

基于三阶自相关的图象不变性变换研究

郭东¹ 曹作良² 彭商贤¹

(1. 天津大学智能机械研究所 天津 300072)(2. 天津理工学院 天津 300191)

摘要 二维图象的三阶自相关函数是关于图象信息的全描述,它具有图象平移的不变性和 AGN 噪声不敏感性。本文根据三阶自相关函数两个偏置矢量的分布特征,对偏置矢量所构成的矢量三角形,依据三角形之间的相似性来描述其分布,推导出表征三角形形状类型的三阶自相关函数。通过对该三阶自相关函数幅度变化因子进行对数坐标变换及 FFT 变换,建立了对图象平移、旋转和伸缩变化具有不变性的特征变换集合。仿真实验结果表明,特征变换集合具有三种不变性。

关键词 三阶自相关, 平移、旋转和伸缩不变性, 目标识别

1 引言

机器视觉系统在识别图象时,所应具有的一个重要特性是对图象的平移、旋转及伸缩变换具有不变性。如图1示,所无论被识别图象在视场中作何种平移、旋转多少角度、放大(或缩小)多少倍,都应能被正确地识别。由于在机器视觉中同时实现上述三种不变性的难度较大,因此图象的平移、旋转和伸缩不变性变换研究一直是感知科学和计算机视觉的研究重点。

图象信号的许多变换方法均具有不变性,如图象的直方图就是对图象的平移、旋转具有不变性的二次信号;图象信号的能量谱、圆函数展开、Mellin 变换等,都是基于原始图象灰度值而得到的二次信号,具有一定的不变性。但这些二次信号在取得不变性的同时,也不同程度地丢失了原始图象的几何特征,从而在应用上受到限制。到目前为止,能够较好地实现平移、旋转和伸缩不变性的方法有: M. K. Hu^[1]提出的利用图象灰度分布的阶矩来实现不变性变换,根据图象的二阶、三阶矩导出了7个不变矩组,并证明了矩组对图象平移、旋转和伸缩的变换具有不变性。Casasent^[2]通过傅立叶变换保持图

象平移不变性,对数-极坐标变换实现图象的旋转、伸缩不变性。变换产生的结果不在笛卡尔空间内,且存在相位信息丢失问题。G. H. Ganlund^[3]用表示图象边缘信息的傅立叶描绘子来实现三种不变性,这种方法无法区分具有相同边界的目标。

图象的三种不变性变换可以通过神经网络来实现, C. Von. der Malsburg^[4]根据生物学机理,用标记匹配技术实现图象的三种不变性,方法较为复杂。B. Widrow^[5]提出利用多层神经网络实现三种不变性,网络所需的层数和神经元个数较多,很难实现。G. A. Carpenter^[6]彩用“What-and-Where”前馈神经网络进行图象三种不变性的预处理,从仿真结果来看具有较好的效果,但所需的计算量较大。L. Spirkrovska^[7]认为高阶神经网络(HONNS)适于平移、旋转和伸缩不变性的模式识别,它能够根据图象三种不变性的特点来构造网络结构,在网络训练时间、训练集合的大小、识别精度和抗干扰能力上都有较明显的优势。HONNS 的主要缺陷是输入场的尺寸受到限制。K. Fukushima^[8]根据生物视觉机理,构造了用于三种不变性模式识别的“Neocognitron”神经识别机。该模型的结构复杂,不易于实用。Stavros J. Perantonis^[9]提出了基于图象不变矩理论的神经网络模型,并通过大量的实验验证了方法的可行性。

本文根据二维信号三阶自相关函数的特性,推导出具有平移、旋转和伸缩不变性且对附加噪声不敏感的特征变换集合。通过分析该变换集合的特点,本文对集合进行了化简,以降低换集合的计算量,提高其对目标畸变和附加噪声的坚韧性。

2 图象三阶自相关函数的性质

设 $h(t)$ 为二维确定性连续图象信号, t 为表示图象象素位置的二维矢量, $t = [x, y]^T$, 则它的三阶自相关函数定义为^[10]:

$$h_3(t_1, t_2) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)h(t + t_1)h(t + t_2)dt \quad (1)$$

对于离散图象, 设 $h(t)$ 为能量有限的离散二维图象信号, 图象的尺寸为 $N \times N$. $t \in [0, 1, \dots, N-1] \times [0, 1, \dots, N-1]$, 则三阶自相关函数可定义为^[11]:

$$h_3(t_1, t_2) = \sum_t h(t)h(t + t_1)h(t + t_2) \quad (2)$$

其中, t_1, t_2 为二维矢量, $t_1, t_2 \in [-(N-1), \dots, (N-1)] \times [-(N-1), \dots, (N-1)]$. 三阶自相关函数具有如下基本性质:

