

# 基于相位一致的多尺度金字塔图像特征提取

黄蕾, 邹海

(安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230601)

**摘要:** 图像特征提取是数字图像处理与模式识别领域中的关键问题, 各种特征提取方法层出不穷。相位一致图像特征提取方法是基于局部相位信息进行图像特征提取, 具有亮度和对比度不变性的优点, 但是在轮廓特征提取方面存在缺陷。考虑到多分辨率、多尺度对图像特征提取的影响, 提出一种基于相位一致的多尺度金字塔图像特征提取算法, 新算法的关键在于拉普拉斯金字塔的分解和多尺度特征图像的融合。实验结果表明, 该算法在提取图像轮廓特征方面要优于传统的相位一致图像特征提取算法。

**关键词:** 特征提取; 相位一致; 多分辨; 多尺度金字塔

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2015)03-0036-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2015.03.009

## Image Feature Extraction Algorithm of Multi-scale Pyramid Based on Phase Congruency

HUANG Lei, ZOU Hai

(College of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** Image feature extraction is the key issue in the field of digital image processing and pattern recognition. The feature extraction methods are emerging in endlessly. Phase congruency image feature extraction method is based on local phase information for feature extraction, which has advantage of brightness and contrast invariance, but there are still insufficient for contour feature extraction. In order to fully consider the influence of multi-resolution, multi-scale image, present a feature extraction algorithm of multi-scale pyramid based on the phase congruency. The key is Laplacian pyramid decomposition and multi-scale feature fusion. The experimental results show that the new algorithm is superior to phase congruency image feature extraction algorithm in the contour of image feature extracting.

**Key words:** feature extraction; phase congruency; multi-resolution; multi-scale pyramid

## 0 引言

图像特征提取是数字图像处理和模式识别的重要组成部分, 目前被广泛应用于人脸识别<sup>[1-2]</sup>、遥感图像处理<sup>[3]</sup>、图像质量评价<sup>[4]</sup>等领域。目前关于传统图像特征提取算法<sup>[5-7]</sup>如 Sobel 算子、Robert 算子、Canny 算子等, 它们主要基于亮度梯度, 容易受亮度和对比度的影响<sup>[8]</sup>。近年来, 许多研究成果表明, 图像的相位信息比幅度信息包含更重要的信息, Morrone<sup>[9]</sup>等提出相位一致特征提取算法。

文中提出的基于相位一致的多尺度金字塔图像特征提取方法保留了相位一致算法所具有的亮度和对比度不变性优点, 同时运用多尺度金字塔特征图, 该方法提取轮廓特征效果突出。

## 1 相位一致性

### 1.1 相位一致性原理

相位一致基本原理是: 人类视觉感知的图像特征出现在图像傅里叶谐波分量叠合最大的相位处。并通过实验和理论证明相位一致与人类视觉系统对图像特征的认知相符合<sup>[7]</sup>。

相位一致图像特征提取算法是将图像信号的傅里叶分量相位一致的点作为图像特征点。如图 1 所示, 图中方波使用傅里叶级数表示, 其所有的傅里叶谐波分量都是正弦波, 在圆圈标注范围内, 每个正弦分量都相交于一点, 且相位一致, 而其他点的相位都因正弦分量的上下波动而改变。利用相位一致提取图像特征时, 不需对波形进行任何假设, 只要在傅里叶变换域内

简单地按照相位一致的顺序寻找特征点即可。

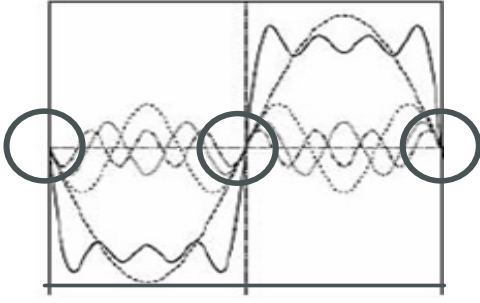


图1 方波的傅里叶级数表示

对于一维信号  $I(x)$ , 它的傅里叶展开式为:

$$I(x) = \sum_n A_n \cos(n\omega x + \varphi_n) = \sum_n A_n \cos \varphi_n(x) \quad (1)$$

