

文章编号: 0253-2239(2010)01-0147-06

相位一致性和对数 Gabor 滤波器相结合的掌纹识别方法

苑玮琦 范永刚 柯 丽

(沈阳工业大学视觉检测技术研究所, 辽宁 沈阳 110023)

摘要 提出一种具有信息丰富、稳定性强、低分辨率可采集等特征的掌纹纹理识别方法。该方法首先从 6 个方向计算掌纹图像每点的相位一致性, 将该点相位一致性最大值对应的方向作为对数 Gabor 滤波器的方向, 在此方向上用对数 Gabor 滤波器提取相位信息, 并利用实部和虚部进行量化和编码-掌纹相位象限码, 码长为 256 字节。对 100 个手掌类, 共 1000 幅掌纹图像的数据库进行实验, 在给定阈值的情况下, 识别率能达到 99.95% 左右。把实验结果与典型的基于掌纹纹理特征的识别算法进行比较, 表明该方法正确识别率高。

关键词 机器视觉; 生物特征识别; 掌纹识别; 相位一致性; 对数 Gabor 滤波器

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20103001.0147

Palmprints Recognition Method Based on the Phase Consistency Combined with Log-Gabor Filter

Yuan Weiqi Fan Yonggang Ke Li

(Computer Vision Group, Shenyang University of Technology, Shenyang, Liaoning 110023, China)

Abstract A method of recognition of the palmprint texture, with rich information, strong stability, and low resolution collection is proposed. This method first calculates the phase congruence of every point in the palmprint image from 6 directions and sets the direction corresponding to the maximum of phase congruence of every point as the direction of log-Gabor filter, and then at that direction extracts phase information of every point of the image with log-Gabor filter, and further quantifies and codes real and imaginary parts of the phase information. Thus the palmprint phase quadrant code with 256 bytes in length is obtained. Experiments are carried on the database of 1000 images of 100 palms. The result shows that the recognition rate could reach 99.95% at given threshold. Compared with the traditional recognition algorithm based on the palmprint texture feature, this method has higher recognition rate.

Key words machine vision; biometrics recognition; palmprint recognition; phase consistency; log-Gabor filter

1 引 言

掌纹识别作为生物特征识别的一员, 因含有丰富的信息、低分辨率图像采集、采集设备成本低和用户可接受程度高等一系列其他生物特征识别所不具备或不突出的特点而受到越来越多研究单位的关注。

到目前为止, 大多数的掌纹识别研究都集中在

掌纹识别算法上。归纳起来, 掌纹识别算法主要可分为 3 类: 1) 基于掌纹结构特征的识别算法^[1,2], 2) 基于图像变换的识别方法^[3,4], 3) 基于掌纹纹理特征的识别方法^[5,6]。在现有的掌纹识别方法中, 香港理工大学的张大鹏教授领导的团队在基于掌纹纹理特征的识别方法中利用 Gabor 小波提取掌纹的频域相位信息^[5~9], 取得了很好的效果, 已经建立

收稿日期: 2009-05-13; 收到修改稿日期: 2009-10-15

基金项目: 国家自然科学基金(60972123)资助课题。

作者简介: 苑玮琦(1960—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事计算机视觉检测技术、生物特征识别技术、图像处理与模式识别、图像采集与处理系统的研究。E-mail: yuan60@126.com

了世界上第一套掌纹识别系统^[7],并且已经成为目前掌纹识别的主流算法。本文利用不受光照影响的相位一致性和符合人类视觉系统认知特性的对数 Gabor(log-Gabor)滤波器相结合的方法来提取掌纹的相位信息,并对其量化及编码进行掌纹识别。

该方法首先从 6 个方向上计算掌纹图像每点的相位一致性,则每点会有 6 个不等的相位一致性的值。值越大的方向对应的边缘强度越大,把该方向作为 log-Gabor 滤波器的方向。之后用 log-Gabor 滤波器在此方向进行滤波,把滤波后得到的相位信息量化为 4 个象限,并对其编制掌纹相位象限码(Palmprint phase quadrant code, PPQC)。最后用标准的 Hamming 距离来衡量两张图像是否来自同一个手掌。

