

基于 Radon 变换的水声图像矩特征提取与分类

刘晨晨, 桑恩方, 张之猛

(哈尔滨工程大学水声工程学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 成像声纳采集的水声图像分析是自动水下潜器研究中的一个重要课题, 该文提出了一种基于图像边缘 Radon 变换的水声图像矩特征提取和分类方法。使用一种形态学边缘提取算子和细化算法提取二维图像中目标的轮廓, 构造目标轮廓在 Radon 变换空间的平移、比例和旋转不变量, 应用于 3 类水下物体的分类中, 实验仿真结果表明该方法在运算速度上优于 Hu's 不变矩和图像目标面 Radon 投影空间不变矩, 具有很好的性能和较高的实用价值。

关键词: 水声图像; Radon 变换; 不变矩; 特征提取; 分类

Radon Transform-based Moment Feature Extraction and Classification of Underwater Acoustic Image

LIU Chen-chen, SANG En-fang, ZHANG Zhi-meng

(School of Underwater Acoustic Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

【Abstract】 The analysis of underwater acoustic image object of sonar is a key issue in autonomous underwater vehicle(AUV). By applying Radon transform, a new method for underwater acoustic image's feature extraction and classification is proposed, which is non-sensitive to the ambiguous noise. After getting the close edge by morphological edge extraction and thinning operators, this paper constructs the edge moment invariants based on Radon projection and uses them in classification of three kinds of underwater objects. Simulation results show the proposed method is robust and its effectiveness is better than Hu's moment invariant and object's plane moment invariance in Radon projective space according to the computing speed.

【Key words】 underwater acoustic image; Radon transform; invariance moment; feature extraction; classification

水声图像中含有大量的噪声干扰, 使目标纹理特征不明显, 给水下智能机器人视觉系统的识别工作带来极大的困难。因此, 水声图像中目标的几何形状和边缘信息对于图像的理解与识别至关重要。

作为常用的二维图像分析工具, 矩是一种非常重要的表示目标总体形状的特征量。不变矩由于概念清晰、识别率稳定, 对具有旋转和缩放变化的目标有良好的不变性及抗干扰性, 已成为图像识别的重要研究方向。1961年, Hu^[1]由代数不变量的理论推出一系列的具有旋转、平移和比例(RTS)不变性的矩特征, 其主要是利用二阶矩进行图像目标识别。Radon 变换可以将图像数据从二维降到一维, 使运算量减少, 并且在较小的角度范围内, 图像的 Radon 变换几乎是相同的, 可以利用这个特性降低噪声的影响。文献[4,5]研究了在 Radon 变换空间的不变矩方法, 并应用到图像分析和识别中。但是这些不变矩都是一种基于区域的矩(面矩), 需要对整个图像存在区域进行计算, 运算量大, 不利于实时处理。

本文提出了一种基于图像边缘 Radon 空间投影的不变矩(下文简称边缘 Radon 不变矩)特征提取方法, 用目标轮廓像素来表示其形状, 并进行了 3 类水下图像目标的识别。实验结果表明此方法具有较高的分类精度和良好的抗干扰能力, 且计算速度更快。

1 Radon 不变矩

本文算法主要针对图像边缘计算其离散形式的 Radon 不变矩, 从而完成分类工作。内容包括形态学图像边缘提取和细化, Radon 不变矩计算和目标聚类。

1.1 Radon 变换简介

Radon 变换是计算图像在某一特定角度射线方向上投影的变换方法。二维函数 $f(x, y)$ 的投影是在某一方向上的线积分。图 1 为 Radon 变换的几何原理示意图。

