

不变矩及其在基于形状特征图像检索中的应用

苗静, 杨勇, 谷欣超, 孙爽滋, 杨兆龙, 张子锐

(长春理工大学 计算机科学技术学院, 长春 130022)

摘要: 提出一种快速有效推导不变矩的方法—三角函数生成法, 并在此基础上描述了一种基于 Hu 形状不变矩的图像全局形状特征提取方法和算法。实验结果表明, 使用这种算法提取的形状特征向量具有对平移、旋转和尺度变化的不变性, 适合于进行图像形状的检索。

关键词: 图像检索; 图像形状; 形状特征提取; 形状不变矩

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1672 - 9870 (2009) 01 - 0126 - 03

The Moment Invariants and Its Appliance of Image Retrieval Based on Shape Features

MIAO Jing ,YANG Yong ,GU Xinchao ,SUN Shuangzi ,YANG Zhaolong ,ZHANG Zirui

(School of Computer Science and Technology ,Changchun University of Changchun 130022)

Abstract : The method of generating trigonometric function is suggested as a new efficient way to derive various moment invariants , and it describes an extraction method of global shape feature of image based on Hu moment invariant and the correlative algorithm. The experimental results illuminate that the shape features extracted by this approach is , rotation and scaling to be which is translation rotation and soale invariance.

Key words : image retrieval ; image shape ; shape feature extraction ; moment invariant

物体的形状是人的视觉系统分析和识别物体的基础。由于几何形状代表物体的本质特征, 并具有平移、缩放和旋转不变等特点, 因此在计算机视觉中, 几何形状的分析 and 识别具有十分重要的意义。随着多媒体和网络技术的迅速发展、图像数据的来源不断扩大, 基于内容的图像检索(content2based-imageretrieval, CBIR)技术正越来越成为人们研究的焦点^[1]。作为内容特征之一的形状特征研究就成为了重中之重^[2]。

物体形状特征的描述方法可以归纳为如下两类: 第一类是基于物体边界的形状描述; 第二类是基于物体所覆盖区域的形状描述。由于矩描述的不变性, 基于不变矩方法的区域形状描述在图像检索中有着极其重要的作用。

1 不变矩的性质证明

1.1 不变矩的定义

令图像区域 $f(x, y)$ 是分段连续的, 其 $(m+n)$ 阶笛卡尔系几何矩(简称矩)定义为:

$$M_{mn} = \iint_D x^m y^n f(x, y) dx dy \quad (1)$$

只要 $f(x, y)$ 在 (x, y) 平面 D 区域的有限部分中有非零值, 则上式定义的所有各阶矩都存在。

$(m+n)$ 阶中心矩定义为:

$$u_{mn} = \iint_D (x-x_0)^m (y-y_0)^n f(x, y) dx dy \quad (2)$$

它具有平移变换不变性。其中 x_0, y_0 表示图像重心。由于图像是离散的, 对于一幅大小为 $M \times N$ 的二

收稿日期: 2008-10-23

基金项目: 北方科技技术研究所资助项目

作者简介: 苗静(1983-), 女, 硕士研究生, 主要从事图像处理的研究, E-mail: jlmiaoqing@yahoo.com.cn。

通讯作者: 杨勇(1970-), 男, 博士, 教授, 主要从事计算机仿真、图形学、数据库技术的研究。

维图像 $\{f(i, j) | i=0, \dots, M; j=0, \dots, N\}$ 在实际计算不变矩时求和代替积分, 其公式如下:

$$u_{mn} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)(i-i_0)^m(j-j_0)^n$$

其中 $(i_0, j_0) = (M_{10}/M_{00}, M_{01}/M_{00})$ 。中心矩可由其等阶或低阶的矩表示出来。标准化的中心矩 $I_{mn} = u_{mn}/M_{00}^{m+n+2}$ 不但具有平移变换的不变性, 而且还具有比例变换的不变性。