2 相位一致性的基本原理

相位一致性是一种特征点检测方法,它是利用图像信号在特征点处的傅里叶分量具有最大的相位一致性的特征进行特征点的检测。例如,方波展开为傅里叶级数时,所有的傅里叶分量都是正弦波,如图 1(a)所示。在阶跃点同相,相位为 90° 和 270° ,这取决于阶跃是上升沿还是下降沿。三角波与此相似,三角波的顶点处相位一致,相位为 0° 和 180° ,如图 1(b)。而在其他点的相位分量都是不同的,使相位一致的程度变低。

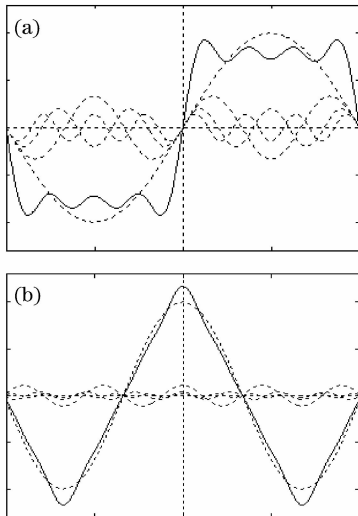


图 1 由傅里叶级数构造的方波和三角波
Fig. 1 Construction of square and triangular waveforms from their Fourier series

相位一致性首先在文献^[10]中用傅里叶级数给出定义。在某个信号的 x 处相位一致性函数定义为

$$P(x) = \max_{\phi(x) \in [0, 2\pi]} \frac{\sum_n A_n \cos[\phi_n(x) - \bar{\phi}(x)]}{\sum_n A_n}, \quad (1)$$

其中 $\bar{\phi}(x)$ 是 x 点傅里叶级数加权平均局部相位角, A_n 是第 n 级傅里叶级数成分的振幅, $\phi(x)$ 是 x 处傅里叶成分的局部相位,几何意义如图 2 所示。

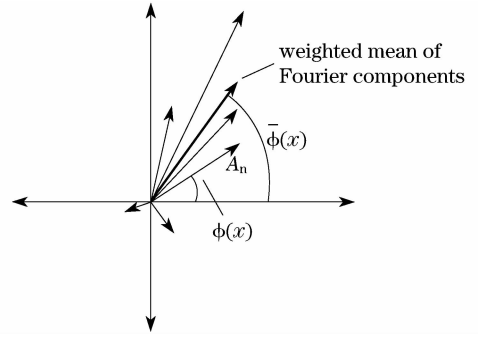


图 2 在信号 x 点的傅里叶级数成分的极坐标表示

Fig. 2 Polar diagram of the components of a Fourier series at x point in a signal

后来, Venkatesh 和 Owens^[11]证明在信号 x 处的局部能量 $E(x)$ 和相位一致性成正比例的关系:

$$E(x) = P(x) \sum_n A_n. \quad (2)$$

由(1)和(2)式可以得出相位一致性与图像的振幅的总和无关。这说明图像的相位一致性不受图像的光照和对比度的影响。

3 提取掌纹识别的匹配区域

掌纹图像在获取时不仅仅只含有掌纹有效区域,一般还会包含手指和背景甚至还包含手腕等与掌纹无关区域。所以需要对手掌图像进行预处理。提取出实验需要的感兴趣区域。并且通过定位和感兴趣区域的提取过程,消除了匹配算法中的平移和旋转的影响,实现算法的平移、旋转不变性。

图像预处理步骤如下:(1) 图像二值化。由于本文所用的掌纹图像在获取时手掌和背景区域的灰度相差很大[图 3(a)],用低通滤波器对图像直接滤波,直接设定阈值就可以。(2) 边缘提取。利用二值形态学膨胀算法和边缘跟踪相结合的方法,提取边缘后的图像如图 3(b)。(3) 确定角点并形成直角坐标系。确定角点 A、B 如图 3(c)。利用 \overline{AB} 所在直线为 Y 轴, \overline{AB} 的垂直平分线为 X 轴。(4) 提取感兴趣区域。利用上面的直角坐标系选择掌纹的中心 $128 \text{ pixel} \times 128 \text{ pixel}$ 的区域为感兴趣区域。图 3(d)为提取后用于匹配实验的图像。