其中,  $A_n$  是尺度  $n$  上第  $n$  次谐波分量的幅度值;  $\omega$  是一个常数, 通常取  $\omega = 2\pi$ ;  $\varphi_n$  是第  $n$  个谐波分量的相位偏移量; 函数  $\varphi_n(x)$  是在点  $x$  处傅里叶变换分量的局部相位值。

Morrone 等定义的一维信号相位一致性函数为:

$$PC(x) = \max_{\varphi(x) \in [0, 2\pi]} \frac{\sum_n A_n \cos(\varphi_n(x) - \varphi(x))}{\sum_n A_n} \quad (2)$$

其中,  $\varphi(x)$  是使上式在取最大值时, 有傅里叶谐波分量的局部相位的加权平均。频率分量在实际相位  $\varphi_n(x)$  与加权平均相位  $\varphi(x)$  之差的余弦大致等于 1 减去该差值平方的一半(当  $x$  取很小时,  $\cos x$  的泰勒展开式约等于  $1 - (x^2/2)$ )。由此可以看出, 相位一致最大点即为加权平均相位差异点相位值最小的点。

文中选用 Koves<sup>[10]</sup> 改进的滤波器, 采用 Log-Gabor 小波<sup>[11]</sup> 的相位一致模型, 同时考虑了频率扩展和噪声估计对特征提取的影响, 其相位一致表达式为:

$$PC(x) = \frac{\sum_o \sum_n \omega(x) [A_{no} \Delta' \varphi_n(x) - T]}{\sum_o \sum_n A_{no}(x) + \varepsilon} \quad (3)$$

$$\Delta' \varphi_n(x) = \cos(\varphi_n(x) - \varphi(x)) - |\sin(\varphi_n(x) - \varphi(x))| \quad (4)$$

其中,  $o$  表示滤波器的方向,  $n$  表示滤波器的尺度, 某一点的局部频率信息通过 Log-Gabor 滤波器在多尺度和多方向上计算获得;  $\omega(x)$  是频率扩展的权重函数, 通过扩展信号频率范围提高相位一致的显著性;  $T$  为噪声估计, 只有当局部能量大于  $T$  时才用来计算相位一致;  $\varepsilon$  为避免分母为零而引入的一个很小的常量; 改进的相位偏离函数  $\Delta' \varphi_n(x)$  比余弦函数具有更尖锐的尖峰, 同时定位也更加精确。

相位一致是一个无量纲的量, 取值在 0 到 1 范围内, 可以通过局部能量函数的傅里叶分量幅度和归一化得到。相位一致值越高, 表示该点相位一致程度越高, 该处作为相位一致特征点的性质越显著。

## 1.2 相位一致存在的问题

相位一致作为一个无量纲的量, 其最大的优点在于其不受亮度和对比度变化的影响。然而基于单一尺度的相位一致图像特征提取难以兼顾特征提取和噪声抑制, 需从多尺度进行考虑。虽然相位一致图像特征提取算法中考虑了多尺度的重要性, 即 Log-Gabor 小波中运用到多尺度, 但它其实是利用滤波器的尺度变化对同一尺度图像进行处理以计算图像的局部频率, 仍不够全面。

文中提出了一种基于相位一致的多尺度金字塔算法, 它不仅继承了相位一致图像特征提取方法的优势, 又能避免单一尺度相位一致图像特征提取无法完整提取图像特征的不足。

## 2 基于相位一致的多尺度金字塔特征提取

图像处理中的多尺度金字塔算法<sup>[12]</sup> 最早是由 Burt 等<sup>[13]</sup> 提出的, 是一种多分辨率、多尺度方法。采用多尺度图像提取特征, 小尺度图像有利于细节特征定位, 但对噪声敏感; 大尺度图像有利于提取轮廓特征、抑制噪声能力强, 但细节特征定位精度差, 甚至丢掉细节特征<sup>[14]</sup>。

