一种基于组合不变矩的新的舰船图像 目标识别方法

于吉红1 吕俊伟2 白晓明3

(1. 海军航空工程学院指挥系,山东烟台 264001;

2. 海军航空工程学院控制工程系,山东烟台 264001;

3. 海军航空工程学院兵器科学与技术系,山东烟台 264001)

摘 要:利用图像的不变矩特征进行目标识别是一种有效的方法。通过比较 Hu 矩、仿射不变矩和小波不变矩的特点和适用条件,提出了一种运用部分 Hu 矩、仿射矩和小波 矩组合来识别舰船图像目标的方法。仿真实验结果表明,该组合矩对于提高舰船图像 目标的识别率是有效的。

关键词:目标识别;不变矩;仿射变换;小波矩

中图分类号: TP39 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.09.006

A New Method for Ship Image Target Recognition Based on Combined Invariant Moments

YU Ji-hong ¹, LV Jun-wei ², BAI Xiao-ming ³

(1. Department of Command, NAAU, Yantai 264001, China;

2. Department of Control Engineering, NAAU, Yantai 264001, China;

3. Department of Ordnance Science and Technology, NAAU, Yantai 264001, China)

Abstract: It is an effective method to use the invariant moment features for target recognition. By comparing the features and applicable conditions of the Hu moment, affine invariant moment and wavelet invariant moment, a method in which the combination of partial Hu moment, affine invariant moment and wavelet invariant moment is used to recognize ship image targets is proposed. The simulation result shows that the combined moments are effective for the improvement of the recognition of ship image targets.

Key words: target recognition; invariant moment; affine transformation; wavelet moment

0 引言

舰船图像目标识别方法是利用从图像中提 取的目标特征对目标进行监测、定位和分类的。 该方法在战场监视系统、自动寻的反舰导弹等 领域具有重要的战略意义。舰船图像是摄像机 以一定角度瞄准空间三维舰船目标获取的。在 获取过程中,会受到气候、拍摄设备和视角等因 素的影响,从而产生诸如平移、旋转、尺度缩放 和透射变形等畸变。当摄像机和目标之间的距 离大于目标本身的尺寸时,透射变换常用仿射 变换近似^[1]。因此,实现图像目标识别就是要 寻找在上述畸变中保持不变或者影响不大的特 征参数来建立识别模式。

收稿日期: 2011-07-22

E-mail: yujihong_1@126.com

作者简介:于吉红(1980-),女,山东文登人,讲师,在读博士,主要研究方向为图像处理与模式识别。

利用矩进行图像目标识别是模式识别中的 一种重要方法。矩在数学意义上可理解为图像 在一组多项式空间内的投影系数。1962年,Hu ^[2] 首次提出矩不变量的概念,此后国内外众多 学者相继展开了研究。Li^[3] 利用 Fourier-Mellin 变换的不变性推导出可构造任意阶不变矩的方 法,并指出 Hu 矩是其特例。Teague^[4] 则引入正 交多项式来构造正交矩,以克服 Hu 矩不变量包 含冗余信息的缺点。Zernike 矩是一种正交矩。 Khotanzad 等人^[5] 通过实验指出正交矩在信息

冗余度、图像表示能力和识别方面优于其他矩。 Jan Flusser 等人^[6]提出仿射不变矩,并通过实 验证明利用仿射变换不变量可以识别扭曲变形 的目标图像。该方法可以应用于字符识别和景 像匹配。上述不变矩的提取都是在整个图像空 间中进行的,它们得到的是全局特征,不利于分 类。D. Shen 等人^[7]提出利用小波矩克服上述缺 点的构想。由于通过小波变换可以得到时域和 频域的局部信息,因此小波变换特征更适合于 局部离散特征的提取。