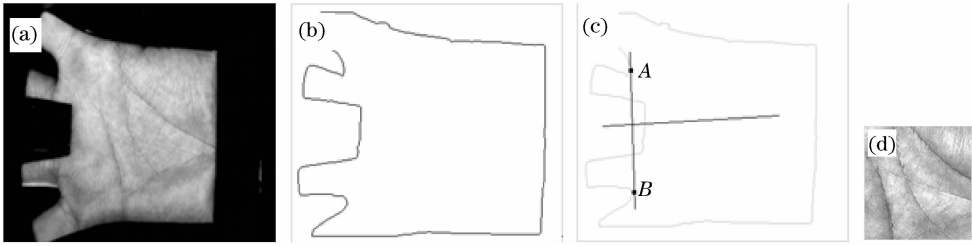


图 3 提取掌纹图像匹配区域的过程

Fig. 3 Process of extracting palmprints image matching region

4 掌纹图像每点方向的计算

目前,在利用滤波器提取掌纹图像的相位的算法中,由于滤波器带有方向性,一般都是采用模最大的方向所对应的实部和虚部作为当前点的方向,而本文是采用相位一致性最大的方向对应的实部和虚部来对当前点的相位进行编码。

4.1 相位一致性的计算

Reter Kovesi^[12]研究了相位一致性的计算方法,并把相位一致性扩展到 2 维空间中,图像 (x, y) 点处方向为 o 的相位一致性为

$$P_o(x, y) = \frac{\sum_s A_{os}(x, y) [\Delta\Phi_{os}(x, y) - T]}{\sum_s A_{os}(x, y) + \epsilon}, \quad (3)$$

其中 ϵ 是一个正的常量,用来防止分母为零,值为 0.001。 T 是噪声能量,假设噪声符合瑞利分布,则噪声能量为

$$T = \mu_R + K\sigma_R, \quad (4)$$

其中 μ_R 是瑞利分布的均值, K 为一个常数(取 2.0)。 σ_R 是瑞利分布的方差。具体噪声的估计的细节可以参考文献^[13]。

设 M_{so}^{even} 和 M_{so}^{odd} 代表偶、奇对称尺度为 s 方向为 o 的滤波器。 $e_{so}(x, y)$ 代表图像 $I(x, y)$ 与偶对称滤波器卷积的结果, $N_{so}(x, y)$ 代表图像 $I(x, y)$ 与奇滤波器卷积的结果,即

$$[e_{so}(x, y), N_{so}(x, y)] = [I(x, y) * M_{so}^{\text{even}}, I(x, y) * M_{so}^{\text{odd}}]. \quad (5)$$

那么尺度为 s 、方向为 o 的振幅和相位可以通过下面两个公式得到

$$A_{so} = \sqrt{e_{so}(x, y)^2 + N_{so}(x, y)^2}, \quad (6)$$

$$\phi_{so}(x, y) = \arctan[N_{so}(x, y)/e_{so}(x, y)]. \quad (7)$$

$\bar{\phi}_o(x, y)$ 表示方向为 o 的加权平均相位角,计算如下:

$$[\bar{\phi}_o^{\text{even}}(x, y), \bar{\phi}_o^{\text{odd}}(x, y)] =$$

$$\frac{[\sum_s e_{so}(x, y) \cdot \sum_s N_{so}(x, y)]}{\sqrt{[\sum_s e_{so}(x, y)]^2 + [\sum_s N_{so}(x, y)]^2}}, \quad (8)$$

那么,

$$\Delta\Phi_{so}(x, y) = \cos[\phi_{so}(x, y) - \bar{\phi}_o(x, y)] - |\sin[\phi_{so}(x, y) - \bar{\phi}_o(x, y)]|. \quad (9)$$

$$A_{so}(x, y) \Delta\Phi_{so}(x, y) = [e_{so}(x, y) \bar{\phi}_o^{\text{even}}(x, y) + N_{so}(x, y) \bar{\phi}_o^{\text{odd}}(x, y)] - |e_{so}(x, y) \bar{\phi}_o^{\text{odd}} + N_{so}(x, y) \bar{\phi}_o^{\text{even}}(x, y)|. \quad (10)$$