文中提出一种基于相位一致的多尺度金字塔特征提取算法, 其基本思想是: 利用拉普拉斯金字塔 (LP) 建立多分辨率金字塔模型, 完成多尺度金字塔表示, 对金字塔中的每层图像利用相位一致算法提取特征, 最后利用多尺度融合算法将多尺度相位一致金字塔中的图像自上而下融合得到原始图像相位一致特征图。该算法的关键在于图像多尺度金字塔的分解及融合。

### 2.1 拉普拉斯金字塔分解

拉普拉斯金字塔分解, 是将原图像分解到不同空间尺度上的图像分解方法。拉普拉斯金字塔构成是在高斯金字塔的基础上演变而来的, 构建拉普拉斯金字塔的基本步骤是:

(1) 首先假设原图像为  $G_0$ , 并将其作为高斯金字塔的第零层(底层);

(2) 对原图像通过高斯低通滤波器  $G$  进行滤波和隔行隔列的下采样得到的低通图像即为高斯金字塔的第一层  $G_1$ ;

(3) 将  $G_1$  经过上采样和带通滤波器  $H$  进行插值膨胀、滤波得到  $G_1$ , 并计算它和原图像的差值, 得到带通分量即拉普拉斯金字塔的第零层  $LP_1$ 。其中, 低通滤波器  $G$  和带通滤波器  $H$  为归一化滤波器, 具有对称性;

(4) 下一级分解是在得到的低通高斯金字塔图像上进行, 迭代完成多尺度分解。迭代过程可用公式表示:

$$G_l(i, j) = \sum G(m, n) G_{l-1}(2i + m, 2j + n) \quad (5)$$

$$G_l(i, j) = 4 \sum H(m, n) G_l(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}) \quad (6)$$

$$LP(i, j) = G_{l-1}(i, j) - G_l(i, j) \quad (7)$$

式中

$$G_l(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}) = \begin{cases} G_l(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}), G_l(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}) \text{ 为整数时} \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $l$  为高斯金字塔  $G$  和拉普拉斯金字塔  $LP$  分解的层数;  $i$  和  $j$  表示金字塔第  $l$  层的行数和列数。

由  $G_0, G_1, \dots, G_n$  构成的金字塔即为高斯金字塔, 由  $LP_1, LP_2, \dots, LP_n$  构成的金字塔即为拉普拉斯金字塔。由于高斯金字塔的当前层图像是对其前一层图像先进行高斯低通滤波, 再经过隔行隔列的下采样得到, 因此高斯金字塔当前层图像的大小是其前一层图像大小的四分之一, 又拉普拉斯金字塔每一层图像都是高斯金字塔本层与其前一层经过插值放大的差得到的, 其当前层图像的大小也是前一层图像大小的四分之一。

## 2.2 多尺度金字塔的相位一致图像特征融合

边缘检测的困难之处在于图像空间尺度的不确定性。拉普拉斯金字塔分解把图像分解成不同尺度的图像子集, 每个尺度图像都提供了一定特征信息。不同特征在各个尺度表现的都不同, 精细的图像细节特征可以在小尺度的图像中检测出来, 而大尺度的图像不能反映图像细节特征; 斜坡边缘特征在小尺度处的过零点两边的灰度相差较小, 有时难以被检测出来, 但在大尺度图像中表现为近似越阶边缘特征, 可以被检测出来。因此, 如何发挥各尺度的优势, 把各尺度相位一致图像特征融合起来, 得到精确定位的特征的方法尤为重要。

多尺度相位一致图像的融合并不是将不同尺度下的相位一致特征点简单相加<sup>[15]</sup>, 因为不同尺度的相位一致特征提取算法对同一特征的响应并不相同。大尺度相位一致图像对应图像的轮廓特征, 抗噪性能好, 但定位精度差; 小尺度相位一致图像保存了图像的细节特征, 特征定位精度高, 但容易受到噪声的干扰。另外, 不同尺度相位一致图像大小不同, 因此简单地将不同尺度特征相加会造成冗余, 而且也没有抑制噪声。

