

文章编号:1001-5078(2007)09-0902-03

具有仿射不变性的离散余弦描述子

杨昕梅^{1,2}, 王成刚^{1,2}, 吴钦章¹

(1. 中国科学院光电技术研究所第三研究室, 四川 成都 610209; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:边缘轮廓是图像目标的重要特征信息。使用微分面积对目标轮廓进行参数化,进而计算其离散余弦变换。所得到的一系列描述子在仿射变换(平移、旋转、尺寸、剪切)下具有不变性,尤其适用于在视点发生变化时,三维空间中运动目标识别。通过理论分析,给出了算法的推导过程,并对三维空间中不同姿态的飞机轮廓图像进行了仿真实验。实验结果表明,各描述子描述的特征值是相对稳定的。

关键词:目标识别;仿射变换;离散余弦变换;运动目标

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Affine-invariant Discrete Cosine Transformation Descriptor

YANG Xin-mei, WANG Cheng-gang, WU Qin-zhang

(1. No. 3 Laboratory, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Boundary is an important character of image. The boundary of an object was parameterized by differential area, and then the parameterized boundary was transformed by discrete cosine transformation. Based on this method, a set of descriptors were obtained, which are invariant under any affine-transformation (translation, rotation, scaling, and shearing). Especially, they are invariant as the change of viewport in recognition of 3-D motion object. Through analysis of theory, the computational process of this method was given. Many planes of different poses in 3-D space were simulated. The experiment results show that values of each kind of character are stable correspondingly.

Key words: object recognition; affine transformation; discrete cosine transformation; motion object

1 引言

在一个较完善的模式识别系统中,明显或隐含的要有特征提取于选择技术环节。这一环节极大影响着分类器的设计和性能,它是模式识别的核心问题之一。特征提取与选择的基本任务是研究如何从众多特征中求出那些对分类识别最有效的特征,从而实现特征空间维数的压缩。

人类的视觉系统多是根据目标的边缘进行识别的。因此人们提出了许多基于目标边缘的特征描述,比如,边缘不变矩及对边缘的各种变换描述子(傅里叶、余弦变换等)。对于三维空间运动的物体,对特征的描述不仅要具有 RST (Rotation-Scale-Translation) 不变性,还要对视点变换具有不变性。K. Arbter 研究了仿射不变的傅里叶描述子^[1]。但傅里叶变换需要计算的是复数而不是实数,一般进行

复数运算要比进行实数运算费时得多。在文献[2]中给出了一种基于离散余弦变换的目标识别方法,但三维目标识别不具有视点不变性。从目标识别对特征的要求和降低计算量的角度出发,本文给出了具有仿射不变性的离散余弦变换描述子,用于三维空间运动目标的识别。

2 离散余弦变换

离散余弦变换(DCT)是基于实数的正交变换,变换具有能量集中于低频系数、各系数不相关、高频系数衰减很快且能量较小的特点。一维离散余弦变换定义如下:

作者简介:杨昕梅(1978-),女,蒙古族,博士生,主要研究方向为图像处理及目标识别与跟踪。E-mail: xinmei-yang@126.com

收稿日期:2007-02-28;修改日期:2007-03-30

$$F(0) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} f(n)$$

$$F(k) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cos \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \quad (1)$$

(k=1, 2, ..., N-1)

式中, $F(k)$ 为第 k 个余弦变换系数; k 为广义频率变量; $f(n)$ 为时域中 N 点序列。这样, 若 $f(n)$ 是实数, 那么它的余弦变换系数 $F(k)$ 也是实数。而对离散傅里叶变换 (DFT), 若 $f(n)$ 是实数, 其傅里叶变换系数 $F(k)$ 一般为复数。可见, DCT 避免了复数运算。

灰度图像的目标经边缘提取后, 获得其轮廓曲线的的数据链 $f(x(n), y(n))$ 。并将其放到复平面上, 形成一维复序列, 即:

$$f(n) = x(n) + jy(n) \quad n=1, 2, \dots, N-1$$

接下来, 分别对 $x(n), y(n)$ 两个序列进行离散余弦变换:

$$X(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \quad (2)$$

$$Y(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=0}^{N-1} y(n) \cos \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \quad (3)$$

那么 $f(n)$ 的离散余弦变换为:

$$F(k) = X(k) + jY(k) \quad (4)$$

$$|F(k)| = \sqrt{X^2(k) + Y^2(k)} \quad (5)$$

$$C(k) = |F(k)| / |F(1)| \quad (k \geq 2) \quad (6)$$

其中, $|F(0)|$ 是直流分量, 表示目标的平移位置。 $C(1)$ 始终为 1。 $C(k)$ 为离散余弦变换系数。采用 3~10 个系数可以比较好地重建目标图像, 因此取 $k \geq 2$ 的 3~10 个系数作为具有 RTS 不变性描述子。