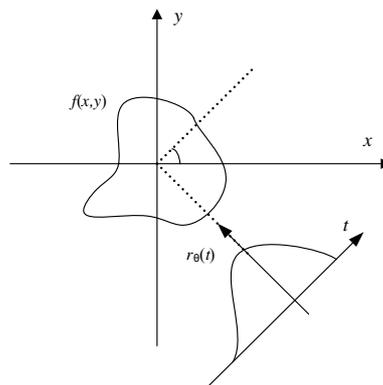


图 1 函数 $f(x, y)$ 的投影

图像的 Radon 变换反映了图像在不同射线方向上的投影特征。二维函数 $f(x, y)$ 的 Radon 变换公式为

$$R\{f(x, y)\} = \iint f(x, y) \delta(t - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy = r_\theta(t) \quad (1)$$

作者简介: 刘晨晨(1977 -), 女, 博士研究生, 主研方向: 水下图像处理, 目标识别; 桑恩方, 教授、博士生导师; 张之猛, 博士研究生

收稿日期: 2006-09-20 **E-mail:** lcczcm@yahoo.com.cn

式中, t 代表沿着直线上的距离, 表示为 $t = x \cos \theta + y \sin \theta$ 。沿着一系列平行线的积分就组成了投影 $r_\theta(t)$, 所有投影组成的集合 $\{r_\theta(t), \theta \in [0, \pi]\}$ 就是 Radon 变换。

本文采用 Radon 变换的离散形式进行计算, 如下式:

$$R\{f(x, y)\} = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y f(x, y) \delta(t - x \cos \theta - y \sin \theta) = r_\theta(t) \quad (2)$$

其中, (x, y) 是图像像素坐标, $x = 1, 2, \dots, X$, $y = 1, 2, \dots, Y$ 。

1.2 Radon 不变矩

设图像的 Radon 变换为 $r_\theta(t)$, 定义 k 阶矩为

$$m_k(\theta) = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y t \cdot r_\theta(t) = \sum_{x=1}^X \sum_{y=1}^Y (x \cos \theta + y \sin \theta) \cdot r_\theta(t) \quad (3)$$

由此可得图像零阶矩 $m_0(\theta) = m_{00}$, 进一步得出 $\bar{t}_\theta = m_1(\theta) / m_0(\theta)$, 表示投影 $r_\theta(t)$ 的质心。

(1) 当图像发生平移和比例变化时, 其投影的 Radon 矩也会发生变化, 可以用归一化的中心矩代替普通矩获得平移和比例不变性, 如下所示:

$$\mu_k(\theta) = \sum (t - \bar{t}_\theta)^k r_\theta(t) \quad (4)$$

$$\eta_k(\theta) = \frac{\mu_k(\theta)}{\mu_0^{(k+2)/2}} \quad (5)$$

(2) 当图像发生旋转变换时, 容易得出其 Radon 变换的齐次中心矩以 2π 为周期变化, 而偶次中心矩变化的周期为 π , 所以, 利用原始图像的投影序列 $r_\theta(t)$ 进行角度移位就可以得到变化后的图像的投影。但是该方法只适合有限角度变换情况下的匹配识别, 并且过程比较复杂, 因此, 利用文献[5]中的矩阵奇异值分解的方法消除图像的旋转因素以获得不变量特征, 进行分类。

1.3 Radon 不变矩特征提取

设 k 小于 Radon 变换的投影点数, 利用式(5)计算 $\eta_2, \eta_3, \dots, \eta_k$, 得到 $k-1$ 个特征向量, 构造矩阵 $\eta = [\eta_2, \eta_3, \dots, \eta_k]$ 。计算该矩阵的奇异值, 按降序排列成一特征向量, 该特征向量具有 RTS 不变性。

由于各阶归一化中心矩 η_k 的变化范围很大, 为了便于比较, 可以利用取对数的方法进行数据压缩。同时考虑可能出现负值情况, 在取对数前, 先取绝对值, 本文中使用的 Radon 投影不变矩为

$$\eta_k = \lg|\eta_k|, k = 1, 2, \dots \quad (6)$$

2 识别算法设计

在很多实际应用中, 图像的边缘轮廓包含了目标的形状信息, 具有重要的意义。本文主要利用图像的边缘轮廓构造边缘 Radon 不变矩, 来完成图像目标的识别, 具体流程为:

步骤 1 对图像进行预处理, 提取边缘。边缘检测有许多成熟的算子, 为更好地抑制噪声干扰, 保持图像边缘细节, 本文采用了一种对噪声不敏感的形态学边缘算子提取图像边缘, 如式(7)所示, 然后用式(8)的细化算法获得单像素的图像目标边界, 形态学运算易于硬件并行实现, 可以满足处理的实时性要求。

$$C = (A \circ E) - (A \ominus E) \quad (7)$$

$$S \otimes B = S \setminus (S * B) \quad (8)$$

其中

$$S * B = (S \ominus E) \cap (S^c \ominus F) \quad (9)$$

是形态学中的击中击不中变换; $B = (E, F)$ 是结构元素对; 符号 “ \setminus ” 表示求差运算。

步骤 2 计算目标单像素边界的 Radon 不变矩, 本文使用

2、3、4 阶矩特征向量组成新的矩阵, 计算该矩阵的 3 个奇异值, 按降序排列组成目标特征向量。

步骤 3 分析目标特征向量的相似性, 并采用聚类方法进行分类。

3 实验及结果

本文给出的基于 Radon 变换的图像目标识别方法主要针对目标的形状进行分类识别, 利用的是图像的边缘信息。由声纳发射功率、存储等原因造成的水声图像亮度的改变对形状的影响很小, 而对图像面矩则有较大影响, 对此本文不再讨论。下面主要比较边缘 Radon 变换矩与 Hu's 矩以及图像面 Radon 变换矩用于图像目标分类识别时在时间需求和分类精度上的差别。

3.1 运算时间比较

图 2 中的 3 幅图像为 3 类原始目标图像, 从左到右分别为 A (钢板)、B (船壳) 和 C (钩子), 为减少计算量, 在 Radon 变换前将图像大小规整为 32×32 。



图 2 原始水下目标图像

实验是在 Celeron 2.4GHz, Matlab 7.0 环境下进行的。由于采用各种矩特征的分类方法是相同的, 故只比较计算不同方法计算矩特征所耗的时间。如表 1 所示(时间单位为 ms)。

表 1 不变矩运算时间比较 (原始目标 A、B、C)

目标图像	大小	Hu's 不变矩	图像面 Radon 不变矩	边缘 Radon 不变矩
A	32×32	8 518	170	86
B	32×32	12 090	151	86
C	32×32	4 719	172	82

由表 1 可以看出, 尽管对图像的边缘提取消耗了一定的时间, 本文介绍的算法仍然比其他两种方法要快得多。

3.2 聚类效果比较

随机选取各类目标的序列图像中的几帧, 如图 3 和图 2 所示的原始目标图像一起作为待分类目标图像。图 3 中原始目标有一定程度的平移和旋转, 并且由于目标运动造成少量形状的缺失, 例如图 3 最后一幅图像中的 C 目标。

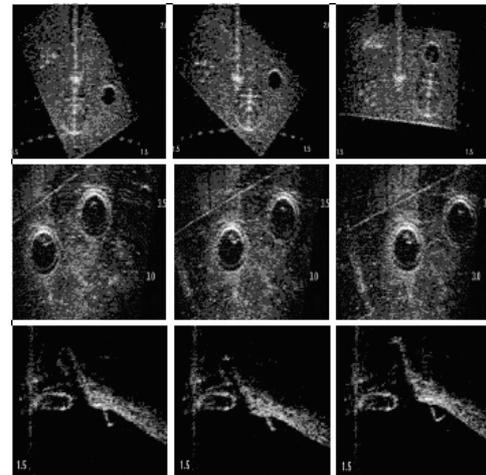


图 3 待识别图像

根据图像面 Radon 不变矩和本文提出的边缘 Radon 不变矩
(下转第 53 页)