由于相邻两个尺度特征位置接近, 并且在二进制尺度下相差一个像素, 因此多尺度相位一致图像的融合应该在相邻尺度间进行。首先在大尺度相位一致图像中提取轮廓特征, 再在小尺度相位一致图像的对应位置的邻域内搜索特征点, 得到这些特征点的精确定

位, 对于那些在大尺度下存在而在小尺度下不存在的特征点, 需要保留下来。这样由粗到细地跟踪图像特征, 可以获得高精度的特征定位, 并抑制噪声。具体步骤如下:

(1) 搜索尺度  $n$  的相位一致特征图, 得到相位一致特征点的初始位置  $(x_0, y_0)$ ;

(2) 在尺度  $n-1$  的相位一致特征图中, 在  $(x_0, y_0)$  的  $3 \times 3$  邻域内搜寻相位一致特征点。若有特征点, 位置为  $(x, y)$ , 则融合相位一致特征图中  $(x, y)$  处为特征点; 若没有, 则保留;

(3) 在融合相位一致图像得到的特征点处搜索  $n-1$  尺度中和这个特征点连通的点, 得到尺度  $n$  的融合图中没有的细节特征;

(4) 搜索尺度  $n$  相位一致特征图中下一个特征点, 重复步骤(1)~(3)直到完成整幅图。

因此, 基于多尺度金字塔相位一致算法的具体步骤如下:

(1) 对输入图像进行拉普拉斯金字塔分解得到分层图像;

(2) 对金字塔中每层图像进行相位一致特征提取得到多尺度金字塔相位一致图像;

(3) 自上而下将多尺度金字塔相位一致图像进行融合得到融合图像(输出图像), 即基于相位一致的多尺度金字塔特征图。

基于多尺度金字塔相位一致算法的流程如图 2 所示。

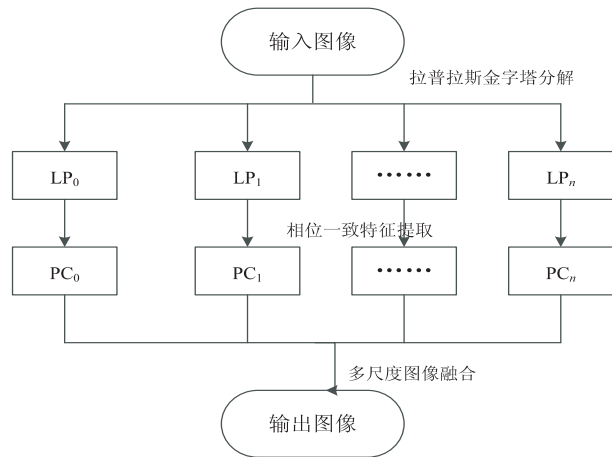


图 2 基于相位一致的多尺度金字塔特征提取算法流程图

## 3 实验结果与分析

文中的算法是运用 Matlab7.0 实现的, 实验采用  $512 \times 512$  的 Lena 灰度图, 如图 3 所示。考虑到图像的大小, 设定拉普拉斯金字塔共四层, 每层图像大小都是上一层图像的四分之一。对金字塔中的每层图像进行

相位一致特征提取采用的是基于 Log-Gabor 小波的相位一致算法。图 4 是原图的相位一致特征图,图 5 为基于相位一致的多尺度金字塔特征图。

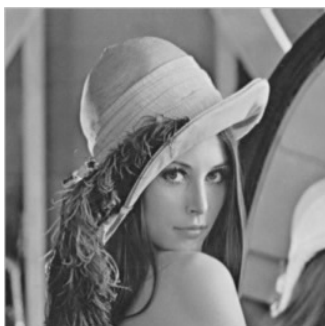


图 3 原始图像



图 4 相位一致特征图

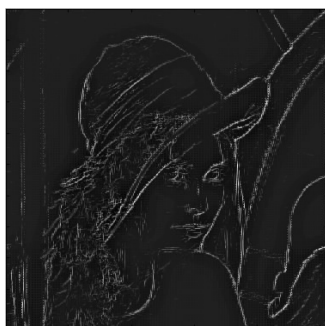


图 5 基于相位一致的多尺度金字塔特征图

比较图 4 和图 5 发现,图 5 不仅显示了人物细节特征,还提取了更多轮廓特征。实验结果表明,将相位一致算法与多尺度金字塔相结合,可以得到满意的图像特征检测效果,较原相位一致算法能检测出更多的轮廓特征。

