & -3 \end{bmatrix} = 5. \text{ 所以 } SIMI_i = 1 - 5/6 = 1/6.$$

结束语 在 Matlab 6.5 环境下,使用前面介绍的检索方法,以自建的包含 1400 多幅图像的图像库中的图 4 作为检索图像,得到最相似的 16 幅图像如图 5。根据对检索结果的满意度测试,大多数用户认为检索结果比较理想,所以检索方法是行之有效的。

由理论分析和实际实验,证明了上述图像检索方法的优越性:一方面,基于区域对象建立索引避免了逐点匹配的时间耗费,加快了匹配的速度,能够保证实时系统的时间需求;另一方面,应用矩方法使得检索对二维的平移、尺度、旋转并不敏感,能够满足用对象表达图像特征的要求。



图4 检索示例图

确时,门总是处于关闭状态;2)受限活性,即在门打开后的一段时间 Δt 中,门必须关上。用 CTL 描述上述性质为:

- 1) $A[\Box] \rightarrow (\text{controller_wrong} \wedge \text{gate_open})$
- 2) $A[\Box](\text{gate_open} \Rightarrow \text{gate_close}, c \leq 8)$

为了用 UPPAAL 模型检验工具验证系统性质,需要将上述 CTPN 转换成 TA。按照上述方法,将变迁转换成 TA 模板,并将实际参数列表添加到过程说明中。为每个变迁声明一个局部时钟,各个时钟均以相同的速度计时。以安全性为例,对 T7 和 T8 进行转换,如图 5 所示。

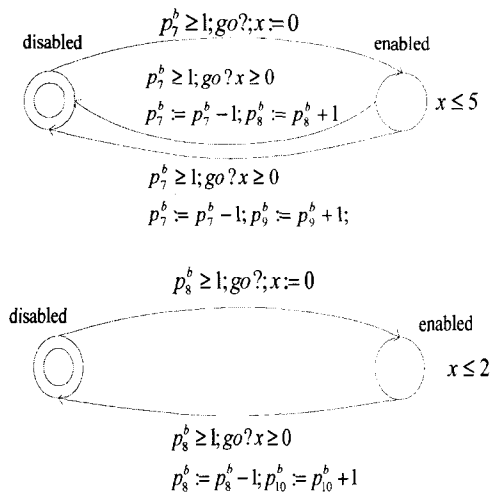


图 5 T7, T8 的 TA 模板

将 A7 和 A8 作为输入模型,用 UPPAAL 验证 $A[\Box](p_7^b = 1 \rightarrow p_{10}^b = 0)$, 结果满足安全性。

结束语 本文对实时系统软件的建模和性质验证进行了研究。实例证明,着色时间 Petri 网能够很好地描述实时系统软件的领域特征,将 CTPN 模型转换成 TA 模型后,可以利

用已有的模型验证工具(如 UPPAAL)来分析 CTPN。目前模型检验器多使用由自动机组成的平面网作为系统模型,不易于模拟和调试大规模的工业系统。层次时间自动机(Hierarchical Timed Automata)模型中的每一个状态都可以被描述为另一个时间自动机,更接近实际系统。在本文工作基础上,下一步的工作主要包括:进一步完善此方法,增强 CTPN 的描述能力;面向工业应用,考虑将 CTPN 模型转换成层次自动机模型。

参考文献

- [1] Cassez F, Roux O H. Structural translation from Time Petri Nets to Timed Automata- Model-Checking Time Petri Nets via Timed Automata [J]. The journal of Systems and Software, 2006, 79(10): 1456-1468
- [2] Gu Zonghua, Shin K G. Analysis of Event-Driven Real-Time Systems with Time Petri Nets; A Translation-Based Approach [C]. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers, 2002, 31(40): 31-40
- [3] Schmidt D D. MDE4DRE; Model-Driven Engineering for Distributed Real-time and Embedded Systems [C] // 13th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium. Washington, 2007
- [4] Boucheneb H, Hadjidi R. CTL model checking for time Petri nets [J]. Theoretical Computer Science, 2006, 353(1): 208-227
- [5] Berard B, Cassez F, Haddad S, et al. Comparison of the Expressiveness of Timed Automata and Time Petri Nets [C] // 3rd International Conference on Formal Modelling and Analysis of Timed Systems (FORMATS 05). volume 3829 of Lecture Notes in Computer Science. Uppsala, Sweden, Springer, September 2005
- [6] Boniol F, Wiels V, Ledinot E. Experiences in using model checking to verify real time properties of a landing gear control system [C]. 3rd European Congress Embedded Real Time Software, ERTS, 2006
- [7] Dotoli M, Fanti M P. A colored Petri net model for automated storage and retrieval systems serviced by rail-guided vehicles; a control perspective [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2005, 18(2/3): 122-136
- [8] 周清雷,王静. 基于 Uppaal 的时延 Petri 网到时间自动机等价模型验证 [J]. 计算机应用研究, 2005, 22(6): 64-66

(上接第 251 页)

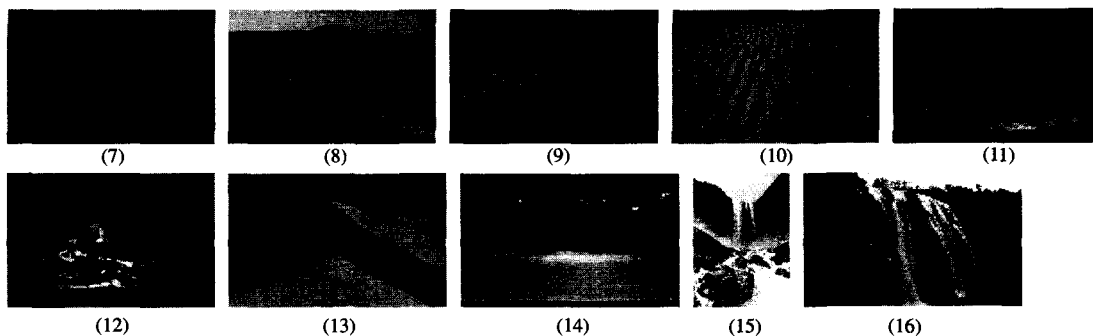


图 5 对图 4 中图像的检索结果

参考文献

- [1] Niblack W, Barber R, Equitz W, et al. The qbic project; Querying images by content using color, texture, and shape // Proceedings of the SPIE Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases. San Jose, CA, 1993: 173-187
- [2] Pentland A, Picard R W, Sclaroff S. Photobook: Content-based manipulation of image databases. International Journal of Computer Vision, 1996, 18(6): 233-254
- [3] Zhang Yue, He Xing-Jian. Texture feature-based Image classification using wavelet package transform [J]. Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, LNCS 3644, 2005: 165-173
- [4] Han Jun-Hua, Huang D S. A novel BP-based image retrieval system [J] // The IEEE International Symposium on Circuits and Systems. Kobe, Japan, 2005: 1557-1560
- [5] Equitz W H. A new vector quantization clustering algorithm [J]. IEEE Transactions Acoustic, Speech, Signal Process, 1989, 37
- [6] 容观澳. 计算机图像处理 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002
- [7] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants [J]. IRE Transactions on Information Theory, 1962, 8
- [8] Attneave F, Arnoult M D. The quantitative study of shape and pattern perception [J]. Psychological Bulletin, 1956, 53
- [9] Tversky A. Feature of similarity. Psychological Review, 1977