

用零阶圆谐波滤波器实现不变性图像分割

刘大禾

(北京师范大学物理系, 北京 100875)

摘 要 提出了一种新的, 用零阶圆谐波滤波器相关进行图像分割的方法. 相关峰的轮廓保持了输入图像的形状. 这种方法具有平移不变、旋转不变和尺度不变的特点, 并给出了计算机模拟的结果.

关键词 图像分割, 圆谐波滤波器, 相关.

1 引 言

图像分割是光信息处理中一个重要的预处理过程. Pratt 给出了图像分割的定义^[1]:“一个图像的分割是限定图像的一个区域或部分, 使之具有类似的性质. 对于分割, 最基本的性质是图像的振幅-照度. 图像的边界和结果也同样是有用的性质”. 很多图像分割的方法被提出来以分离出这些基本性质^[2~7]. 在图像识别中, 如何分割出所感兴趣的部分, 即在输入信号众多的信息中分离出基本性质, 更是一个极为重要的问题.

Haralick 和 Shapiro 描述了一个好的图像分割的准则^[8]:“区域内部应是简单的, 小孔应尽可能少. 被分割部分的周围应是均匀的, 并与被分割部分有明显不同的值. 每个被分割区域的边界应是简单的, 不能凹凸不平, 而且空间位置必须准确”. 通常的照度限幅的方法是不够好的, 当物体中有些部分的灰度值低于门限时, 被分割区域内会出现一些孔, 物体中的部分信息就会丢失. 本文介绍了一种基于相关的图像分割方法简称(CPS)法. 这种方法中位置、旋转和尺度是不变的, 分割部分的边界是简单的、平滑的, 边界内部是物体, 边界外部完全为零.

2 基于相关的图像分割的原理

Vander Lugt 空间匹配滤波器^[9]是旋转和尺度变化的. 作为一种改进, 圆谐波滤波器^[10]实现了旋转不变. 这里所谓不变仅仅是指相关的强度不变.

考察相关输出结果的形状. 二维相关由下式给出:

$$C(x, y) = f(x, y) \otimes g(x, y), \quad (1)$$

式中符号 \otimes 表示相关运算. 假定 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 是空间有限的, 当 $f(x, y)$ 包围的面积远远大于 $g(x, y)$ 的面积时, 可以把 $g(x, y)$ 看作是 δ 函数, 这时有:

$$C(x,y) = f(x,y) \otimes g(x,y) \approx f(x,y) \otimes \delta(x,y) = f(x,y). \tag{2}$$

类似地，当 $g(x,y)$ 的面积远远大于 $f(x,y)$ 的面积时

$$C(x,y) = f(x,y) \otimes g(x,y) \approx \delta(x,y) \otimes g(x,y) = g(x,y). \tag{3}$$

由(1)、(2)和(3)式可作如下推论：

1) 函数 $f(x,y)$ 与 $g(x,y)$ 相关结果的形状(不是强度)，在一个函数的面积逐渐变小时越来越接近另一个函数。

2) 相关结果 $C(x,y)$ 的面积大于 $f(x,y)$ 和 $g(x,y)$ 中的任何一个。

以上推论对图像分割是非常有用的。如果用一个适当的滤波器与输入信号进行相关，并用限幅后的相关结果作为分割窗口，则这个窗口可在相当大的范围内覆盖输入画面中的物体。另外只要滤波器相对于输入画面较小，则相关峰的轮廓在一个很大的范围骨与输入物体的形状相似。由此可以得到，相关在一个很大范围内具有尺度不变性。例如 $f(x,y)$ 是一架飞机， $g(x,y)$ 是一个圆，当 $f(x,y)$ 相对于 $g(x,y)$ 由小变大时，相关轮廓的形状将圆变为飞机。

然而，一个简单的圆不具备分辨力。使用圆谐波函数可以解决这个问题。在极坐标中，一个函数的圆谐波展开为

$$f(x,y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_m(r)e^{im\theta}, \tag{4}$$