## 4 结束语

文中提出基于相位一致多尺度金字塔算法提取图像特征,解决了单一尺度运用相位一致算法提取图像特征的不足,同时也保留了相位一致算法在提取图像特征方面的优势。

实验结果表明,该算法能够提取更多的图像特征,尤其是图像轮廓特征,它充分体现了多尺度金字塔在图像特征检测方面的优越性。但是该算法在图像分解和图像融合时需耗费时间,相比原相位一致算法而言,时间复杂度高。

## 参考文献:

- [1] 张秋余,靳艳峰,袁占亨. 基于相位一致性图像的模块化 PCA 人脸识别方法[J]. 计算机应用研究,2008,25(1):318-320.
- [2] 李永鑑,王利娟. 基于 RCA 的眉毛识别方法研究[J]. 计算机工程与科学,2008,30(11):28-30.
- [3] 肖鹏峰,冯学智,赵书河,等. 一种基于相位一致的高分辨率遥感图像特征检测方法[J]. 遥感学报,2007,11(3):303-310.
- [4] 李朝锋,唐国风,吴小俊,等. 学习相位一致特征的无参考图像质量评价[J]. 电子与信息学报,2013,35(2):484-488.
- [5] 肖志涛,国澄明,侯正信,等. 图像特征检测算法的分析与研究[J]. 中国图象图形学报,2004,9(12):1414-1420.
- [6] 李娅娅,李志洁,郑海旭,等. 图像边缘检测算法的比较与实现[J]. 计算机工程与设计,2010,31(9):1971-1975.
- [7] Mahmoudi M T. A comparative study of edge detectors for lane detection[C]//Proceedings of the international conference on imaging science, systems and technology. [s. l.]:[s. n.], 2003:526-530.
- [8] 邓祥龙. 图像边缘检测算法研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2012.
- [9] Morrone M C, Burr D C. Feature detection in human vision; a phase-dependent energy model[J]. Proceedings of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences, 1988, 235(1280):221-245.
- [10] Koves P. Edges are not just steps[C]//Proceedings of ACCV 2002. Melbourne, Australia:[s. n.], 2002:822-827.
- [11] 徐 寒. 基于 Log-Gabor 小波相位一致的掌纹识别算法研究[J]. 制造业自动化,2011,33(4):4-6.
- [12] 陈 浩,王延杰. 基于拉普拉斯金字塔变换的图像融合算法研究[J]. 激光与红外,2009,39(4):439-442.
- [13] Burt P J, Adelson E H. The Laplacian pyramid as a compact image code[J]. IEEE Trans on Communications, 1983, 31(4):532-540.
- [14] 王雪松,宋 凯. 基于多尺度小波变换的边缘检测算法[J]. 沈阳理工大学学报,2008,27(4):16-19.
- [15] 董鸿燕,王 磊,李吉成,等. 基于拉普拉斯金字塔分解的多尺度边缘检测[J]. 光电工程,2007,34(7):135-140.

# 基于相位一致的多尺度金字塔图像特征提取

作者：[黄蕾](#)，[邹海](#)，[HUANG Lei](#)，[ZOU Hai](#)  
作者单位：[安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥, 230601](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)  
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)  
年，卷(期)：2015(3)

引用本文格式：[黄蕾](#). [邹海](#). [HUANG Lei](#). [ZOU Hai](#) [基于相位一致的多尺度金字塔图像特征提取](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(3)