计算(4)~(10)式,将结果代入到(3)式中就可以计算每点每个方向的相位一致性的值 $P_o(x, y)$ 。那么图像 (x, y) 点的方向 $Or(x, y)$ 为

$$Or(x, y) = \arg \max_{o=1, \dots, N} [P_o(x, y)], \quad (11)$$

其中 $N=6$ 为方向个数。

4.2 相位一致性与滤波器模之间的关系

相位一致性由第 2 节介绍可以知道,它的值是一个比值,是不同频率段的滤波器滤波后实部和虚部的矢量和(即能量)与对应的模的和之比。而滤波器的模仅仅是某个频率段的某个滤波器滤波后的模。两者之间的关系可以结合图 2 和图 4 来理解。滤波器的模就是图 4 中某个向量的长度,而相位一致性则为 $P(x) = E(x) / \sum_n A_n$ 。相位一致性结合了更多的频率信息,比滤波器的模更能体现图像纹理信息。在第 6 节的实验中对两种方法确定滤波器方向的方法进行了实验。

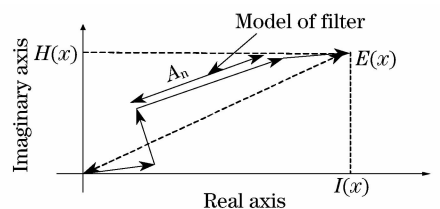


图 4 相位一致性与滤波器模的关系

Fig. 4 Relation between phase congruence and moded of filter

5 掌纹相位象限码的提取

log-Gabor 滤波器的转移函数为

$$G(\omega) = \exp\{-[\lg(\omega/\omega_0)]^2/2[\lg(k/\omega_0)]^2\}, \quad (12)$$

其中 ω_0 是滤波器的中心频率。为了使滤波器的形状不随着中心频率 ω_0 的变化而改变, k/ω_0 必须是一个恒定的值, 它的取值控制着滤波器的带宽。

5.1 log-Gabor 滤波器的设计

构造二维的 log-Gabor 滤波器时, 由于对数函数在原点的奇异性, 所以只能在频域中设计。设计时, 频率方向是线性的一维 log-Gabor 滤波器, 在角度方向采用的是高斯函数来拓展使其成为二维函数。则在 θ 方向上中心频率为 ω 的滤波器为

$$\text{filter}_{\omega} = G(\omega) \cdot * G(\theta), \quad (13)$$

其中 $G(\theta)$ 是角度方向的高斯函数。‘ $*$ ’是频域里的点乘符号。

将频率域中的 log-Gabor 滤波器变换到空间域中的形状如图 5 所示。

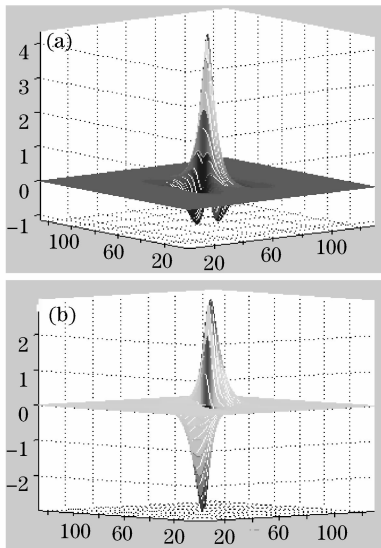


图 5 空间域中(a)实部和(b)虚部的 2D log-Gabor 滤波器

Fig. 5 (a) real and (b) imaginary part of the 2D log-Gabor filter in space domain

5.2 提取相位象限码

在图像 (x, y) 点的方向为 $Or(x, y)$ 上, 利用 log-Gabor 滤波器对图像每点进行滤波。滤波后 (x, y) 点的实部和虚部分别用 $\text{Re}(x, y)$ 和 $\text{Im}(x, y)$ 表示, 则可以形成掌纹相位象限码 (PPQC), 则 (x, y) 点的 PPQC 码为

$$PPQC = 0 \quad \text{Re}(x, y) < 0 \text{ and } \text{Im}(x, y) < 0 \quad (14)$$

$$PPQC = 1 \quad \text{Re}(x, y) > 0 \text{ and } \text{Im}(x, y) < 0 \quad (15)$$

$$PPQC = 2 \quad \text{Re}(x, y) < 0 \text{ and } \text{Im}(x, y) > 0 \quad (16)$$

$$PPQC = 3 \quad \text{Re}(x, y) > 0 \text{ and } \text{Im}(x, y) > 0 \quad (17)$$