3 仿射不变的离散余弦变换描述子

虽然如式 (6) 的离散余弦描述子对目标具有平移、旋转、比例不变性, 但对于空间的一个目标, 当相机处于不同的视点位置时, 就会得到不同的投影图像。为此, 关键要找到与视点无关的特征描述子。

3.1 仿射变换

许多成像过程及其变化可以模型化为一个仿射变换。设平面上一点 P 和它的仿射变换对应点 P' 在仿射坐标系中的坐标分别为 (x, y) 和 (x', y') , 则二维仿射变换模型^[3]可表示为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + b$$

其中, $A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ 是变形矩阵; $b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$ 是平移矢量。

3.2 具有仿射不变性的离散余弦变换描述子

假设平面任意一条曲线 C , 可以用参数方程来

表示:

$$C = (x(t), y(t))$$

要使其离散余弦变换描述子具有仿射不变性, 必须使参数相对于仿射变换是线性的, 只有这样才能保证用这一参数描述的边缘轮廓特征的坐标函数对仿射变换是线性的, 进而才能得到仿射不变特征。参考文献 [1] 给出了一种参数化方法:

$$t = \frac{1}{2} \oint \det(p(\xi), p_\xi) d\xi = \frac{1}{2} \oint |x(\xi)y_\xi - y(\xi)x_\xi| d\xi \quad (7)$$

其中, c 为沿曲线的路径; $p(\xi)$ 为坐标向量; x_ξ, y_ξ 分别是轮廓坐标的一阶导数; P_ξ 是它们组成的相量。此处的坐标值是相对于轮廓中心的值。轮廓中心的定义如下:

$$P_A = \frac{2 \oint p(\xi) \det(p(\xi), p_\xi) d\xi}{3 \oint \det(p(\xi), p_\xi) d\xi} \quad (8)$$

如图 1 可以看出, 参数 t 是相邻两点和区域中心三点所围成的区域的面积。可以证明, 由式 (7)、(8) 规定的参数化在仿射变换下是线性的, 即:

$$dF = \det(A) dF^\circ \quad (9)$$

式中, dF, dF° 是仿射变换前后的微分面积。

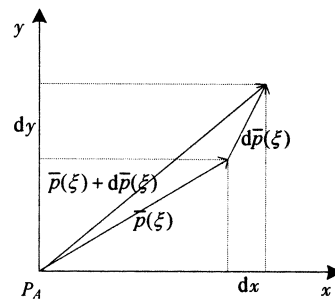


图 1 轮廓相邻两点与中心点所围面积
Fig. 1 the enclosed area

可以把轮廓曲线近似成多边形, 对上述参数化轮廓曲线的坐标作离散余弦变换。假设 $x_i, y_i (i=0, 1, \dots, N-1)$ 是有向多边形的 N 个向量坐标, t_i 是它们的参数, 并且 $(x_N, y_N) = (x_0, y_0), t_N = t_0 + T$, 其中 T 是轮廓曲线所围区域的总面积。对微分面积进行连续的余弦变换来代替原来的离散余弦变换, 即:

$$X(k) = \sqrt{\frac{2}{T}} \int_0^T x(t) \cos \frac{(2t+1)k\pi}{2T} dt$$

$$= \sqrt{\frac{2}{T}} \sum_{i=0}^{N-1} \int_{t_i}^{t_{i+1}} [x_i + (t-t_i) \frac{x_{i+1}-x_i}{t_{i+1}-t_i}] \cdot \cos \frac{(2t+1)k\pi}{2T} dt$$

$$= \sqrt{\frac{2}{T}} \left(\frac{T}{k} \right)^2 \sum_{i=0}^{N-1} \frac{x_{i+1}-x_i}{t_{i+1}-t_i}$$

$$\left(\cos \frac{(2t_{i+1} + 1)k\pi}{2T} - \cos \frac{(2t_i + 1)k\pi}{2T} \right) + \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \frac{T}{k} \sum_{i=0}^{N-1} \cdot \left(x_{i+1} \sin \frac{(2t_{i+1} + 1)k\pi}{2T} - x_i \sin \frac{(2t_i + 1)k\pi}{2T} \right)$$

余弦变换的结果可以给出为:

$$X(k) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \left(\frac{T}{k} \right)^2 \sum_{i=0}^{N-1} \frac{x_{i+1} - x_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot \left(\cos \frac{(2t_{i+1} + 1)k\pi}{2T} - \cos \frac{(2t_i + 1)k\pi}{2T} \right) \cdot [1 - \delta(t_{i+1} - t_i)] + \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \frac{T}{k} \sum_{i=0}^{N-1} \cdot \left[(x_{i+1} - x_i) \sin \frac{(2t_i + 1)k\pi}{2T} \right] \delta(t_{i+1} - t_i) \quad (10)$$

