文章编号:1001 - 9081(2005)06 - 1296 - 03

模糊图像检索技术及应用研究

张 明,张正兰
(上海海事大学 信息工程学院,上海 200135)
(zhangm8@163.com)

摘 要:提出了一种基于模糊空间的图像数据模型,给出了模糊相似性度量方法,结合水利工程图像查询的具体应用讨论了在模糊空间中图像的检索过程。

关键词:基于内容;模糊检索;模糊数据模型
中图分类号: TP391.41 **文献标识码**:A

Fuzzy image retrieval and its application

ZHANG Ming, ZHANG Zheng-lan
(*College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai* 200135, *China*)

Abstract: In this paper, a fuzzy image database model based on fuzzy space were proposed and a method of fuzzy similarity measurement was described. Moreover, a fuzzy query system for water conservancy image was presented in detail.

Key words: content-based; fuzzy retrieval; fuzzy data model

要对图像数据库进行模糊查询,首先,图像必须按照它们的特征进行分类,在一幅图像插入数据库之前,必须进行计算机特征抽取,生成能够代表图像可视特点的特征;其次,特征信息必须与从概念上对图像分类的模糊子集正确匹配;第三,模糊查询界面和查询过程应该人性化,以便在一个图像数据库中对最相关联的图像的查询成为可能。本文首先定义了在模糊检索中涉及的基本概念,然后讨论模糊图像数据库模型,模糊查询过程和模糊空间的相似性度量和模糊查询接口等问题。

1 基本概念

模糊检索即根据检索对象的模糊特征来查找所需内容。在传统的信息检索领域,最流行的查询是精确的查询条件和与满足查询条件的结果。而在实际使用中,有许多查询条件不能精确定义,查询结果却是一组与查询条件近似匹配的对象。其中包含了模糊概念,这就是模糊查询。因此,在模糊查询中,查询条件是不确切的,查询结果是近似的。

定义 1 在基于内容的检索中,任何被检索对象 O 都可以用一系列特征 F^1、F^2、…,F^m 描述。比如,一个多媒体对象"面部图像"可以用诸如下巴、眼睛、鼻子和嘴等特征描述。

定义 2 对被检索对象,采用特征提取方法 E_i(如颜色直方图、纹理)可得此对象的特征描述 $f_i(oid)$,$f_i(oid)$ 为高维空间 F_i 中的向量,其坐标值 $(x_{i,1}, x_{i,2}, \cdots, x_{i,di})$ 分别对应于对象在该方向上的特征分量,F_i 称为对应特征 E_i 的子特征空间,d_i 为 F_i 的维数,所有子特征空间的笛卡尔积构成了对象的特征空间 F,$F = F_1 \times F_2 \times \cdots \times F_N$,$N$ 为特征的数目。

定义 3 一个特征 F^i 若既可以在特征空间进行数字化描述,也可以用模糊集 $\{A_1^i, A_2^i, \cdots, A_p^i\}$ 进行概念性描述,则所有子模糊集的笛卡尔积构成了对象的模糊空间 A,$A = A_1^i \times A_2^i \times \cdots \times A_p^i$。

在上述定义的基础上,若对象内容可用特征空间 F 中的特征来充分描述,则给定检索要求,对于特征空间中任一点 X,就存在一个数值反映特征描述为 X 的媒体对象对此检索要求的满足程度,即相似度,但我们在对图形查询有时不完全能在特征空间中进行,例如,若选择高和宽来度量眼睛的大小,则高和宽就是度量面部特征眼睛的两个特征标准。但人们往往用"小、中、大"这些概念描述眼睛的大小,即模糊子集。为了实现模糊查询就必须定义从特征空间到模糊空间的映射,称之为模糊成员函数。

