

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 7  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年7月 第17卷 第7期(总第195期)

## 目次

### 综述

中国多媒体技术研究: 2011 ..... 史元春, 徐光祐, 高原(741)

### 图像处理和编码

图像引导滤波的局部多尺度 Retinex 算法 ..... 方帅, 杨静荣, 曹洋, 武鹏飞, 饶瑞中(748)

基于第一主成分方向稳定性的图像零水印 ..... 付剑晶, 王珂(756)

小波变换估计非线性扩散最优停止时间 ..... 蒋平, 张建州(770)

### 图像分析和识别

改进的 Beamlet 与 Canny 相结合提取复杂图像线特征 ..... 曾接贤, 周沥沥, 符祥(775)

动静态信息融合及动态贝叶斯网络的步态识别 ..... 杨旗, 薛定宇(783)

融合音频单词与视觉特征的成人视频检测 ..... 刘毅志, 唐胜, 王向东, 林守勋, 张勇东(791)

基于平面区域跟踪的目标位姿参数自动测量 ..... 回丙伟, 文贡坚, 赵竹新, 钟金荣(798)

3 维图像中边界曲面的分类追踪及抽取 ..... 丁德福, 程柳航, 王利生(806)

局部时空域模型的核密度估计目标检测方法 ..... 王兴宝, 刘纯平, 费兰英, 王朝晖, 季怡(813)

基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法 ..... 李崇飞, 高颖慧, 卢凯, 曲智国(821)

### 图像理解和计算机视觉

“目标-场景”语境关联的生成图模型分析 ..... 谢昭, 李姍琦, 高隼(828)

融合上下文信息的场景结构恢复 ..... 武晖, 于昕, 隋尧, 张利(839)

带有局部控制因子的图割光流估计 ..... 路子赟, 唐土生, 高隼, 沈琳, 刘伟(846)

改进的 Harris 亚像素角点快速定位 ..... 何海清, 黄声享(853)

**计算机图形学**

应用最小生成树实现点云分割 ..... 孙金虎, 周来水, 安鲁陵(858)

**医学图像处理**

病毒进化的离散差分进化超声图像特征选择 ..... 张巧荣, 朱长明, 倪军, 刘海波(866)

分水岭优化的 Snake 模型肝脏图像分割 ..... 兰红, 张璐(873)

**遥感图像处理**

Normalized Cut 与分水岭变换在高光谱影像混合像元端元提取中的应用 ..... 许菡, 李小娟(880)