Hu矩、仿射不变矩和小波不变矩具有各自 不同的特点和适用条件,人们一般都将其作为 目标的单独特征来进行研究和应用。本文针对 舰船图像目标识别的特点提出一种基于组合不 变矩特征 (Invariant Moments Feature of Hu-Affine-Wavelet, IMF-HAW)的新的舰船图像目标识别方 法,通过将部分不变矩分量、仿射不变矩和小波 不变矩组合成一个新的特征向量来对舰船图像 目标进行识别。

1 不变矩构造

不变矩是指物体经过平移 (T)、旋转 (R) 和 尺度变换 (S) 后仍然保持不变的特征量。Hu 矩是 一系列 (7个) 具有 TRS 不变性的优良不变矩。

1.1 Hu 不变矩

Hu 提出的矩实际上是目标区域连续函数的 矩,称为区域矩。对于平面上的灰度图像 f(x,y), 将 (p+q) 阶原点矩和中心矩分别定义为

$$m_{_{pq}} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} x^p y^q f(x,y) dx dy$$

$$p, q = 0, 1, 2, \cdots$$

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \overline{x})^p (y - \overline{y})^q f(x, y) dx dy,$$

$$p, q = 0, 1, 2, \cdots$$

$$(2)$$

式中, $(\overline{x}, \overline{y})$ 为灰度图像 f(x, y) 的灰度质心。

$$\overline{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad \overline{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$
 (3)

归一化的中心矩为

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^r}, \quad r = \frac{p+q}{2} + 1, \quad p+q = 2, 3, \cdots$$
 (4)

Hu 利用归一化的二阶中心矩和三阶中心矩 构造了 7 个对平移、缩放、镜像和旋转都不敏感 的不变矩函数式^[1],其中前 6 个矩有效,满足 $\phi_5^2 + \phi_7^2 = \phi_3 \phi_4^3$ 关系。当 $x < \overline{x}$ 或 $y < \overline{y}$, p,q 为 奇数时,不变矩可能会出现负值,而且数值的变 化范围很大。用取对数的方法进行数据压缩:

$$\phi'_{k} = |\lg|\phi_{k}||, \quad k = 1, 2, \cdots, 7$$
 (5)

虽然 Hu 矩已被证明是 TRS 不变的, 但是需要注意的是它有以下两个前提条件:

(1) Hu 矩中的二维图像是指图像垂直拍摄, 并且没有发生任何变形和投影变化。

(2) TRS 不变量是指二维平移、旋转和尺度 变换下的不变性,它对于仿射变换和射影变换 并不成立。Hu 矩的应用还存在一定的局限性。

1.2 仿射不变矩

在实际应用中,由于受视角和摄像机等因 素的影响, 舰船图像会发生变形(仿射变换), 此时仅利用不变矩提取的目标特征并不准确。 为了识别这些目标,需要寻找仿射变换下的不 变矩。仿射不变矩就是一种经过仿射变换后依 然保持不变的特征量。它是从代数不变性理论 推导出来的二维坐标变换,可表示为

$$\begin{cases} x' = a_0 + a_1 x + a_2 y \\ y' = b_0 + b_1 x + b_2 y \end{cases}$$
(6)

http://journal.sitp.ac.cn/hw

式(6)可进一步分解为6组变换:

表示为上述若干个单参数线性变换的乘积。

仿射不变矩函数式的构造有很多方法,如 配极多项式、Hankel 行列式和关于 x 的多项式 等等。这些多项式和各阶中心矩都可以用来构 造满足式 (7) 中 6 组变换要求的仿射不变矩。本 文采用 Tomas Suk 等人^[8]提出的方法推导出 10 个仿射不变矩,但文献 [9] 已经证明识别效果并 非与不变矩的个数成正比,因此我们只选取前 3 个仿射不变矩参与 IMF-HAW 目标识别。

$$I_{1} = (\mu_{20} \mu_{02} - \mu_{11}^{2})/\mu_{00}^{4}$$

$$I_{2} = (\mu_{30}^{2} \mu_{03}^{2} - 6\mu_{30} \mu_{03} \mu_{21} \mu_{12} + 4\mu_{03} \mu_{21}^{3} + 4\mu_{30} \mu_{12}^{3} - 3\mu_{21}^{2} \mu_{12}^{2})/\mu_{00}^{10}$$