其中
$$f_m(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(r,\theta)e^{-im\theta}d\theta \tag{5}$$

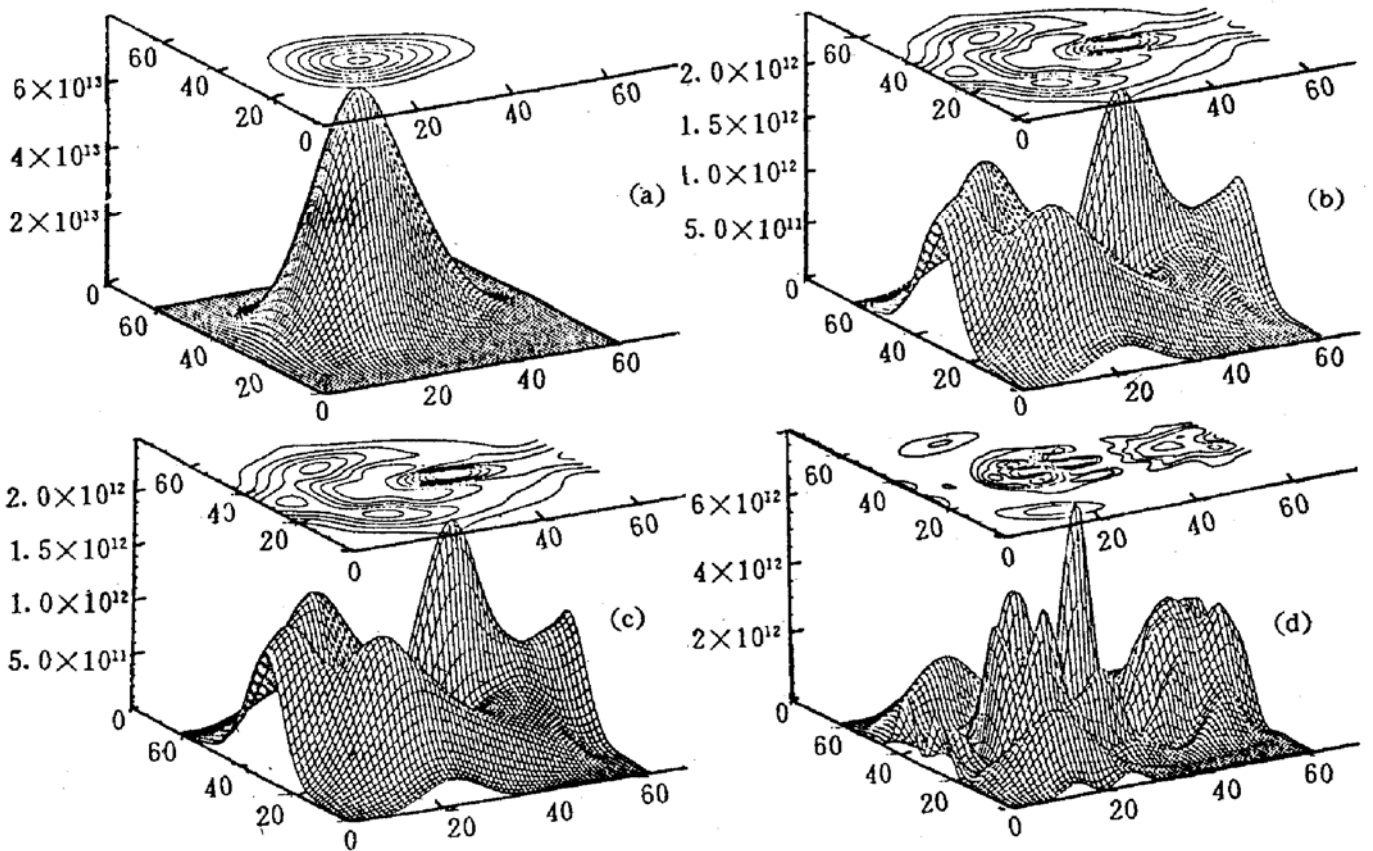


Fig. 1 Correlation between space shuttle and its circular harmonic filters (CHF) with different orders.