Hu 提出了二维矩不变量理论^[3], 直接利用笛卡尔坐标系下的标准化的中心矩 I_{mn} 推导出 7 个矩不变量, 并证明其对平移、比例和旋转具有不变性, 从而奠定了矩不变量研究的基础。这些特征集合, 被广泛应用于文字识别、目标识别、医学图像分析等领域^[4]。Hu 不变矩公式如下:

$$\begin{aligned} C_1 &= I_{20} + I_{02} \\ C_2 &= (I_{20} - I_{02})^2 + 4I_{11}^2 \\ C_3 &= (I_{30} - 3I_{12})^2 + (3I_{21} - I_{03})^2 \\ C_4 &= (I_{30} + I_{12})^2 + (I_{21} + I_{03})^2 \\ C_5 &= (I_{30} - 3I_{12})(I_{30} + I_{12})[(I_{30} + I_{12})^2 - 3(I_{21} + I_{03})^2] + \\ &\quad (3I_{21} - I_{03})(I_{21} + I_{03})[3(I_{30} + I_{12})^2 - (I_{21} + I_{03})^2] \\ C_6 &= (I_{20} - I_{02})[(I_{30} + I_{12})^2 - (I_{21} + I_{03})^2] + \\ &\quad 4I_{11}(I_{30} + I_{12})(I_{21} + I_{03}) \\ C_7 &= (3I_{21} - I_{03})(I_{30} + I_{12})[(I_{30} + I_{12})^2 - 3(I_{21} + I_{03})^2] - \\ &\quad (I_{30} - 3I_{12})(I_{21} + I_{03})[3(I_{30} + I_{12})^2 - (I_{21} + I_{03})^2] \quad (3) \end{aligned}$$

1.2 不变矩的三角函数表述与构造:

设原图像 $f(x, y)$ 上任一像素点 (x, y) 经过旋转、比例、平移变换后的坐标为 (x_v, y_v)

$$\begin{cases} x_v = x_b + (R \cos \theta)x + (R \sin \theta)y \\ y_v = y_b + (R \sin \theta)x - (R \cos \theta)y \end{cases} \quad (4)$$

即对于所有的 x, y 都有 $f(x, y) = f_v(x_v, y_v)$ 。

把式 (4) 代入到式 (1) 中得到:

$$M_{v10} = \iint_{D_v} x_v f_v(x_v, y_v) dx_v dy_v =$$

$$\iint_D (x_b + (R \cos \theta)x - (R \sin \theta)y) f(x, y) R^2 dx dy = R^2 [x_b M_{00} + (R \cos \theta) M_{10} - (R \sin \theta) M_{01}] \quad (5)$$

同理

$$M_{v01} = R^2 [y_b M_{00} + (R \sin \theta) M_{10} + (R \cos \theta) M_{01}] \quad (6)$$

零阶中心矩变成

$$M_{v00} = R^2 M_{00} \quad (7)$$

通过式 (5) 及式 (7) 和式 (6) 及式 (7) 得到变换后的中心坐标:

$$\begin{cases} x_{v0} = \frac{M_{v10}}{M_{v00}} = x_b + (R \cos \theta)x_0 - (R \sin \theta)y_0 \\ y_{v0} = \frac{M_{v01}}{M_{v00}} = y_b + (R \sin \theta)x_0 + (R \cos \theta)y_0 \end{cases} \quad (8)$$

变换后的中心矩变为:

$$u_{vnm} = \iint_{D_v} (x_v - x_{v0})^m (y_v - y_{v0})^n f_G(x_v, y_v) dx_v dy_v \quad (9)$$

将式 (4) 和式 (8) 带入式 (9) 得:

$$\begin{aligned} u_{vnm} &= \iint_D [R \cos \theta (x - x_0) - R \sin \theta (y - y_0)]^m \\ &\quad [R \sin \theta (x - x_0) + R \cos \theta (y - y_0)]^n f(x, y) R^2 dx dy = \\ &\quad R^{m+n+2} \iint_B [\cos \theta (x - x_0) - \sin \theta (y - y_0)]^m \\ &\quad [\sin \theta (x - x_0) + \cos \theta (y - y_0)]^n f(x, y) dx dy \\ \text{令 } x &= x_0 + r \cos \phi, y = y_0 + r \sin \phi \text{ 则} \\ u_{vnm} &= R^{m+n+2} \iint_B r^{m+n+1} \cos^m(\phi + \theta) \sin^n(\phi + \theta) \\ &\quad f(x_0 + r \cos \phi, y_0 + r \sin \phi) dr d\phi \quad (10) \end{aligned}$$