$$I_{3} = (\mu_{20} \mu_{21} \mu_{03} - \mu_{20} \mu_{12}^{2} - \mu_{11} \mu_{30} \mu_{03} + \mu_{11} \mu_{21} \mu_{12} + \mu_{02} \mu_{30} \mu_{12} - \mu_{02} \mu_{21}^{2})/\mu_{00}^{7} \qquad (8)$$

1.3 小波不变矩

无论是 Hu 矩还是仿射不变矩, 它们所反映 的都是目标灰度的统计分布情况, 因此它们都 是基于目标图像区域特征的识别方法。它们一 般仅适用于分类具有明显差别的模式, 而对于 区分具有细微差别 (部分舰船外形相差不大) 的 相似模式, 它们就显得无能为力了。小波分析则 具有很好的时频局部化特性, 能够反映信号在 各个尺度下的整体逼近信息和局部细节信息, 非常适合提取图像的局部特征。但不足的是, 小 波分析本身并不具有 TRS 不变性, 所以要想进 行图像目标识别就需要计算小波不变矩。 小波不变矩是目标图像在局部空间中的特征描述,它能够准确、有效地区分形状相似的目标。常用的小波不变矩有3种计算方法:基于小波逼近系数的图像小波不变矩、基于小波变换 模极大值方法构造的小波不变矩和极坐标下的 图像小波不变矩。本文构造的是极坐标下的小 波不变矩。

假设在笛卡尔坐标系下,图像 *f*(*x*, *y*) 的 (*p*+*q*) 阶广义矩 *M_{na}* 为 ^[10]

$$M_{pq} = \iint f(x, y)\phi_{pq}(x, y)dxdy, \quad p, q = 0, 1, 2, \cdots$$
(9)

式中, $\phi_{pq}(x,y)$ 为核函数。如果将 $\phi_{pq}(x,y)$ 看作 是一组二维多项式基函数,那么多项式空间 V_{pq} 则是由 $\phi_{pq}(x,y)$ 生成的,即 $V_{pq} = Span\{\phi_{pq}\}$ 。从 函数分析的观点来看, f(x,y) 的 (p+q) 阶广义 矩 M_{pq} 就是 f(x,y) 在多项式空间 V_{pq} 中的投影。

将式(9)转化到极坐标系下,则

 $M_{pq} = \iint f(r,\theta)\phi_{pq}(r,\theta)drd\theta$ $= \iint f(r,\theta)g_{p}(r)e^{-iq\theta}drd\theta, \quad p,q = 0, 1, 2, \cdots (10)$ 式中, $\phi_{pq}(r,\theta) = g_{p}(r)e^{-iq\theta}$ 。 $g_{p}(r)$ 是一维径向

式中, $\phi_{pq}(r,\theta) = g_p(r)e^{-q_p}$ 。 $g_p(r)$ 是一维径向 核函数, $\phi_{pq}(r,\theta)$ 是二维核函数。取径向小波基 函数 $\psi_{ab}(r)$ 作为径向核函数来构造小波不变矩。

$$W_{abq} = \iint f(r,\theta)\psi_{ab}(r)e^{-iq\theta}rdrd\theta (0 \le r \le 1)$$

$$\phi_{ab}(r) = 2^{a/2}\psi(2^a = 0.5b),$$

$$a = 0, 1, 2, \cdots, b = 0, 1, \cdots, 2^{a+1}$$
(11)

式中, *a* 为缩放因子, *b* 为平移因子。在计算 W_{abq} 时,需要转过所有角度。在取不同的 *a* 和 *b* 时, $\psi_{ab}(r)$ 遍及整个径向空间 [0,1]。提供图像在 不同尺度和位置上的局部信息,这是 Hu 矩和仿 射不变矩等常规矩所做不到的。因此,小波不变 矩的分类性能更加优越。