改进非局部均值滤波的 SAR 图像降噪方法 ..... 郑永恒, 程建, 曹宗杰(886)

~~~~~  
第四届国际遥感考古会议 ..... (892)

**中国图象图形学报**

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 7 期

2012 年 7 月 16 日出版

**主管单位** 中国科学院

**主 办** 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所

**主 编** 李小文

**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱:jig@irsa.ac.cn  
电话:010-64807995 010-82614429  
网 址:www.cjig.cn

**印刷装订** 北京北林印刷厂

**广告经营许可证** 京朝工商广字第 0346 号

**总 发 行** 北京报刊发行局

**订 购** 全国各地邮局

**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences

**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics

**Chief editor** LI Xiaowen

**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn

**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

**Domestic** All Local Post Offices in China

**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

**Printed by** Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 7 July 2012

## Contents

### Review

Researches on multimedia technology in China, 2011 ..... Shi Yuanchun, Xu Guangyou, Gao Yuan (741)

### Image Processing and Coding

Local multi-scale Retinex algorithm based on guided image filtering  
..... Fang Shuai, Yang Jingrong, Cao Yang, Wu Pengfei, Rao Ruizhong (748)

Image zero-watermark based on direction stability of first principal component vector ..... Fu Jianjing, Wang Ke (756)

Stopping-time estimation for anisotropic diffusion using discrete wavelet transform ..... Jiang Ping, Zhang Jianzhou (770)

### Image Analysis and Recognition

Complex image line feature extraction based on improved Beamlet transform and the Canny operator  
..... Zeng Jiexian, Zhou Lili, Fu Xiang (775)

Gait recognition based on dynamic & static information fusion and dynamic bayesian network ..... Yang Qi, Xue Dingyu (783)

Fusing audio-words with visual features for adult video detection  
..... Liu Yizhi, Tang Sheng, Wang Xiangdong, Lin Shouxun, Zhang Yongdong (791)

Automatic measurement for an object's position and attitude via tracking planar regions  
..... Hui Bingwei, Wen Gongjian, Zhao Zhuxin, Zhong Jinrong (798)

Detection and extraction of boundary surface patches within 3D images ..... Ding Defu, Cheng Liuhang, Wang Lisheng (806)

Foreground object detection method using kernel density estimation of a local spatio-temporal model  
..... Wang Xingbao, Liu Chunping, Fei Lanying, Wang Zhaohui, Ji Yi (813)

Saliency detection method based on phase spectrum and amplitude spectrum tuning  
..... Li Chongfei, Gao Yinghui, Lu Kai, Qu Zhiguo (821)

### Image Understanding and Computer Vision

"Object-Scene" contextual associated generative graph model analysis ..... Xie Zhao, Li Shanqi, Gao Jun (828)

Structure recovery algorithm using contextual information ..... Wu Hui, Yu Xin, Sui Yao, Zhang Li (839)

Graph cut optical flow estimation with a local control factor ..... Lu Ziyun, Tang Tusheng, Gao Jun, Shen Lin, Liu Wei (846)

Improved algorithm for Harris rapid sub-pixel corners detection ..... He Haiqing, Huang Shengxiang (853)

### Computer Graphics

Research on point cloud segmentation using a minimum spanning tree ..... Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling (858)

### Medical Image Processing

Virus-evolutionary discrete differential evolution algorithm for feature selection of cervical lymph nodes in ultrasound images  
..... Zhang Qiaorong, Zhu Changming, Ni Jun, Liu Haibo (866)

Liver image segmentation algorithm based on the Snake model And optimized by watershed transformation  
..... Lan Hong, Zhang Lu (873)

### Remote Sensing Image Processing

Endmember extraction for hyperspectral image based on normalized cut and watershed transformation  
..... Xu Han, Li Xiaojuan (880)

SAR image denoising via improved non-local means filter ..... Zheng Yongheng, Cheng Jian, Cao Zongjie (886)

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)07-0821-07