2.1 唯一性 图象的一、二阶自相关函数是关于图象信息的不完全描述, 存在信息丢失问题, 不同图象可具有相同的一、二阶自相关函数。三阶自相关函数是图象信息的全描述, 信号 $u(t)$ 与它的三阶自相关函数存在一一对应关系^[12]。因此, 从二维图象域到三阶自相关域的变换不丢失图象信息。

2.2 平移不变性

设两个二维图象信号 $g(t) = h(t + t_0)$, 其中 t_0 为平移变化的二维矢量, 则其三阶自相关函数存在关系 $g_3(t_1, t_2) = h_3(t_1, t_2)$, 说明图象的三阶自相关函数不受图象信号在平面平移的影响^[11]。

2.3 旋转和伸缩性

设两个二维图象信号 $g(t) = h(Mt)$, M 为图象信号的幅度和旋转变化矩阵,

$$M = k \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, k \text{ 为幅度变化因子, 则其三}$$

阶相关函数存在关系: $g_3(t_1, t_2) = h_3(Mt_1, Mt_2)$, 说明对于信号的幅度和旋转变化 M , 两个偏置信号矢量 t_1, t_2 在三阶相关域的变化是相同的。

2.4 AGN 噪声不敏感性^[11]

设 $v(t)$ 为零中值附加高斯噪声或线性对称分布噪声, 则其 $k \geq 3$ 阶自相关函数的数学期望值 $E\{v_k(t_1, t_2)\} = 0$ 。

2.5 傅立叶特性^[10]

设二维图象信号 $h(t)$ 的三阶自相关函数为 $h_3(t_1, t_2)$, 则其傅立叶变换 $H_3(f_1, f_2)$ 与图象信号频谱的关系为: $H_3(f_1, f_2) = H(f_1)H(f_2)H(-f_1 - f_2)$ 。

2.6 卷积特性

二维信号 $h(t), g(t)$ 三阶自相关函数的卷积等于两个二维信号卷积的三阶自相关函数, 即: $C[T(h), T(g)] = T[C(h, g)]$ 。其中, C 表示卷积运算, T 表示三阶自相关运算^[10]

2.7 对称性

二维图象信号的三阶自相关函数及其傅立叶变换具有对称性: $h_3(t_1, t_2) = h_3(t_2, t_1), H_3(f_1, f_2) = H_3(f_2, f_1)$ 。因此, 图象的三阶自相关域及其傅立叶频谱存在冗余信息。

3 图象三种不变性变换集合的表示

根据二维图象信号 $h(t)$ 三阶自相关函数的定

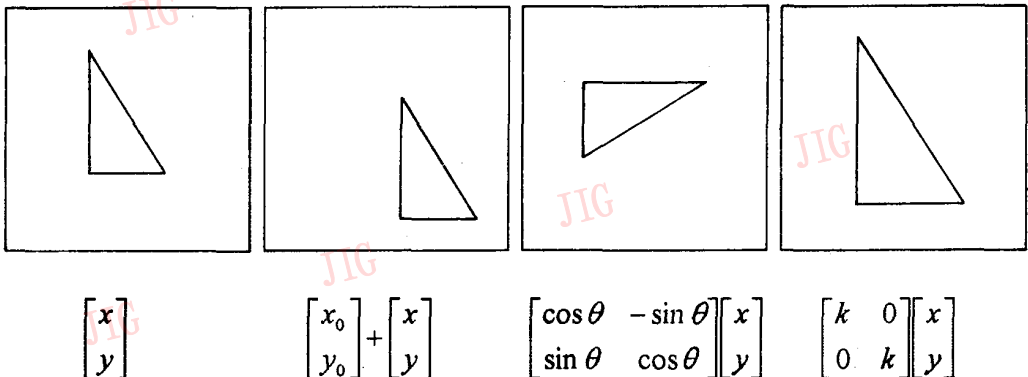


图 1 二维图象的平移、旋转及伸缩变换

Fig. 1 Translation, rotation, and scaling transformations of a binary image

义, $h_3(t_1, t_2)$ 是两个二维偏置矢量 t_1, t_2 的函数。在二维图象域内, 矢量 t_1, t_2 及坐标原点构成了以 t_1, t_2 和原点为顶点的三角形 $\Delta(0, t_1, t_2)$, 如图 2 所示。偏置矢量 t_1, t_2 在二维图象域的分布形成了不同形状的三角形, 因此可以依据三角形之间的相似性对矢量 t_1, t_2 的分布进行聚类。