(a) 0-order CHF, (b) 1-order CHF, (c) 2-order CHF, (d) 5-order CHF

圆谐波展开中的每一项都可以作为一个滤波器，可以证明，圆谐波滤波器是旋转不变的^[10]。

尽管零阶圆谐波器的分辨力较差，但它却提供了最大的信噪比^[11]，而且它与原函数的相关是一个凸函数。对于零阶展开项， $m = 0$ ，此时

$$f_0(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(r, \theta) d\theta, \tag{6}$$

(6)式是 $f(r, \theta)$ 在 θ 坐标上的投影。相关峰的顶点出现在展开中心。图 1 示出了一个航天飞机 (图 1(a)中石上部的物体) 与其零阶、1 阶、2 阶和 5 阶圆谐波滤波器有关的结果。其中零阶相关外部轮廓线的形状与物体的轮廓极其相似，而且其强度较其他级相关高很多。

图 2(a)中包括了五个大小不同的航天飞机，取右上部的那个(大小:64×64)作为参考物，其零阶圆谐波展开项作为滤波器。五个航天飞机与滤波器相关输出的结果见图 2(b)。图 2(c)是图 2(b)的投影，它是方程(2)或(3)的图示。对于最小的航天飞机，相关的形状接近于圆(圆谐波滤波器看起来象一个圆盘)，而当物体变大时，相关的轮廓越来越接近航天飞机。图 2(d)是一个很大的航天飞机(256×256)与滤波器相关的投影，这个相关的轮廓具有与航天飞机相同的轮廓形状。

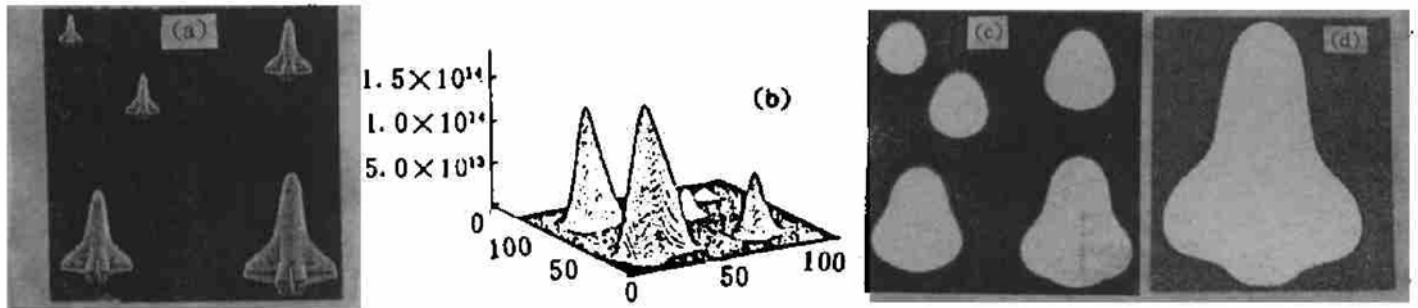


Fig. 2 (a) Five space shuttles. The top-right one with the size 64×64 was chosen as reference.
 the size of others are 16×16, 32×32, 96×96, 128×128 respectively
 (b) Correlation between Fig. 2(a) and the 0-order CHF of the reference
 (c) The projection of Fig. 2(b)
 (d) The projection of correlation between a big space shuttle with size 256×256 and the 0-order CHF of the reference

由此，可以建立基于相关的图像分割方法。如果对相关强度进行限幅，并作二值化处理，则可得到一个分割窗口函数：

$$W(x, y) = \begin{cases} 1 & C(x, y) \gg T \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \tag{7}$$