可见 u_{vnm} 不依赖于 x_b, y_b 。标准化中心矩将变为:

$$\begin{aligned} I_{vnm} &= \frac{u_{vnm}}{M_{v00}^{m+n+2}} = R^{m+n+2} \iint_B r^{m+n+1} \cos^m(\phi + \theta) \sin^n(\phi + \theta) \\ &\quad f(x_0 + r \cos \phi, y_0 + r \sin \phi) dr d\phi / (R^2 M_{00})^{\frac{m+n+2}{2}} = \\ &\quad \iint_B r^{m+n+1} \cos^m(\phi + \theta) \sin^n(\phi + \theta) \\ &\quad f(x_0 + r \cos \phi, y_0 + r \sin \phi) dr d\phi / M_{00}^{\frac{m+n+2}{2}} \quad (11) \end{aligned}$$

其中 x_0, y_0 是原图像的重心, 不会受几何变换参数 x_b, y_b 和 R 影响。 ϕ, θ 都是积分变量。这就证明了标准化中心矩 I_{vnm} 具有平移、比例变换不变性。所以关于 I_{vnm} 的表达式具有这两种变换的不变性^[5]。为了构造旋转不变表达式, 就需设法在式 (11) 中抵消最后一个变换量 θ , 如 $I_{v20} + I_{v02} = [\iint_B r^3 f(x_0 + r \cos \phi, y_0 + r \sin \phi) dr d\phi] / M_{00}^2$ 这是利用了三角恒等式 $\cos^2(\phi + \theta) + \sin^2(\phi + \theta) = 1$ 消去 θ , 所以 $I_{20} + I_{02}$ 就构成了第 1 个旋转不变矩。可以看出被积函数中余弦函数的指数和正弦函数的指数分别对应于标准化中心矩的左右两个下标。根据这个规律我们发现复杂的矩表达式不变性的证明能够转化为三角函数表达式 θ 不变性的证明。

设 $\alpha_i = \phi_i + \theta$, 那么 $\alpha_i - \alpha_j = \phi_i - \phi_j$ 与 θ 无关。

发现第 2 个矩 $C_2 = (I_{20} - I_{02})^2 + 4I_{11}^2$ 的不变性等价于三角表达式

$$\begin{aligned} &(\cos^2 \alpha_1 - \sin^2 \alpha_1)(\cos^2 \alpha_2 - \sin^2 \alpha_2) + \\ &4 \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos \alpha_2 = \cos[2(\alpha_1 - \alpha_2)] \end{aligned}$$

的单角展开式的 θ 不变特性证明。

根据上述规律, Hu 的 7 个不变矩的表达式都可用三角函数的 θ 不变性推出来, 现总结如下:

$$C_1: \cos^2 \alpha_1 + \sin^2 \alpha_1$$

$$C_2: \cos(2\alpha_1 - 2\alpha_2)$$

$$C_3: \cos(3\alpha_1 - 3\alpha_2)$$

$$C_4: (\cos^2\alpha_1 + \sin^2\alpha_1)(\cos^2\alpha_2 + \sin^2\alpha_2) \cos(\alpha_1 - \alpha_2)$$

$$C_5: (\cos^2\alpha_2 + \sin^2\alpha_2)(\cos^2\alpha_3 + \sin^2\alpha_3)(\cos^2\alpha_4 + \sin^2\alpha_4)$$

$$\cos(3\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4)$$

$$C_6: (\cos^2\alpha_2 + \sin^2\alpha_2)(\cos^2\alpha_3 + \sin^2\alpha_3) \cos(2\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3)$$

$$C_7: (\cos^2\alpha_2 + \sin^2\alpha_2)(\cos^2\alpha_3 + \sin^2\alpha_3)(\cos^2\alpha_4 + \sin^2\alpha_4)$$

$$\sin(3\alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4)$$

可以看出这些三角函数多项式都是不受旋转参数 θ 变化的影响的,因此这里把它们称做旋转不变三角函数。这里介绍的三角函数推导不变矩的方法是一种普遍适用的灵活方法。利用这种方法我们还可以生成很多高阶不变矩。