定义 4 模糊成员函数 $M_f(X)$ 是一个从特征空间 X 到[0,1]区间的映射,$M_f: X \rightarrow [0,1]$。例如,$M_{small}(1.5, 0.5) = 0.9$ 表示一只宽 1.5cm、高 0.5cm 的眼睛是小的可信度为 0.9。因此,M_{small} 是一个从(宽,高)到[0,1]的映射。概念上,这个从特征空间到模糊空间映射过程称为模糊化。因此,模糊成员函数把特征模糊空间和它相应的特征空间联系起来。这里模糊对象和数据库里的对象之间的相似性就简化为它们在模糊空间中的相似性。

2 模糊数据模型

关系模型是传统数据库使用最多的数据模型。显然,传统关系模型难以适应基于内容的图像数据库的模糊查询。为适应基于内容的图像检索,同时最大限度的利用关系数据库的优点,我们对关系模型的概念进行了扩展。其数据结构是一张由基本属性和超属性组成的二维表,即超关系构成。定义如下:

定义 5 属性:在模糊数据库模型中,属性分为两类:超属性,主要用于描述图像实体的形状、颜色、纹理和空间关系,由特征矢量组成;基本属性,由图像辅助信息组成,如图像名字、创建日期、图像尺寸等。

定义 6 超关系:$R(A_1, A_2, \cdots A_n)$,这里 $A_i, i = l, \cdots n$ 可以是基本属性和超属性两种。

为便于图像特征矢量(FV)的描述。将特征矢量分为可视

收稿日期:2004 - 11 - 26;**修订日期**:2005 - 01 - 25

作者简介:张明(1957 -),男,江苏盱眙人,教授,博士,主要研究方向:图像处理、信息安全、多媒体信息处理; 张正兰(1956 -),女,教授,博士,主要研究方向:多媒体技术、分布式系统、多智能体.

特征(VF)、空间关系特征(RF)、模糊特征(LF) 且 $FV = VF \cup RF \cup LF$。

定义 7　可视特征:由图像对象的可视特征组成,典形式为 $F = (vl, v2, \cdots vn)$。如颜色特征可由颜色直方图矢量描述 $Color = (h(0), h(l), \cdots, h(n))$,纹理特征可描述为:$Texture = (randomness, directionality, periodicity)$ 等。

定义 8　空间关系特征:由子对象及其空间关系组成。子对象的空间关系可用空间关系算子描述[1]。空间关系算子 = $(dt, to, eq, in, cb, ct, co, up)$。

定义 9　模糊特征:是图像特征向量在模糊空间的象,模糊特征向量的分量 $f_i \in [0,1]$

定义 10　原子属性:由特征矢量中的分量组成。如对于超属性 $F = (vl, v2 \cdots Vn)$,其原子属性为:$V1, V2, \cdots Vn$。

设有一物理图像库,分别包含图像名、图像创建日期、图像大小等属性。现采用超关系模型存储时,一般需要使用 4 个超关系,分别存储图像的基本属性和全局特征属性、子对象属性及子对象的相互关系、特征类型等。

表 1　用于存储图像数据库的基本信息

ImgID	ImgName	CreatDate	ImgSize
10001	Flower	02.4.1	21300
10002	Horse	02.4.6	37500
…	…	…	…
ColorFeat	**TextureFeat**	**ImgShape**	**FuzzyFeat**
CF[64]	TF[3]	NULL	FF[64]
CF[64]	NULL	SF[7]	FF[64]
…	…	…	…

模糊图像数据库的关系模型扩展以后,为了实现基于内容的模糊查询,我们定义扩展关系模型上的元组关系演算:

1) 每一个原子公式是一个扩展元组演算公式。一个原子分式有以下三个形式:

$\mu_R(t)$:其中 R 是一个扩展的关系名,t 是一个元组变量。$\mu_R(t)$ 表示 t 满足关系的程度。

$t[i]\theta C$ 或 $C\theta t[i]$:其中 $t[i]$ 表示 t 的第 i 个分量。C 是一个常量。θ 可以是任意的传统数学里的:=、<、≤、>、≥、≠ 和特殊比较操作符:≅、≦、≈。如 ≈ 表示模糊图像数据库上的相似性度量。该原子操作返回 $t[i]$ 和 C 满足 θ 操作的程度。