其中 T 是一个给定的门限值。 T 值的选取应使窗口的面积大于物体。 T 值越低，窗口越大。最后的分割输出结果由下式给出：

$$S(x, y) = f(x, y)W(x, y) \tag{8}$$

3 模拟实验结果

图 3 为实验系统，上半部为一个典型的 4f 系统，它完成相关处理，T & B 执行限幅和二值化操作。相关输出被送到空间光调制器 SLM 上面产生一个分割窗口。最后得到分割图像的输出。系统的输入画面由四个航天飞机组成，它们的位置，方位和尺度均不相同，1) 64×64 的小航天飞机；2) 64×64 方位旋转 90° 的小航天飞机；3) 96×96 的航天飞机；4) 128×128 方位旋转 90° 的航天飞机。这四个物体的灰度值都在 0~255 之间。取 64×64 小航天飞

机作为参考物，其零阶圆谐波展开作为滤波器。下面给出在两种不同背景条件下的实验结果。

把物体放到灰度值为 100 的直流分量中，分割的结果如图 4 所示。每个物体都被成功地分割出来，且边界是平滑的，清晰的。对于下一步的处理来说(如识别)，用这个分割结果作为输入是相当不错的。

3.1 直流背景

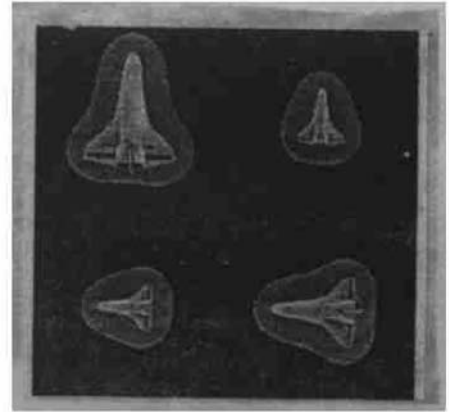
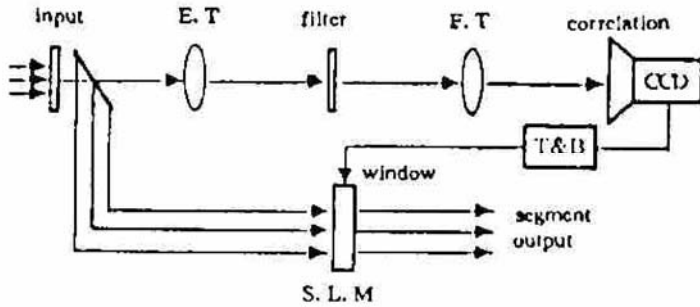


Fig. 3 Optical system for performing correlation based pattern segmentation

Fig. 4 Space shuttles segmented from DC background (DC=100)

3.2 噪声背景

把物体放到高斯型噪声中(图 5(a))，噪声的标准差为 23，平均值为 100。相关的结果如图 5(b)所示。可以看到，在相关平面上，噪声的影响是在一个很低的水平上。由于分割是基于相关的，因此，这种方法对噪声有很强的抵御，只要选好门限，就可以很容易地取掉噪声背景。图 5(c)给出了门限为 2.2×10^{13} 的分割结果。

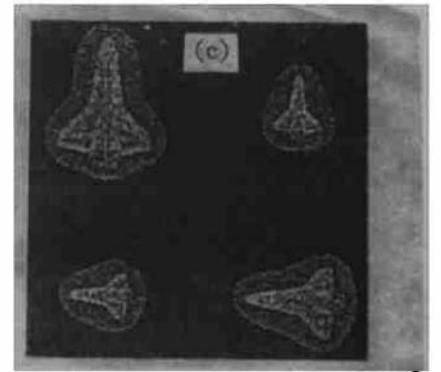
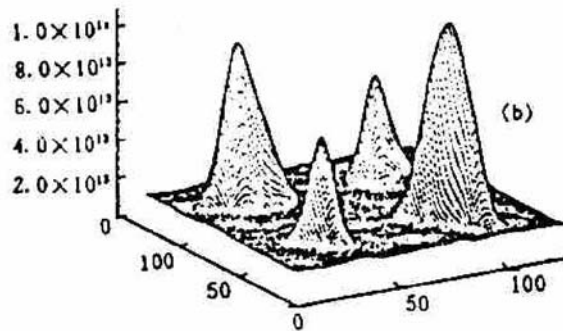
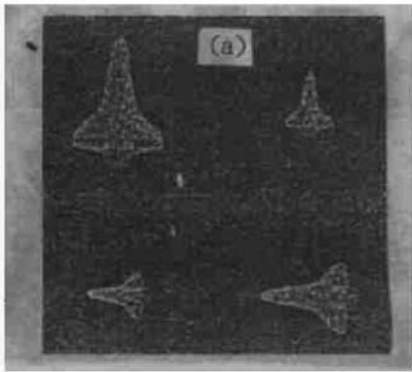