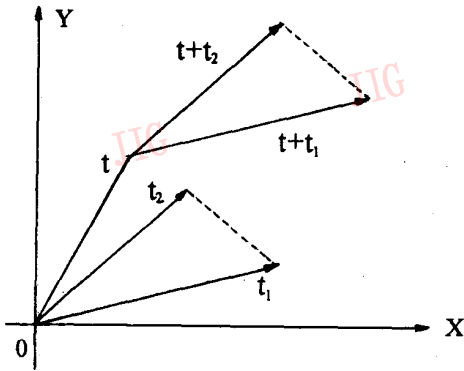


图 2 偏置矢量 t_1, t_2 的分布特征

Fig. 2 The distribution of vector t_1, t_2

在图 3 所示的二维图象域内, 令 t_1^0 为 X 轴方向上的单位矢量, $t_1^0 = [1, 0]^T$, 取 t_2^0 的变化区域为 $t_2^0 x \in [0, 1], t_2^0 y \in [0, \infty]$, 构造所有基本互异的三角形形状类型^[9]。对于三角形 $\Delta Ot_1^0 t_2^0$, 设矢量 t_1^0 和 t_2^0, t_1^0 和 $t_2^0 - t_1^0$, 以及 t_2^0 和 $t_2^0 - t_1^0$ 的夹角分别为 α, β, γ , 并设三个夹角大小顺序为: $\alpha \leq \beta \leq \gamma$, 则 α, β 的变化范围为: $\alpha \in [0, \pi/3], \beta \in [\alpha, \pi - \alpha/2]$, 二维矢量 t_1^0 和 t_2^0 可表示为:

$$t_1^0 = [1, 0]^T,$$

$$t_2^0 = \left[\frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \cos \alpha, \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \sin \alpha \right]^T$$

定义矢量三角形 $\Delta Ot_1^0 t_2^0$ 的形状类型为 $C(t_1^0, t_2^0)$, 与 $\Delta Ot_1^0 t_2^0$ 形状相似的矢量三角形均具有相同的形状类型。如图 3 所示, 任意二维偏置矢量 t_1, t_2 在

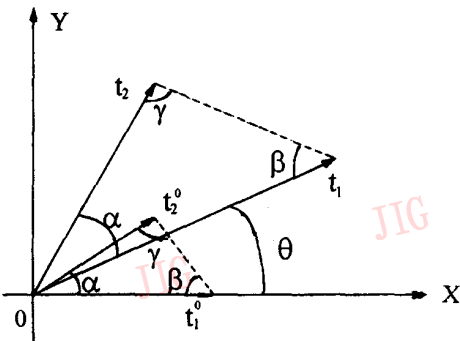


图 3 偏置矢量 t_1, t_2 的三角形表示

Fig. 3 The triangle representation of vector t_2, t_2

二维图象域内形成的矢量三角形 $\Delta Ot_1 t_2$, 可以通过与三角形 $\Delta Ot_1 t_2$ 形状相似的原型三角形 $\Delta Ot_1^0 t_2^0$ 经过平移、旋转和幅度变化来实现, 即:

$$h_3(t_1, t_2) = h_3(Mt_1^0 + t', Mt_2^0 + t') \quad (3)$$

由三阶自相关函数的平移不变性、旋转和伸缩性可得

$$h_3(t_1, t_2) = h_3(Mt_1^0 + t', Mt_2^0 + t') = h_3(Mt_1^0, Mt_2^0) = h_3^c(k, \theta, t_1^0, t_2^0) \quad (4)$$

函数 $h_3^c(k, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 表示偏置矢量具有 $C(t_1^0, t_2^0)$ 类三角形形状特征的三阶自相关函数。对于二维图象信号的平移、旋转和伸缩变化, $h_3^c(k, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 函数所具有的特性为:

设存在二维信号 $g(t) = h(Tt + t^*)$, 其中 t^* 为平移变化的二维矢量, T 为幅度和旋转变化矩阵:

$$t^* = [x^*, y^*]^T, T = l \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}$$

根据三阶自相关函数的平移不变性, 具有 $C(t_1^0, t_2^0)$ 类三角形形状特征的三阶自相关函数为:

$$g_3^c(k, \theta, t_1^0, t_2^0) = h_3(T(Mt_1^0 + t') + t^*, T(Mt_2^0 + t') + t^*) = h_3(TMt_1^0, TMt_2^0) = h_3^c(kl, \theta + \phi, t_1^0, t_2^0) \quad (5)$$

对上式的幅度变化因子 l, k 进行对数变换, 令 $\bar{l} = \ln l, \bar{k} = \ln k$, 则上式可表示为:

$$g_3^c(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0) = h_3^c(\bar{k} + \bar{l}, \theta + \phi, t_1^0, t_2^0) \quad (6)$$