$t[i]\theta u[j]$:这个原子公式同上,表示在两个元组变量 t 和 u 之间的比较。

2) 如果 ϕ 是一个扩充的元组演算公式,那么(ϕ) 和 ¬(ϕ) 也是扩充的元组演算公式。

3) 如果 $\phi 1$ 和 $\phi 2$ 是扩充的元组演算公式,那么($\phi 1 \wedge \phi 2$) 和 $\vee$ ($\phi 1 \vee \phi 2$) 也是扩充的元组演算公式。

4) 其他都不是扩充的元组演算公式。

利用上面扩充的元组演算,相似性查询就是从数据库中发现相似元组:

$R = R_{1above\theta} = \{t \mid \mu_{R1}(t) >= \theta\}$

θ 是一个门槛值,可由用户设定。

3　应用实例

基于本文提出的模糊图像数据模型,设计并实现了一个水利工情图像查询系统。

3.1　工情信息的采集与处理

工情信息由基本工情和险情组成。基本工情指大堤、水闸、及其他穿堤涵闸等工程建筑物主要参数及运行状况、河道断面冲淤变化;险情指某些工程建筑物发生明显裂缝、位移、渗水、管涌、崩塌、堤身滑坡等状态。

工情信息的信息源包括工情采集站点和险情信息移动采集站。各工情采集点设置有摄像装置和监测仪器,其中监测仪器包括一组测压管、渗压仪、沉降仪等,在洪水期采集时约 5 ~ 10 分钟采集传输一次。通过专用的通信系统将图像、数据等信息传给信息中心,经信息接收与处理子系统处理送入工情信息库。

对于工情信息采集中所含有的大量图像信息在入库前,须进行图像特征的提取操作[4],该操作在工情信息处理模块中进行,工情图像的格式采用 JPEG 格式。图像入库前,通过分析统计每一像素点的颜色空间与分布便可提取图像的颜色特征信息。ImgID(图像编号)、ImgName(名称)、CreatDate(创建日期)、ImgSize(大小)、ColorFeat(颜色特征)、FuzzyFeat(模糊特征)属性值均由工情信息处理模块自动完成。如 ImgName 值由采集点位置与用途确定,模糊特征值由系统根据实时获得的测压管、渗压仪、沉降仪测量数据,利用相应计算模型计算而得,如管涌的 FuzzyFeat(模糊特征)可由渗压仪数据计算后得到。工情信息的采集与处理过程如图 1 所示。

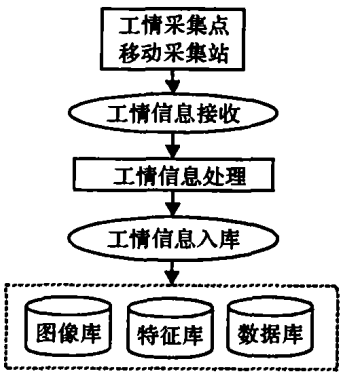


图 1　工情信息接收处理流程

3.2　模糊查询与相似性度量

模糊查询就是根据模糊特征来查找所需内容。由于检索中查询要求往往是根据人的主观性所决定,因此很大程度上带有模糊性。例如,查询轻度管涌的堤段,明显裂缝的水工建筑物等。我们采用了三种模糊查询方式:1)示例查询。用户提交与查询需求相近的一幅图像与模糊参量,然后由计算机按用户所要求的相似程度在库中搜索,用户也可在检索界面的样板库中选一幅相近的图像(以满足用户缺少例子的情况)和模糊参量,交检索模块进行检索。2)语义模板。语义模板方法首先要求用户根据所要检索的内容,选择检索的类别并指定模糊语义的值,本文的语义模板采用语义树的表达方式,模糊查询接口自动生成满足特征参数变化范围的查询请求,由模糊相似性匹配模块完成图像查询。3)查询表达式。查询表达式采用文献[1]给出的形式,增加了模糊语义分量。图 2 所示的查询体系结构说明了具有模糊特征的基于内容检索的基本方法。