同理:

$$Y(k) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \left(\frac{T}{k} \right)^2 \sum_{i=0}^{N-1} \frac{y_{i+1} - y_i}{t_{i+1} - t_i} \cdot \left(\cos \frac{(2t_{i+1} + 1)k\pi}{2T} - \cos \frac{(2t_i + 1)k\pi}{2T} \right) \cdot [1 - \delta(t_{i+1} - t_i)] + \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \frac{T}{k} \sum_{i=0}^{N-1} \cdot \left[(y_{i+1} - y_i) \sin \frac{(2t_i + 1)k\pi}{2T} \right] \delta(t_{i+1} - t_i) \quad (11)$$

其中,

$$\delta(t_{i+1} - t_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } t_{i+1} = t_i \\ 0 & \text{if } t_{i+1} \neq t_i \end{cases}$$

面积参数为:

$$t_{i+1} = t_i + \frac{1}{2} |x'_i y'_{i+1} - x'_{i+1} y'_i| \quad i = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$t_0 = 0$$

这里,

$$\begin{pmatrix} x'_i \\ y'_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_i - x_c \\ y_i - y_c \end{pmatrix};$$

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \begin{pmatrix} x_i + x_{i+1} \\ y_i + y_{i+1} \end{pmatrix}}{3 \sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)}$$

最后,把 $X(k), Y(k)$ 代入式(4)~(6), 计算出的 $C(k)$ 作为具有仿射不变性的离散余弦变换描述子, 利用这种描述子来描述目标的特征用作识别。

4 实验

本实验中给出同型号飞机目标在三维空间运动时不同姿态的轮廓图像, 如图 2(a)~(h) 所示。用具有仿射不变的离散余弦变换描述子的方法提取不

变量 C2, C3, C4, C5, C6 的值, 见图 3 所示。由图 3 可见, 各不变量是相对稳定的, 为以后的识别工作提供了良好的描述目标特征的数据。

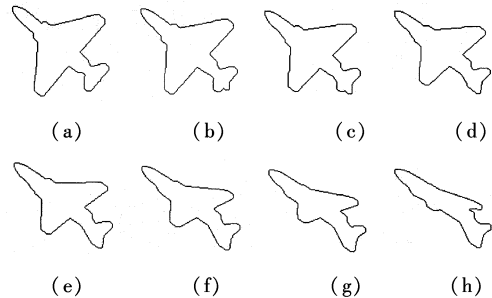


图2 飞机轮廓图像
Fig. 2 plane contour image

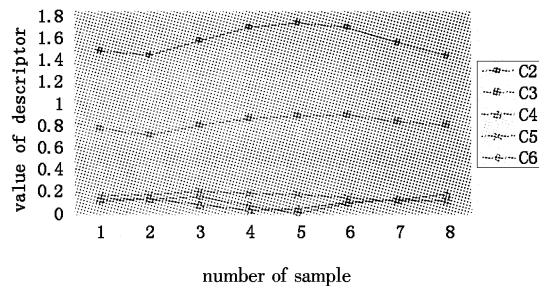


图3 用仿射不变离散余弦变换描述子提取的不变量

Fig. 3 extracted affine-invariants

5 结论

本文基于离散余弦变换相对于傅里叶变换的优点(无需复数运算), 用面积作为目标轮廓曲线的参数, 给出了具有仿射不变性的离散余弦描述子的计算过程。这种方法提取的目标特征具有较小的特征空间维数, 而且计算量小。除了得到较好目标特征描述子之外, 分类器的设计也影响识别的正确率。另外值得注意的是, 当平面目标的深度和它与摄像机之间的距离相比较小时, 投影射线是近似平行的, 此时才可以用仿射近似平面中心透视。如果超过此范围会造成较大的偏差, 导致误识别。

参考文献:

- [1] Arbter K, et al. Application of affine-invariant fourier descriptors to recognition of 3-D objects [J]. IEEE Trans PAMI, 1990, 12(7): 640 - 647.
- [2] 张天序. 成像自动目标识别[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2005.
- [3] 冯春环, 涂建平, 郭健. 基于离散余弦变换的红外目标识别算法[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(6): 1363 - 1369.
- [4] 孙即祥, 等. 模式识别中的特征提取与计算机视觉不变量[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [5] 张洪钺, 杨雪勤, 郭洪涛. 基于仿射变换的飞机图像识别[J]. 航空学报, 2003, 24(3): 251 - 254.