上式表明对于二维图象信号的平移、旋转和伸缩的变化, 具有 $C(t_1^0, t_2^0)$ 类的三角形形状特征的三阶自相关函数在变量空间 \bar{k}, θ 内, 存在空间位置平移的响应。对上式做相对于变量 \bar{k}, θ 的二维傅立叶变换, 根据二维信号傅立叶变换的平移性可得:

$$G_3^c(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0) = H_3^c(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0) \exp[j2\pi(\bar{K}\bar{l} + \Theta\phi)] \quad (7)$$

分析该式可得如下结论:

(1) $G_3^c(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 与 $\bar{U}_3(P, \Phi, \tau_1, \tau_2)$ 的模值相等, 并且当 $\bar{K} = 0, \Theta = 0$ 时, 存在关系 $G_3^c(0, 0, t_1^0, t_2^0) = H_3^c(0, 0, t_1^0, t_2^0)$ 。

(2) 设 $\omega_G(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0), \omega_H(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 分别为 $G_3^c(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 和 $H_3^c(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 的相位角, 则由公式(7)可得两相位角的差值为

$$\Delta\omega = \omega_G(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0) - \omega_H(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0) = 2\pi(\bar{K}\bar{l} + \Theta\phi) \quad (8)$$

由上式可知, 对于二维信号 $g(t) = h(Tt + t^*)$, $G_3^c(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 和 $H_3^c(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 的相位角不相等, 相位角的差值随变量 $\bar{K}, \bar{l}, \Theta, \phi$ 的变化而变化。对于

公式(8)求关于变量 t_1^0, t_2^0 的一阶偏导数, 以及变量 \bar{K}, Θ 的二阶偏导数, 可得:

$$\frac{\partial \Delta \omega}{\partial t_1^0} = \frac{\partial \Delta \omega}{\partial t_2^0} = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 \Delta \omega}{\partial \bar{K}^2} = \frac{\partial^2 \Delta \omega}{\partial \bar{K} \partial \Theta} = \frac{\partial^2 \Delta \omega}{\partial \Theta \partial \bar{K}} = \frac{\partial^2 \Delta \omega}{\partial \Theta^2} = 0 \quad (10)$$

定义矩阵 P_H, Q_H 分别表示相位角 $\omega_H(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 关于变量 \bar{K}, Θ 的二阶偏导数矩阵, 以及变量 t_1^0, t_2^0 的一阶偏导数矩阵:

$$P_H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \omega_H}{\partial \bar{K}^2} & \frac{\partial^2 \omega_H}{\partial \bar{K} \partial \Theta} \\ \frac{\partial^2 \omega_H}{\partial \Theta \partial \bar{K}} & \frac{\partial^2 \omega_H}{\partial \Theta^2} \end{bmatrix}, Q_H = \begin{bmatrix} \frac{\partial \omega_H}{\partial t_1^0} \\ \frac{\partial \omega_H}{\partial t_2^0} \end{bmatrix}$$

则由公式(9)和(10)可得, 对于具有 $g(t) = h(Tt + t^*)$ 关系的二维信号 $g(t), h(t)$, 其相应 $G_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 和 $H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 变换的相位角一、二阶偏导数矩阵存在关系: $P_G = P_H, Q_G = Q_H$. 因此, 对原始图象信号 $u(t)$ 的平移、旋转和幅度变化具有不变性的特征集合, 可以依据 $H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 的模值、 $H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 相位角的一、二阶偏导数矩阵 P_H, Q_H 进行构造。

设 S_h 为一个特征集合, 它对原始图象信号 $h(t)$ 的平移、旋转和幅度变化具有不变性。定义:

$$S_h = \{H_3(0, 0, t_1^0, t_2^0), |H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)|, P_H, Q_H\}, \quad (11)$$

其中, $H_3(0, 0, t_1^0, t_2^0)$ 为 $H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 在 $\bar{K} = 0, \Theta = 0$ 时的实数值, $|H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)|$ 为 $H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 的模值, Q_H, P_H 为 $H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 相位角的一、二阶偏导数矩阵, 其定义如前述所示。

特征集合 S_h , 对原始图象信号 $h(t)$ 的平移、旋转和幅度变化的不变性证明如下:

设在二维图象域内, 存在两个二维图象信号 $h(t), g(t)$, 其中, $g(t) = h(Tt + t^*)$, 则根据特征集合的上述定义, 可推导出信号 $h(t), g(t)$ 的特征集合具有关系: $S_h = S_g$.