图 2 中虚线框部分称为数据库生成部分,将从静态图像中抽取的特征存在数据库中,这些特征是用于查询的依据。由于检索中查询要求往往是模糊的,因此,特征可以选取模糊特征。模糊特征一般通过模糊集或模糊函数等来表示。图 2 的上半部分为查询部分,用户用模糊特征与查询接口交互,提出查询要求,模糊特征的描述实际上往往由用户的主观性所决定。系统将复杂的多维特征经过模糊分类简化为有限的几个特征

集上,数字化表示成模糊特征向量(Q_j^i, $j = 1,\cdots,Mi, i = 1,\cdots,q$)。计算机在特征匹配过程中则用模糊相似性距离作为匹配依据,然后返给用户最相似的一些图像作为初次匹配结果,用户通过调整模糊特征来决定进一步的查询(称为相关反馈),以达到最终的检索目的。调整过程可用如下公式表示:

$$f_i' = f_i + \triangle u(i) \times \delta_i$$

其中 f_i 是特征 i 的当前值;f_i' 是特征 i 调整后的值;δ_i 是特征 i 的标准误差;$\triangle u(i)$ 是由用户指定的改变映射成特征的结果(如"更窄""更宽"等模糊术语)。

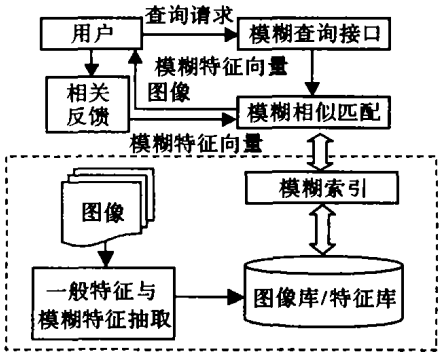


图 2 基于内容检索系统的基本体系结构

查询模块经过过滤操作得到更相似的对象组,用户再次选择直至找到要查询的对象。

模糊相似性度量是实现模糊相似匹配的核心,常用模糊相似距离来作为检查模糊查询向量和模糊图像向量之间的相似性的度量标准。令:Q_j, B_j 分别表示模糊查询向量和模糊图像向量 $j = 1,2,\cdots,q$,Q_j, B_j 是相同的模糊空间里的模糊子集(这里我们已经省略了上标)。

在多维模糊空间中对 Q 和 B 之间的距离 dis 定义为:

$$dis(Q,B) = \sqrt{\sum_{j,k} |Q_j - B_j| \, cor(A_j,A_k) \, |Q_k - B_k|}$$

其中,$cor(A_j,A_k)$ 是一个模糊子集 A_j,和 A_k 之间的映射,定义模糊空间的第 j 和第 k 个坐标之间的关系:

$$cor(A_j,A_k) = -card(A_j \cap A_k)/card(A_j \cup A_k)$$

$card(A)$ 表示模糊集的基数,$card(A) = \sum_x m_A(x)$,$m_A(x)$ 为模糊集成员函数,其定义详见文献[2]、[3]。

4 结语

本文提出了一种模糊图像数据模型和模糊空间的概念,该模型将可视特征、空间特征、语义特征看作超属性,既充分利用了传统关系数据库的优点,同时又考虑了图像数据以及模糊查询的特点,能对图像特征进行操作。基于本文模糊图像数据模型的水利工情图像查询系统已运行于北江大堤防汛指挥系统的硬件平台上,能支持基于模糊特征的图像查询,较好地体现用户图像查询的应用需求。

参考文献:

[1] 白雪生,徐光佑,史元春. 基于内容检索的一种中间表达机制. 软件学报[J]. 2002, 10(4): 400 - 405.