2 基于形状不变矩的图像检索

2.1 不变矩的提取方法

基于矩的形状描述可以保存原有形状的信息,矩 M_{mn} 也足以重建原始函数 $f(x, y)$ 。但是,Hu 不变矩的不变性是在连续情况下,假设图像像素数目在线性变换过程中保持不变的条件下进行的。而在离散情况下,图像变换是不连续的,除平移变换外,旋转和尺度变换均会导致图像像素数目的变化,从而使计算结果产生误差。由于图像的大小会影响不变矩特征值,因此,在进行图像相似性匹配时,应首先将图像库中的图像规范为相同尺寸大小的图像。对于一幅彩色 RGB 图像,计算其 Hu 不变矩特征量的过程为:首先把一幅彩色 RGB 的图像转换为灰度图像,再对它进行二值化,然后归一化图像尺寸,统一计算其 Hu 不变矩。

得到二值图像后,就可以利用不变矩的公式提取出不变矩。考虑到矩的计算代价较大,因此,可以预先使用算法提取出其 7 个 Hu 不变矩特征,存放于图像的形状特征索引库中,然后提供给图像检索算法执行图像查询。

2.2 基于形状特征的图像检索算法

检索算法的基本思想就是用图像的 Hu 不变矩 $\varphi_1 \sim \varphi_7$ 作为图像的形状特征索引,使用适当的相似性距离定义,计算出两幅图像的相似性距离。当距离足够小时,就认为两幅图像是相似的形状检索算法步骤如下:

(1) 用户选择待查询的示例图像,提交检索请求。

(2) 计算示例图像的形状特征 S ,并从图像数

据库中获取图像的形状特征索引。

(3) 计算图像数据库中各图像(形状特征 $S'=\{S'_i | i=1, 2, \dots, 7\}$)与示例图像(形状特征 $S=\{S_i | i=1, 2, \dots, 7\}$)之间的相似性距离 dist,如式(12)所示:

$$\text{dist} = \sum_{i=1}^7 \frac{|S'_i - S_i|}{|S_i|} \cdot W_i \quad (12)$$

其中, W_i 为各个特征分量所具有的权重。由于高阶矩跟形状的关联较小,在进行基于内容的图像检索时,重点使用低阶矩,其权重较大,如一阶矩可以用来计算区域的中心,二阶矩也就是惯量矩,可以用来计算形状的主轴。

(4) 若距离小于指定阈值,即 $\text{dist} \leq \rho$ 则将对应该图像加入图检索结果集中。

(5) 将图像检索结果集图像排序输出。

(6) 算法结束。

2.3 实验结果与分析

首先在 500 幅图像的图像库中对本文中基于 Hu 不变矩的形状检索算法进行了实验。图像库中包括键盘按钮图标、箭头商标、指示图标等图案,图像尺寸大小不等,以 bmp 文件格式存取,均对其 128×128 像素大小的缩略图进行不变矩特征提取。形状检索算法的实例如图 1 所示。

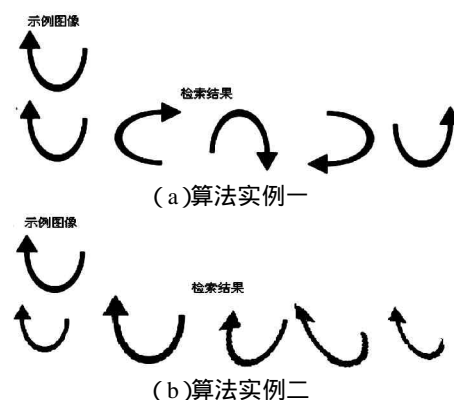


图 1 形状检索算法实例

Fig.1 Arithmetic examples of retrieve based on shape feature

从图 1(a) 中的图像检索结果可以看出,形状检索算法对于图像的旋转具有不变性。图 1(b) 检索的结果证明形状检索算法对于图像的扭曲、伸缩形变具有不变性,并对图像的基本形状特性具有鲁棒性,在具有一定形变干扰的情况下,仍能得出较好的图像检索结果。虽然检索结果排列的顺序有时与人的主观视觉判断不尽一致,但与输入相似的图像基本都检索出来了,检索精度和效果都较好。

(下转第 112 页)