若对于二维图象信号 $h(t), g(t)$, 其特征集合满足 $S_h = S_g$, 则由特征集合的定义可得: $\Delta P = P_g - P_h = 0, \Delta Q = Q_g - Q_h = 0$. 由 $\Delta H = 0, \Delta T = 0$, 不失一般性定义 $G_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 和 $H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)$ 的相位角差 ΔA 具有如下形式:

$$\Delta \omega = \bar{k}_0 \bar{K} + \theta_0 \Theta + \omega(t_1^0, t_2^0) \quad (12)$$

上式当 $\bar{K} = 0, \Theta = 0$ 时, $\Delta \omega = \omega(t_1^0, t_2^0)$. 又由于 $H_3(0, 0, t_1^0, t_2^0), G_3(0, 0, t_1^0, t_2^0)$ 均为实数, 且 $G_3(0, 0, t_1^0, t_2^0) = H_3(0, 0, t_1^0, t_2^0)$, 则可推得 $\omega(t_1^0, t_2^0) = 0$, 因此

$$\Delta \omega = \bar{k}_0 \bar{K} + \theta_0 \Theta \quad (13)$$

根据上式及 $|G_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)| = |H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)|$, 由二维傅立叶变换的信号平移特性可得 $g_3^*(\bar{K}, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 为 $h_3(\bar{K}, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 在 \bar{k}, θ 方向上的平移, 即:

$$g_3^*(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0) = h_3(\bar{k} + \bar{l}, \theta + \phi, t_1^0, t_2^0) \quad (14)$$

则由函数 $h_3(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 的性质可知, $g(t)$ 可以由 $h(t)$ 通过旋转(φ)、幅度变化(l)以及平移而产生。

根据上述证明可得如下结论: 在二维图象域内, 两个二维图象信号 $h(t), g(t)$ 的特征集合 S_h 和 S_g 相等, 当且仅当存在 T 和 t^* , 使得 $g(t) = h(Tt + t^*)$.

4 图象三种不变性变换集合的化简

利用特征集合 S_h 和 S_g , 可判定二维信号 $h(t), g(t)$ 间的关系。比较 S_h 和 S_g 集合前三项元素, 可以判定具有 $C(t_1^0, t_2^0)$ 类三角形特性的函数 $g_3^*(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0)$, 是否可由具有相同类型三角形特性的三阶自相关函数 $h_3(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 通过沿 \bar{k}, θ 方向上的平移产生。若 S_h 和 S_g 集合的前三项元素相等, 则 S_h 和 S_g 集合最后一项元素的比较用以保证这种平移对所有的三角形类型都是相同的。在利用特征集合 S_h 进行图象不变性变换时, 一般的方法是将 S_h 的元素离散化, 元素的导数用数字差分近似。但是, 这种方法的计算量很大, 实际应用求出较难实现。因此, 必须考虑对 S_h 集合进行简化, 以获得简单、有效的图象三种不变性变换集合。特征集合化简的方法如下:

在实际的目标识别过程中, 所识别的对象为有限个具有稳定几何特征的目标。在利用特征集合 S_h 和 S_g 判别两个二维信号 $h(t), g(t)$ 的关系时, 集合 S_h 和 S_g 中 $H_3(0, 0, t_1^0, t_2^0), |H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)|$ 和 P_h 元素的相等可保证集合 S_h 和 S_g 相等。基于上述考虑, 可略去特征集合 S_h 中的 Q_h 元素。

根据函数傅立叶变换的性质, $h_3^*(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 傅立叶变换的模值 $|H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)|$ 包含了重建函数 $h_3(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 所需的信息。在一定条件下, 利用 $|H_3(\bar{K}, \Theta, t_1^0, t_2^0)|$ 可重建函数 $h_3(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 。因此, 略去特征集合 S_h 中的 P_h 元素。

三阶自相关函数 $h_3(t_1, t_2)$ 是关于两个二维偏置变量 t_1, t_2 的四维函数, 其计算需在四维空间内完成, 具有较大的计算量。为此, 在计算特征集合 S_h 时, 仅计算集合中的 $H_3(0, 0, t_1^0, t_2^0)$ 元素, 以降低特

征集合 S_h 的计算量。

由前述可知, 矢量 t_1^0, t_2^0 可由三角形 $\Delta O t_1^0 t_2^0$ 的夹角 α, β 表示, α, β 的变化范围分别是 $\alpha \in [0, \pi/3], \beta \in [\alpha, \pi - \alpha/2]$, 从而特征集合可表示为:

$$S_h^* = \{H_3^s(0, 0, \alpha, \beta)\} \quad (15)$$

其中 $\alpha = 0, \dots, N_1 - 1; \beta = 0, \dots, N_2 - 1$, 组成了大小为 $(N_1 \times N_2)$ 的信号场。