图 6 给出了 PPQC 的几个例子。

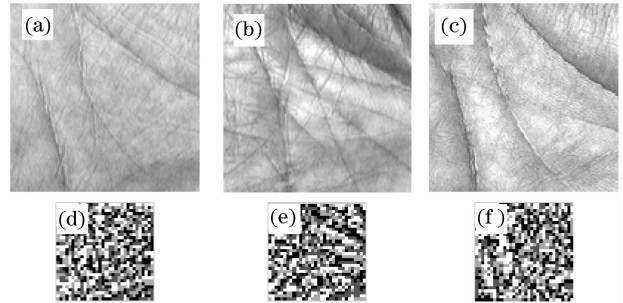


图 6 PPQC 的例子, 其中(a)-(c)原图像、(d)-(f)PPQC

Fig. 6 PPQC example, (a) - (c) the original image, (d) - (f) PPQC

事实上, log-Gabor 滤波器是有一系列参数的如, ω_0 、 k/ω_0 。第 6 节对表 1 中的每种参数都进行实验, 实验结果表明第 8 组参数更适合于掌纹识别。

表 1 9 个滤波器的参数

Table 1 Parameters of the 9 filters

No.	ω_0	k/ω_0
1	0.1667	0.41
2	0.1667	0.55
3	0.1667	0.74
4	0.0833	0.41
5	0.0833	0.55
6	0.0833	0.74
7	0.0417	0.41
8	0.0417	0.55
9	0.0417	0.74

6 匹配实验

采用规范的 Hamming 距离来衡量特征的相似性的。 C_1 和 C_2 代表两个图像的特征编码, 为了进一步消除平移的影响, 对其中一个 PPQC 码在水平和竖直方向上进行 $-T$ 到 T ($T=2$) 个像素的平移, 然后把各个位置上距离最小的作为最终距离。则两个图像的距离为

$$D(C_1, C_2) = \min_{-T \leq t \leq T} \frac{\sum_{y=T}^{N-T} \sum_{x=T}^{N-T} C_1(x+t+T+1, y+t+T+1) \otimes C_2(x, y)}{(N-2T)(N-2T)}, \quad (16)$$

式中“ \otimes ”是逻辑“异或”操作, $A \otimes B = 1$ 当且仅当 $A \neq B$ 时, 否则 $A \otimes B = 0$ 。

显然, $D(C1, C2)$ 的值在 0 和 1 之间, 值越大, $C1$ 和 $C2$ 的相似性越低。当两个 $PPQC$ 完全匹配时, 该距离为 0。本文没有将所有点都用来计算, 通过实验可以表明只需要在 $(4i, 4j)$ ($i = 1, 2, \dots, 32; j = 1, 2, \dots, 32$) 上的像素进行计算 $PPQC$ 就可以。

对表 1 中 9 种参数进行实验, 选取 100 类掌纹图像, 每类 10 幅图像。每两幅都进行匹配, 如果两

幅图像是来自同一类掌纹的则认为是正确匹配, 否则认为是错误匹配。总共匹配次数是 499500 次。4500 是正确匹配, 其他的是错误匹配。

图 7 是由不同阈值下错误拒绝率(false reject rate, FRR)和错误接受率(false accept rate, FAR)组成二维坐标系中的一系列点(FRR, FAR), 并将这些点在坐标系中画成曲线, 称之为 ROC (receiver operating characteristic)。则通过图 7 可以看出滤波器 8 所对应的参数对当前图像库中的图像的分类效果最好。等误

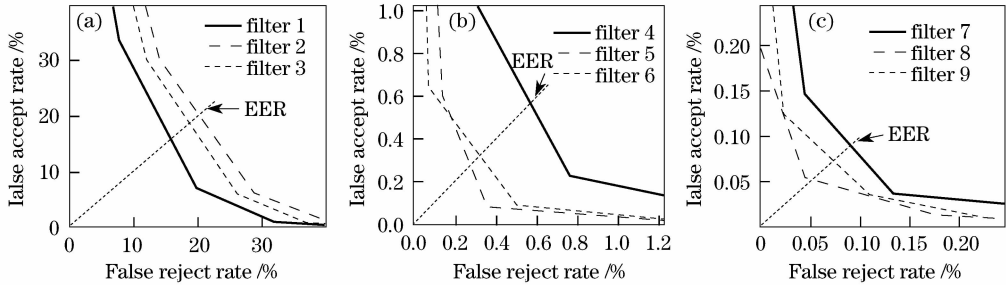


图 7 确认实验结果:(a)–(c)分别是 1–9 滤波器实验的 ROC 曲线

Fig. 7 Verification test results:(a)–(c)the ROC curves of 1–9 filter respectively