1.4 组合不变矩

Hu 矩和仿射不变矩是图像在整个空间中的 统计特性,能够稳定、可靠地识别形状差异大 的目标;小波不变矩是图像在局部空间中的特 征描述,能够准确、有效地区分形状相似的目 标。单独使用其中任何一个不变矩进行目标识 别得到的结果都不是理想的。通过结合两者各自的优点,使用组合不变矩进行目标识别,可以提高分类的准确度和扩大应用范围。本文提出一种将部分 Hu 不变矩分量、仿射不变矩和小波不变矩组合成新的不变矩特征向量来进行目标识别的方法。通过将不变矩的 3 个分量 $(\phi_1 、 \phi_2 、 \phi_3)$ 、仿射不变矩的 3 个分量 $(I_1 、 I_2 、 I_3)$ 和最具鉴别力的 3 个小波不变矩 ^[11] $(\varphi_1 = ||W_{010}||, \varphi_2 = ||W_{111}||, \varphi_3 = ||W_{101}||)$ 组合成一个包含 9 个特征元素的特征向量进行舰船图像目标识别。下面介绍组合矩的具体构造方法。

(1) 计算待识别目标图像 f(x,y) 的质心
 (x,y)、缩放因子a和中心矩,并对其进行归一化处
 理。将 f(x,y) 作平移和尺度变换,记为 f'(x,y)。

$$f'(x,y) = f\left(\frac{x-\overline{x}}{a}, \frac{y-\overline{y}}{a}\right)$$
(12)

(2) 采用胡氏方法计算前 3 个矩 (φ₁、 φ₂、
 φ₃)。

(3) 参照文献 [8,9] 中的方法计算仿射不变矩 (*I*₁、*I*₂、*I*₃)。

(4) 将 f'(x,y) 转换到极坐标下,取三次 B 样 条函数作为径向核函数并将其代入式 (11),则

$$\psi(r) = \frac{4a^{n+1}}{\sqrt{2\pi(n+1)}} \sigma_w \cos(2\pi f_0(2r-1))$$

$$\times \exp\left[-\frac{(2r-1)^2}{2\sigma_w^2(n+1)}\right] \tag{13}$$

式中, n 为 B 样条的阶次, f_0 为调制系数, σ_w^2 为离差量。取 a = 0.697066, $f_0 = 0.409177$, $\sigma_w^2 = 0.561145$ ^[12]。 (5) 对角度适当进行采样,并将坐标转换误 差控制到最小。选取角度间隔 Δθ = 2π/N 作离 散化变换,角度积分为

$$S_q(r) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} f'(r,\theta) e^{-j2\pi nq/N}, \quad q = 0, 1, \cdots$$
(14)

(6) 在径向区域内 (0 ≤ r ≤ 1),利用小波函数对 S_q(r) 提取特征:

$$\|W_{abq}\| = \|\sum S_q(r)\psi_{ab}(r)r\|$$
(15)

此时即可得到图像缩放因子为 a , 位移因子 为 b 时, 在相位空间中的第 q 个频率特征。取 $\varphi_1 = ||W_{010}||$, $\varphi_2 = ||W_{111}||$, $\varphi_3 = ||W_{101}||$, 得到 组合矩 $C = [\phi_1, \phi_2, \phi_3, I_1, I_2, I_3, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3]$ 。

2 仿真实验

2.1 实验条件

本文主要研究不变矩的舰船图像目标识别 效率,借助互联网数据建立了4类舰船的三维 模型。假设舰船与背景完全分离,并通过Matlab 软件实现对Hu不变矩、小波不变矩、仿射不变 矩和组合不变矩进行舰船图像目标识别的仿真 验证。随机选取4类舰船在不同姿态下的图像 (共400幅)。每类取55幅图像作为模板图像, 取45幅图像作为测试图像,并按照顺序将其分 为a、b、c、d4类。