根据上述的特征集合 S_h , 实现图象三种不变性变换的算法可构造如下: ① 给定角 α 和 β 的量化等级, 以及变量 \bar{k}, θ 的量化等级; ② 根据给定的量化等级, 离散化 α, β, θ 和 \bar{k} 的取值; ③ 对于 (α, β) 的每对离散取值, 分别计算基于角 α 和 β 的函数 $h_3^s(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0)$; ④ 由变量 \bar{k} 和 θ 的离散取值, 对函数 $h_3^s(\bar{k}, \theta, t_1^0, t_2^0)$ 进行 *FFT* 变换, 计算函数傅立叶变换的 $H_3^s(0, 0, t_1^0, t_2^0)$ 值; ⑤ 根据计算出的 $H_3^s(0, 0, t_1^0, t_2^0)$ 值, 构造图象不变性变换的特征集合 S_h^* 。

5 仿真实验结果

利用实际图象数据, 对特征集合 S_h^* 关于图象的平移、旋转和伸缩所具有的不变性进行仿真实验, 所获得的仿真结果如下:

5.1 标准数字图象的识别

图象数据为 '0' ~ '8' 之间标准数字的二值图象, 二值图象的大小为 (20×20) , 如图 4(a) 所示。取 α 和 β 的量化等级为一度, 则图象不变性变换的信号场大小为 (60×90) , 对该信号场做 (6×6) 的开窗平均处理, 从而减小信号场的大小到 (10×15) 。对于图 3 所示的每个二值图象, 计算其相应的不变性变换集合 S_h^* 。可获得图 4(b) 所示关于二值图象的 S_h^* 分布。从图中可以看出, 各二值图象具有不同的图象

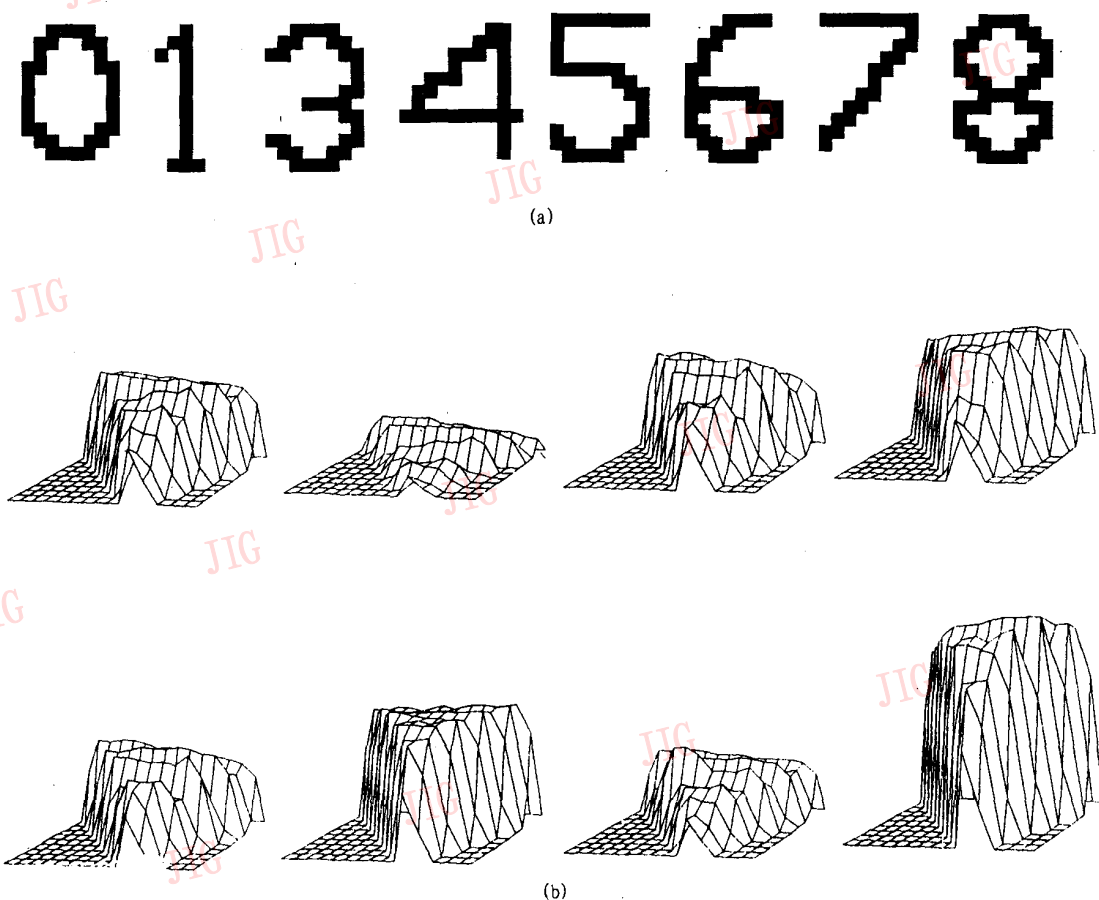


图 4 标准数字的二值图象及其不变性变换集合

Fig. 4 The binary images of typed digits and their invariant representation

不变性变换集合。

5.2 经平移、旋转和伸缩变化的图象识别

以标准数字‘2’的二值图象为例,图5(a)为经过平移、旋转和伸缩变化后的二值图象,图象的不变性变换 S_n^* 分布如图5(b)所示。从 S_n^* 的分布可以看出二值图象经平移、旋转和伸缩变化后的 S_n^* 分布,与原始标准二值图象 S_n^* 的分布相近似,说明 S_n^* 具有关于图象平移、旋转和伸缩变化的不变性。