谐波转化效率也就越低。因此,在我们的组合激光脉冲情形,谐波转化效率的增强是由电离产额的增强造成,但也并非电离产额越高,谐波转化效率就越高,当电离产额过高时,也就是基态耗尽效应越明显时,则会适得其反。对于我们的方案而言,可以通过调节 H33 脉冲的峰值场强使得电离产额达到合适的量,从而使谐波的增强效果最明显。

通过采用组合激光脉冲辐照联合两原子模型,在实现高次谐波平台大幅度展宽的同时,显著地抬高了平台的高度。在适当的核间距 $R=\pi\alpha_0/2$ 下,谐波平台由单原子情形下的 $I_p+3.2U_p$ 展宽到联合两原子情形下的 $I_p+5.6U_p$ 。进而,使用这种组合激光脉冲,体系的谐波发射效率又比只用钛宝石激光脉冲时提高了 6 个数量级。这一方案可以逐步地完成下列过程:通过 H33 单光子共振跃迁,首先将适量的电子布居到激发态,在那里电子易于被基频激光电离且而后被加速;当这些电离电子与相邻的原子(非母原子)复合时,超过 $I_p+3.2U_p$ 谐波的高效发射即可实现。

(上接第 128 页)

3 结束语

本文利用三角函数法构造并证明了 Hu 不变矩,针对商标、烟叶等图案的检索需求,研究基于 Hu 形状不变矩的图像全局形状特征提取,实现了形状检索算法;并进行了相应的图像检索实验。实验结果表明,使用上述算法提取出的形状特征向量具有对平移、旋转和尺度变化的不变性,适合于进行图像形状的检索。

基于形状特征的图像检索是目前 CBIR 中的难点。虽然由于形状特征本身的特殊性使其具体实现有一定难度,但形状特征本身良好的检索性能又在 CBIR 中起着重要的作用,所以进一步加强对基于形状特征的图像检索的研究势在必行。目前还有很多探索性研究,如将其他领域的思想和成果用于基于形状特征的图像检索中,如利用数学形态学、神经网络及遗传算法等进行基于形状特征的图像检

参考文献

- [1] MePherson A, Gibson G, Jara H, et al. Studies of multiphoton production of vacuum-ultraviolet radiation in the rare gases[J]. J Opt Soc Am B, 1987, 4: 595-599.
- [2] Ivanov M Y, Corkum P B. Generation of high-order harmonics from inertially confined molecular ions[J]. Phys Rev A, 1993, 48: 580-590.
- [3] Donnelly T D, Ditmire T, Neuman K, et al. High-Order Harmonic Generation in Atom Clusters. [J]. Phys Rev Lett, 1996, 76: 2472-2475.
- [4] Cheng T W, Li X F, Ao S Y, et al. Interpretation of Plateau in High-Harmonic Generation[J]. Chin Phys Lett, 2003, 20: 1511-1513.
- [5] Ishikawa K, Photoemission and Ionization of He+ under Simultaneous Irradiation of Fundamental Laser and High-Order Harmonic Pulses[J]. Phys Rev Lett, 2003, 91: 043002(1-4).
- [6] Yang Y J, Chen G, Chen J G, et al. A Time-Distinguished Analysis of the Harmonic Structure from a Model Molecular Ion. [J]. Chin Phys Lett, 2004, 21: 652-655.
- [7] Pukhov A, Gordienko S, Baeva T. Temporal structure of attosecond pulses from intense laser-atom interactions[J]. Phys Rev Lett, 2003, 91: 173002(1-4).

索,值得进一步探讨。同时与基于形状特征的图像检索紧密相关的图像边缘检测及分割的进一步发展也将会促进其发展。

参考文献

- [1] 刘作军. 基于子块直方图的图像检索算法研究[J]. 长春理工大学学报:自然科学版, 2006, 29(2): 66-68.
- [2] Scasselati B, Alexopoulos S, Flickner M. Retrieving images by 2D shape: a comparison of computation methods with Human perceptual judgments[J]. SPEF, 1994, 8(2185): 2-14.
- [3] Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants [M]. IRE Transactions on Information Theory, 1962(8): 179-182.
- [4] Belkasi M S O, Shridher M, Ahmadi M. Pattern recognition with moment invariants: A comparative study and new results [J]. Pattern Recognition, 1991, 24(12): 1117-1138.
- [5] 刘进, 张天序. 图像不变矩的推广[J]. 计算机学报, 2004, 27(5): 668-674.