2.2 实验过程及结果

首先分别对 4 类舰船模型进行任意视角、 尺度和仿射变换投影,得到剪影图像。图 2 所示 为各类舰船的部分剪影图像,其编号格式为"类 号-序号"。例如, "a-2"表示 a 舰船的第二幅



图 1 四类舰船的三维模型



图 2 部分模板图像和测试图像

经过任意旋转、缩放和仿射变换的模板图像。测 试图像的编号方式同模板图像。

对模板图像和测试图像分别计算 Hu 不变 矩、仿射不变矩、小波不变矩和组合不变矩。最

后采用最小距离法作为分类依据来实现舰船图 像识别。值得注意的是,距离测度需要使用绝对 值。表 1 ~ 表 4 列出了部分测试图像的识别结 果,其中"*"表示未能识别的舰船。

表1 部分测试图像的 Hu 矩识别情况

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7	类别
t1	0.3276	0.8822	3.3751	3.9615	7.9763	4.4263	7.6051	а
t2	0.4583	1.3363	5.0941	6.4973	12.1761	7.3807	12.8778	b
t3	0.4784	1.9932	3.6640	3.6161	7.0427	4.7514	8.8204	b
t4	0.4248	1.8614	3.5156	3.9264	7.1797	5.0001	7.4500	b
t5	0.1498	0.3595	3.1633	3.4475	6.8217	4.0081	6.9507	d

表2 部分测试图像的仿射矩识别情况

表3 部分测试图像的小波矩识别情况

	I_1	I_2	I_3	类别		$arphi_1$	$arphi_2$	$arphi_3$	类别
t1	53.5997	76.3471	59.5259	a	t1	234.0759	215.3850	198.0205	a
t2	61.8804	84.1007	68.8886	b	t2	243.2780	233.6435	203.0413	b
t3	55.3594	78.1699	62.6044	a	t3	223.6463	206.3555	186.4936	с
t4	52.5807	74.5903	61.3190	d	t4	220.2388	184.3866	184.1635	*
t5	52.6504	76.3769	59.5611	d	t5	218.2574	231.9750	184.2519	d

表4 部分测试图像的组合不变矩识别情况

	IMF-HAW 特征 (C_1, C_2, \cdots, C_9)	类别
t1	(0.3276, 0.8822, 3.3751, 53.5997, 76.3471, 59.5259, 234.0759, 215.3850, 98.0205)	a
t2	(0.4583, 1.3363, 5.0941, 61.8804, 84.1007, 68.8886, 243.2780, 233.6435, 203.0413)	b
t3	(0.4784, 1.9932, 3.6640, 55.3594, 78.1699, 62.6044, 223.6463, 206.3555, 186.4936)	с
t4	(0.4248, 1.8614, 3.5156, 52.5807, 74.5903, 61.3190, 220.2388, 184.3866, 184.1635)	d
t5	(0.1498, 0.3595, 3.1633, 52.6504, 76.3769, 59.5611, 218.2574, 231.9750, 184.2519)	d

通过仿真实验发现,Hu不变矩在识别具有 仿射变换的目标时的识别率较低,仅为60%; 仿射不变矩的识别率为84%;小波不变矩的识 别率为80%,但是运算时间较长;组合不变矩 的识别率则达到90%。由此可见,本文提出的 组合不变矩对提高舰船图像目标的识别率是有 效的。

3 结束语

本文通过研究不变矩、仿射不变矩和小波 不变矩的不同特点和适用条件,提出一种将三 者结合起来形成组合不变矩的方法。对4类舰船 的仿真实验表明,所提出的组合不变矩可以提 高舰船图像目标的识别率。不足的是,其时间效 率低。因此,我们还需要进一步研究可提高运算 速度的快速算法,以满足识别的实时性要求。

参考文献

- 安玮, 李宏, 徐晖, 等. 模式识别中的投射变换与仿 射变换 [J]. 系统工程与电子技术, 1999, 23(1): 1-9.
- [2] Hu M K. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants [J]. IRE Transactions on Information Theory, 1962, 21(8): 179–187.