5.3 噪声不敏感性

以标准数字‘2’的二值图象为例,将图象中的象素值以10%的比例随机取反(0改为1,或反之),所

获得的图象及相应的 S_n^* 分布如图5所示。从图象的 S_n^* 分布可以看出,图象的不变性变换具有噪声不敏感性。(1)二维图象的三阶自相关函数具有唯一性、平移不变性、旋转和伸缩性以及AGN噪声不敏感性,可用于实现图象的平移、旋转和伸缩不变性。

(2)三阶自相关函数的偏置矢量的在二维图象域中的分布构成了不同形状的矢量的三角形,依据三角形之间的相似性对偏置矢量的分布进行聚类,建立基于三角形形状类型的三阶自相关函数,可减小函数的计算量。

(3)对于具有三角形形状类型的三阶自相关函数,通过对其幅度变化因子进行对数变换,使得函数对于二维信号的平移、旋转和伸缩变化在变量空间上具有位置平移的响应,从而可利用FFT变换实现图象的三种不变性。

(4)根据二维图象目标识别的特点,对图象三种不变性变换集合进行化简,以减小集合计算的复杂度。仿真实验结果表明,变换集合对图象的平移、旋转和伸缩变化具有不变性,而且对图象的畸变、附加噪声具有较强的坚韧性。

参考文献

- 1 M. K. HU. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants. IRE Trans. Inform. Theory, 1962, IT-8: 179~187.
- 2 Casasent D. and Psaltis D. Position, Rotation and Scal Invariant Optical Correlation. Applied Optics, 1976, 15(7): 1795~1799.
- 3 G. H. Ganlund. Fourier Preprocessing for Handprint Character Recognition. IEEE Trans., Computer, 1972, C-21, (2): 195~200.
- 4 C. Von der Malsburg. Pattern Recognition by Labelled Graph Matching. Neural Networks, 1988, 1: 141~148.
- 5 B. Widrow. Layered Neural Nets for Pattern Recognition. IEEE Trans. on ASSP, 1988, 36 (7): 1109~1117.
- 6 G. Carpenter and S. Grossberg. A What-and-Where Neural Network for Invariant Image Preprocessing. IJCNN 1992, June (3): 303~308.
- 7 Lilly Spirkovska and Max B. Reid. Higher Order Neural Networks in Position, Scale, and Rotation Invariant Object Recognition. Fast Learning and Invariant Object Recognition,