率(equal error rate, EER)大约在 0.05%。

为了进行比较, 图 8 也给出了 FusionCode^[6]方法和用滤波器模最大对应的实部和虚部进行识别的方法(利用与 FusionCode 相同的分类方法以及 filter8 相同的参数)在相同数据库上测试所得到的 ROC 曲线。表 2 中列出了这些方法的等误率(EER)和存储量。

表 2 不同方法的性能比较

Table 2 Comparing the performance of different methods

Method	PPQC(this)	FusionCode	Mode of filter
EER / %	0.05	0.09	0.2
Storage(byte)	256	256	256

器相结合的方法。在利用相位一致性确定的方向上用 log-Gabor 滤波器来进行滤波, 并对实部和虚部确定的相位信息进行量化及相位象限的编码, 把此方法在 100 类共 1000 幅图像样本的数据库上进行的实验结果表明该方法具有 99.95% 的正确识别率, 并且码长为 256 字节。从实验的结果以及存储量来看, 此方法具有很高的实用性。而通过图像的预处理和平移匹配的操作, 使本算法具有平移、旋转等不变性。

致谢 感谢香港理工大学 2003 年在网上发布的掌纹图像标准库, 使本文实验得以顺利完成。

参 考 文 献

- 1 C. Han, H. Chen, C. Lin *et al.*. Personal authentication using palm-print features [J]. *Pattern Recognition*, 2003, **36** (2): 371~381
- 2 A. Kumar, D. Wong, H. Shen *et al.*. Personal Verification using Palmprint and Hand Geometry Biometric [C]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2003, **2688**:668~678
- 3 G. Lu, D. Zhang, K. Wang. Palmprint recognition using eigenpalms features[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, **24**: 1473~1477
- 4 L. Zhang, D. Zhang. Characterization of palmprints by wavelet signatures via directional context modeling[J]. *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, 2004, **34** (3):1335~1347
- 5 W. Kong, D. Zhang. Frature-level fusion for effective palmprint authentication [C]. *Proc. of the International Conference on Biometric Authentication, Lecture Notes in Computer Science*, 2004:761~767

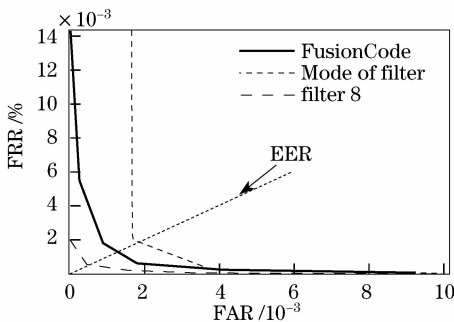


图 8 不同方法的 ROC 曲线

Fig. 8 ROC curves of different methods

7 结 论

本文提出的利用相位一致性与 log-Gabor 滤波

- 6 W. Kong, D. Zhang, M. Kame. Palmprint identification using feature-level fusion [J]. *Pattern Recognition*, 2006, **39** (3): 478~487
- 7 D. Zhang, W. Kong, J. You *et al.*. Online palmprint identification[J]. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25**(9):1041~1050
- 8 W. Kong, D. Zhang, W. Li. Palmprint feature extraction using 2-D Gabor filters[J]. *Pattern Recognition*, 2003, **36**:2339~2347
- 9 W. Kong, D. Zhang. Palmprint texture analysis based on low-resolution images for personal authentication[C]. *Proc. of the 16th IEEE International Conference on Pattern Recognition*, 2002:807~810
- 10 M. C. Morrone, D. C. Burr. Feature detection in human vision: A phase dependent energy model [C]. *Proc. of the Royal Society*, 1988, **235**:221~245
- 11 S. Venkatesh and R. A. Owens. An energy feature detection scheme[C]. *The International Conference on Image Processing*, 1989, 553~557
- 12 P. D. Kovesi. Invariant measures of image features from phase information[D]. *University of Western Australia*, 1996
- 13 Peter Kovesi. Image features from phase congruency[J]. *J. Computer Vision Research*, 1999, **1**(3):