Fig. 5 The segmentation of space shuttles mixed with Gaussian noise

(a) space shuttles mixed with gaussian noise ($\sigma=23$, mean=100)

(b) correlation between (a) and the 0-order CHF of the reference

(c) space shuttles segmented from (a)

结 论 零阶圆谐波滤波器相关的图像分割具有分割完全、边界清晰和抵御噪声的特点。圆谐波展开方法决定了这种分割方法是平移不变和旋转不变的。另外，在一个相当大的范围内相关输出的轮廓对物体尺度的变化是不敏感的，因此，这种方法又是尺度不变的。

本文所涉及的工作，是作者在加拿大拉瓦尔大学工作期间完成的。在课题确立上，得到了 H. H. Arsenault 教授的指导，并与他进行有益的讨论。在具体工作中得到了 S. Chang 先生

的热情帮助, 特致谢意.

参 考 文 献

- [1] W. K. Pratt, *Digital image processing*, 2nd ed., New York, A Wiley-Interscience Publication, 1991: 597
- [2] K. S. Fu, J. K. Mui, A survey of on image segmentation. *Pattern Recognition*, 1981, 13(1): 3~16
- [3] J. S. Weska, A survey of threshold selection techniques. *Computer, Vision, Graphics, and Image Processing*, 1978, 7(2): 259~265
- [4] C. K. Chow, T. Kaneko, Boundary detection of radiographic by 2 threshold method. In *Frontiers of Pattern Recognitions*, S. Watanabe, Academic Press, 1972, New York
- [5] S. D. Yanowiz, A. M. Bruckstein, A new method for image segmentation. *Computer, Vision, Graphics, and Image Processing*, 1989, 46(1): 82~95
- [6] R. Krishnapuram, A. Munshi, Cluster-based segmentation of range image using differential-geometric feature. *Opt. Engng.*, 1991, 30(10): 1468~1478
- [7] M. C. Roggemann *et al.*, Segmentation of noisy range images using the small-scale planarity of man-made feckless. *Opt. Engng.*, 1991, 30(4): 408~414
- [8] R. M. Haralick, L. G. Shapiro, Image segmentation techniques. *Computer, Vision, Graphics, and Image Processing*, 1985, 29(1): 100~132
- [9] A. B. Vander Lugt, Signal detection by complex spatial filtering. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 1964, 10(2): 139~145
- [10] Y. N. Hsu, H. H. Arsenault, G. Aprill, Rotation-invariant pattern recognition using circular harmonic expansion. *Appl. Opt.*, 1982, 21(22): 4012~4015
- [11] Y. Yang, Y. N. Hsu, H. H. Arsenault, Optimum circular symmetrical filter and their uses in pattern recognition. *Optica Acta*, 1983, 30(2): 189

Invariant Optical Image Segmentation Using Circular Harmonic Correlation

Liu Dahe

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

(Received 6 December 1993; revised 33 March 1994)

Abstract A novel method for optical image segmentation was suggested. The method is based on 0-order circular harmonic correlation. A window which is used to segment the object of interest can be obtained with thresholding and binarizing the correlation peak. This method is characterized by the invariant for shifting, rotating and scaling. The computer simulations were shown.

Key words segmentation, circular harmonic filter, correlation.