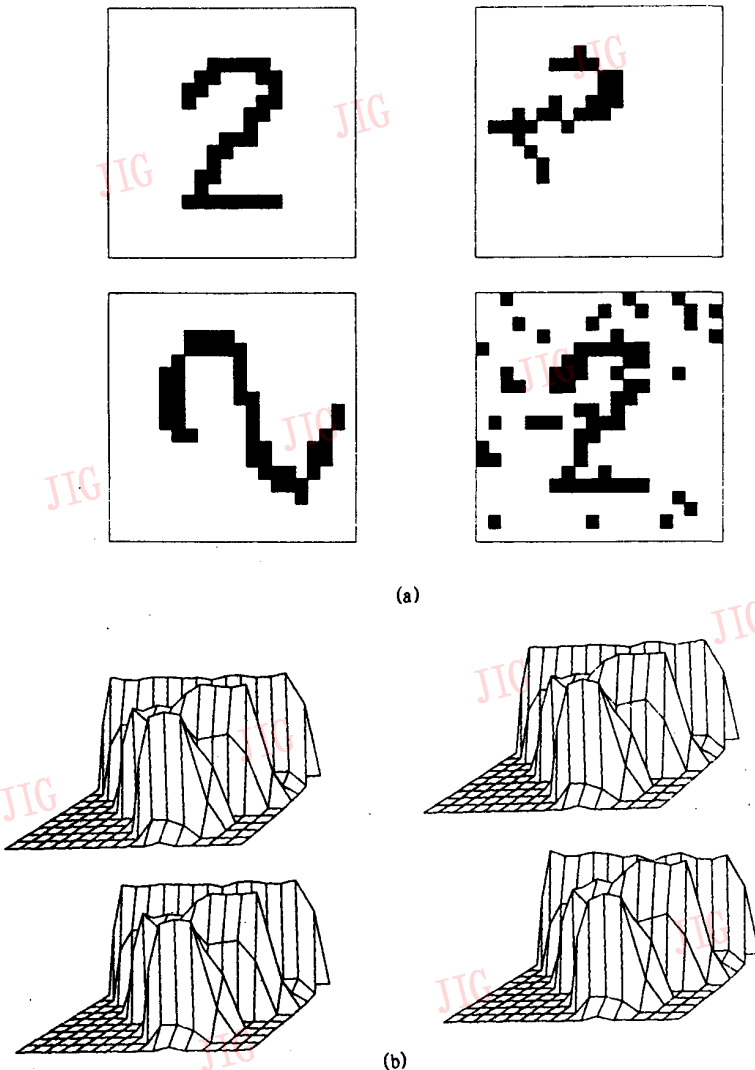


图5 二值图象的平移、旋转、伸缩和噪声样本及其不变性变换
Fig. 5 The translated, rotated, scaled, and noise versions for a binary image, and their invariant representations

- New York, John Wiley, 1992, 153~184.
- 8 K. Fukushima, S. Miyake and T. Ito. Neocognitron: A Neural Model for a Mechanism of Visual Pattern Recognition. *IEEE Trans on Sys. Man and Cyb.*, 1983, 13(5): 826~834.
- 9 Stavros J. Perantonis and Paulo J. G. Lisboa. Translation, Rotation, and Scale Invariant Pattern Recognition by High-Order Neural Network and Moment Classifiers. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 1992, 3(2): 241~251.
- 10 A. W. Lohman and B. Wirtzner. Triple Correlation. *Proc of the IEEE*, 1984, 72: 889~901.
- 11 Michail K. Tsatsanis and Georgios B. Giannakis. Object and Texture Classification Using Higher Order Statistics. *IEEE Trans. on pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992, 14(7): 733~750.
- 12 Thomas H. Reiss. *Recognizing Planar Objects Using Invariant Image Features*, New York, Springer-Verlag, 1993, 11~14.

郭东, 天津大学机械工程系智能机械研究所博士研究生。主要研究方向: 机电自动化、机器人、计算机仿真、神经网络和机器视觉。主要研究成果: 装配作业分析规划、机器人柔性装配系统仿真、基于 ART 神经网络的机器人视觉识别。



Translation, Rotation, and Scale Invariant Image Recognition by Triple Correlation

Guo Dong¹, Cao Zuoliang², Peng Shangxian¹

(1. Intelligent Machine Institute of Tianjin University Tianjin 300072) (2. Tianjin Institute of technology Tianjin 300191)

Abstract The triple correlation of 2-D image is a complete representation of images. It has the properties of translation invariance and insensitivity to AGN. In this paper, according to the similarity among the vector triangles formed by two independent vectors of triple correlation function, the distributions of these two vectors are discussed, so that the triple correlation function based on the triangle form is introduced. The translation-rotation-scale invariant representation is established by logarithmic mapping of the scaling factor, and FFT transforming of this function. The simulation experiment illustrates the translation-rotation-scale invariance of invariant representation.

keywords Triple Correlation, Translation, Rotation and scale invariances, Object recognition

第六届全国多媒体技术学术会议 NCMT'97 征展通知

由中国图象图形学会(多媒体专业委员会)、中国计算机学会(多媒体专业委员会)和香港多媒体与图象计算学会联合主办的第六届全国多媒体技术学术会议将于 1997 年 10 月下旬在西安交通大学召开。届时正值金秋,气候宜人,全国从事计算机多媒体技术研究、开发的学者、专家、研究开发人员、工程技术人员及企业界人士将欢聚一堂,交流最新研究成果,介绍最新产品,共同探讨我国多媒体技术和产业的发展方向。大会将邀请著名专家作专题报告,对多媒体作品进行评选和奖励,并安排国内外从事多媒体产品开发和经营的厂商作产品展示和发布。

此次会议集中了全国多媒体技术的研究、开发人员和重要的应用单位,是有关公司、厂商、研究单位展示和宣传自己产品和研究成果的大好机会。另外,西安是西北地区最大的

政治、经济中心,大学、研究所密集;大型企业众多,其周边还有一些国家的大型工程,是中国内地多媒体技术应用的大市场。作为大会组织者,我们热忱欢迎国内外从事多媒体技术研究和软、硬件产品开发、生产、经营的公司、厂商和研究单位报名参展。

为了做好充分准备,有意参展的公司、厂商和研究单位请来函联系,并于 1997 年 6 月 10 日前寄到如下地址:

西安交通大学电信学院(邮编:710049)

联系人:谈正教授;刘贵忠教授

电话:(029)3268714 (029)3269680(夜间)

第六届全国多媒体技术学术会议组委会

1997 年 1 月 2 日