(上接第22页)

的随机性,以上运行时间均为多次测试的平均 值)。

由此可见,本文算法耗时较少。相对于图像 拼接,该算法仅增加了约 8.5 % 的时间开销,具 有较好的实时性。

4 结论

本文提出了一种用于红外视频序列图像拼 接的灰度非均匀性校正方法。实验结果表明,针 对主要由成像系统引入的灰度非均匀性,该方 法能够获得高对比度、高清晰度的拼接图像, 并能有效消除拼接缝,为后期处理提供保证。此 外,该方法简单快速,完全满足图像拼接的实时 性要求。本文提出的算法不仅适用于红外序列 图像拼接,而且对于可见光相机及其他由成像 系统引入灰度失真的序列图像的拼接也具有一 定的参考价值。

INFRARED (MONTHLY)/VOL.32, NO.9, SEP 2011

- [3] Li Y. Reforming The Theory of Invariant Moments for Pattern Recognition [J]. Pattern Recognition, 1992, 25(7): 723–730.
- [4] Teague M R. Image Analysis via The General Theory of Moments [J]. J Opt Soc Amer, 1980, 70(3): 920–930.
- [5] Khotanzad A, Hong Y H. Rotation Invariant Image Recognition Using Features Selected Via A Systematic Method [J]. *Pattern Recognition*, 1990, 23(10): 1089–1101.
- [6] Jan Flusser, Tomas Suk. Pattern Recognition by Affine Moment Invariants [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(1): 167–174.
- [7] Shen D, Horace H S. Discriminative Wavelet Shape Descriptors for Recognition of 2-D Patterns [J]. Pattern Recognition, 1999, 32(2): 151–165.
- [8] Tomas Suk, Jan Flusser. Graph Method for Generating Affine Moment Invariants [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(1): 132–141.
- [9] 孙即祥. 模式识别中的特征提取与计算机视觉不 变量 [M]. 长沙:国防工业出版社, 2001.
- [10] 潘泓. 基于小波矩和小波神经网络的自动目标识别 研究 [D]. 南京: 东南大学, 2004.
- [11] 徐旭东,周源华.基于小波矩不变量的模式识别方法
 [J]. 红外与毫米波学报,2000,19(3):215-218.
- [12] 王其聪. 基于小波分析的矩特征和神经网络的图像 识别 [D]. 杭州:浙江工业大学, 2004.

参考文献

- [1] 高建贞,任明武,杨静宇.一种快速实用的灰度校 正算法 [J]. **中国图像图形学报**, 2002, **7**(6): 548-552.
- [2] 杨杰,付忠良,阮波.照度不均匀图像的快速自适 应灰度修正 [J]. **计算机应用**, 2005, **25**(3): 598-602.
- [3] 程万胜,赵杰,蔡鹤皋. CCD 像素响应非均匀的 校正方法 [J]. 光学精密工程, 2008, 16(12): 314-318.
- [4] Sergio N T, Jorge E P, Majeed M H. Scene-based Nonuniformity Correction for Focal Plane Arrays by The Method of The Inverse Covariance Form [J]. Applied Optics, 2003, 42(29): 5872–5881.
- [5] Majeed M H, Sergio N T, Ernest A. Statistical Algorithm for Nonuniformity Correction in Focal-plane Arrays [J]. Applied Optics, 1999, 38(8): 772–780.
- [6] 黄庆华. 红外图像处理算法研究 [D]. 西安: 西安科 技大学, 2008.
- [7] James D F, Robert A S. Spatially Variant Contrast Enhancement Using Local Ranger Modification [J]. SPIE, 1983, 2213: 378–381.
- [8] 葛世明,称义民,李杰.基于梯度场的拼接缝消除方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2007,19(2): 227-232.