[2] WU JK, NARASIMHALU AD. Fuzzy content-based retrieval in image database, Information Processing & Management[J]. 1998, 34(5): 513 - 534.

[3] KLIR GJ, FOLGER TA. Fuzzy sets, Uncertainty, and Information [M]. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 20 - 35.

[4] 刘毅,张明. 局部颜色特征在基于内容的图像检索中的应用. 计算机应用[J]. 2004, 24(7): 47 - 49.

(上接第 1295 页)

PSNR 值为 42.6347db,表明采用本算法加入水印具有良好的不可见性。密钥正确时提取的水印图像(图 1(d))与加入水印图像相同。

表 1 亮度量化表

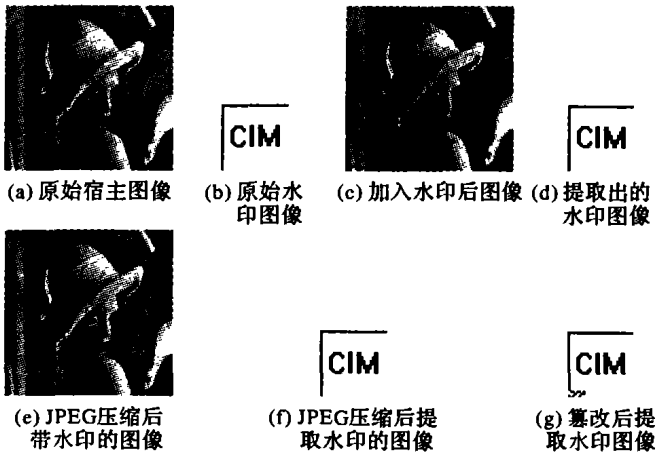
16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

加入水印后的图像经 JPEG 压缩后提取的水印(图 1(e))与原始水印图像相同。表明本算法对固定压缩质量的 JPEG 压缩具有的良好的鲁棒性。恶意篡改加入水印后的图像左下角 3 个像素点,提取出的水印(图 1(f))显示左下角的 4×8 像素块混乱,可确定原图被恶意篡改的位置。

实验表明,本算法对合法的固定压缩质量的 JPEG 压缩具有鲁棒性,可提取出的完整的水印,对非法的篡改具有脆弱性,并能定位篡改位置,是一种有效的公开半脆弱水印算法。

5 结语

本文通过分析水印图像置乱加密处理的作用,提出了一种基于有限域运算的抗 JPEG 压缩公开半脆弱水印算法。实验证明该水印算法能抵抗固定压缩系数的 JPEG 压缩攻击,并对恶意篡改保持脆弱性,是一种有效的半脆弱水印算法。



(a) 原始宿主图像 (b) 原始水印图像 (c) 加入水印后图像 (d) 提取出的水印图像

(e) JPEG压缩后带水印的图像 (f) JPEG压缩后提取水印的图像 (g) 篡改后提取水印图像

图 1 实验结果

参考文献:

[1] 伯晓晨. DCT 变换域盲图像水印的自适应检测[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(4): 502 - 510.

[2] 张静,张春田. 用于图像认证的数字水印技术[J]. 中国图像图形学报, 2003, 8(4): 367 - 373.

[3] 张军,王能超. 数字图像的自适应公开水印技术[J]. 计算机学报, 2002, 25(12): 1371 - 1377.

[4] 孙锐. 基于奇异值分解的半易损水印算法[J]. 电路与系统学报, 2002, 7(3): 62 - 65.

[5] 王道顺. 图像水印系统有效性的评价框架[J]. 计算机学报, 2003, 26(7): 779 - 788.

[6] 张涛,汤光明,孙怡峰. 基于密码技术的数字水印研究[J]. 计算机工程与应用, 2003. 26: 109 - 111.