论文引用格式: 李崇飞, 高颖慧, 卢凯, 曲智国. 基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(7): 821-827.

## 基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法

李崇飞<sup>1</sup>, 高颖慧<sup>2</sup>, 卢凯<sup>1</sup>, 曲智国<sup>2</sup>

1. 国防科技大学计算机学院, 长沙 410073; 2. 国防科技大学 ATR 国家重点实验室, 长沙 410073

**摘要:** 针对目前视觉注意选择领域中的谱残余方法(SR)显著图对比度较差、细节显著性检测效果不理想的问题, 通过分析图像频谱特性与显著性的关系, 提出了一种基于频谱分析的显著性区域检测方法。该方法通过保留傅里叶相位谱并对幅度谱进行分段非线性调谐, 达到抑制图像冗余信息、增强图像显著性信息的效果。实验结果表明, 本文基于相位谱和幅度谱调谐(PTA)的显著性检测方法得到的显著图较SR方法对比度更高, 对显著细节的检测效果也更明显。

**关键词:** 相位谱; 幅度谱; 非线性调谐; 显著图

### Saliency detection method based on phase spectrum and amplitude spectrum tuning

Li Chongfei<sup>1</sup>, Gao Yinghui<sup>2</sup>, Lu Kai<sup>1</sup>, Qu Zhiguo<sup>2</sup>

1. School of Computer Science, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

2. ATR National Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China

**Abstract:** Since the spectral residual (SR) method of the visual attention model has poor contrast saliency maps and unsatisfactory detection of saliency details. In this paper, we propose a saliency detection method based on spectrum analysis by discussing the relationship between spectral characteristics of the image and the saliency. This method keeps the phase spectrum and tunes the amplitude spectrum using a piecewise non-linear function for the purpose of inhibiting the redundant information and enhancing the saliency image information. Experimental results show that saliency detection method based on phase spectrum and tuning amplitude spectrum (PTA) obtains a saliency map, which has better contrast, and allows for a better detection of the details of the saliency information.

**Key words:** phase spectrum; amplitude spectrum; nonlinear tuning; saliency map

## 0 引言

随着传感器技术和成像技术的飞速发展, 图像数据的规模和复杂程度不断加大, 给后续的图像处理和目标分析带来了很大难度。如何减少处理数据量和提高分析准确性成为当前海量复杂图像处理的一个难点。近年来, 以视觉注意<sup>[1]</sup>为代表的图像显

著性区域检测技术成为提高海量数据筛选实时性和分析准确性的重要技术途径之一。

显著性区域检测算法总体上可以分成基于空域处理<sup>[1]</sup>和基于频域处理<sup>[2-3]</sup>两类算法。基于空域的显著性检测算法出现较早, 此类算法普遍存在对参数选择敏感及计算复杂度高等的不足, 大大限制了在实时系统中的应用。为了提高算法实时性, 研究人员将频域信息引入显著性检测领域, 提出了一些

收稿日期: 2011-06-20; 修回日期: 2011-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61003075, 61170261); 国防预研基金项目(9140A01010309KG01)

第一作者简介: 李崇飞(1986—), 男, 国防科技大学计算机学院计算机科学与技术专业硕士研究生, 主要研究方向为智能图像处理、机器视觉。E-mail: lichongfei2000@163.com

基于频域的显著性检测方法,由 Hou 和 Zhang 提出的频域残余谱方法<sup>[2]</sup>(SR)是最具代表性的方法。SR 方法基于信息论的观点<sup>[4,5]</sup>,通过处理图像幅度谱得到残余谱,再利用傅里叶逆变换得到空域显著图。由于 SR 方法通过对图像幅度谱进行局部均值滤波达到压制冗余信息的目的,因此该方法在压制图像非显著性信息的同时也压制了显著性信息,导致显著图对比度较差,同时也抑制了一些显著细节。

本文通过分析 SR 方法的局限性及图像傅里叶频谱与显著性的关系,提出了一种基于相位谱和调谐幅度谱的显著性检测方法(PTA)。首先通过验证相位谱对于保留显著性信息的必要性,PTA 方法保留了相位谱;其次本文分析了幅度谱中冗余信息和显著性信息的统计特性,PTA 方法引入了一种幅度谱分段调谐方法,该方法在抑制图像大部分冗余信息的同时保留和增强了显著性信息。相比 SR,PTA 方法避免了对图像显著性区域频谱的抑制效应,使得求出的显著图对比度更强。由于采用非线性调谐,PTA 方法可以检测到更多的显著性细节信息。

## 1 基于傅里叶频谱特性的显著性分析

图像数据信息可以分为显著性信息和非显著性信息。对图像进行傅里叶变换后,显著性信息和非显著信息都以统计信息的形式存在于傅里叶频谱中。图像频谱表示为

$$F(u, v) = A(u, v) \exp(iP(u, v)) \quad (1)$$

式中, $F(u, v)$ 为图像傅里叶频谱, $A(u, v)$ 为幅度谱, $P(u, v)$ 为相位谱。

对式(1)两边取对数得到

$$\ln(F(u, v)) = \ln(A(u, v)) + iP(u, v) \quad (2)$$

由式(2)可以看出,图像的傅里叶频谱可以分解为幅度谱和相位谱和的形式。因此,可以从相位谱和幅度谱两方面来分析图像显著性和非显著性信息的频谱特性。

### 1.1 相位谱包含图像的结构信息

图像信号可以表征为不同幅值和相位的正弦波的加权和。而相位谱包含图像的纹理结构信息,而幅度谱包含图像的明暗对比信息。相位谱可以保存信号的重要特征,而幅度谱却不能<sup>[6]</sup>。相位谱重构

的图像基本上包含了原有图像的绝大部分的细节结构,丢失了原有的亮度对比信息;而单纯由幅度谱重构的图像会丢失原有图像的全部结构特征。所以,相位谱可以很大程度地保留信号的完整性,如果去除一个信号的幅度信息,那么它的许多重要特征仍然可以保存下来。

同时文献[7]指出,幅度谱代表了正弦分量的幅值和比重,相位谱信息代表了这些正弦分量的位置,而位置信息是显著性信息的重要组成部分。故进行显著图重构时,改变相位谱会改变原图像的位置和结构信息,因而应完整保留图像相位谱进行显著图重构。

单独用相位谱重建输入信号,可以得到显著图,图 1 用 3 个 1 维信号的相位谱重建波形显示相位谱包含了信号的部分显著性信息。前两幅图的输入是正负方波,可见在原波形的跳变处,其相位谱重建波形的输出最大,而在单一频率的正弦波形的重建波形中几乎没有显著点,这是由于,方波的跳变处包含了很多不同频率的正弦信号,而单一正弦信号的频率则只有一种。所以如果波形某一点与周围信号缺乏周期一致性或者变化比较剧烈,则其在相位谱重建信号中会被突出出来。对于 2 维图像,非周期的纹理、剧烈变化的边缘等缺乏周期一致性的图像结构信息可以通过相位谱重建突出,而这些信息往往是显著性信息的一部分,所以可以利用相位谱重构出部分显著性信息。图 2 是用相位谱重建自然图像得到的显著图的例子。因而在进行显著图计算时应保留相位谱。

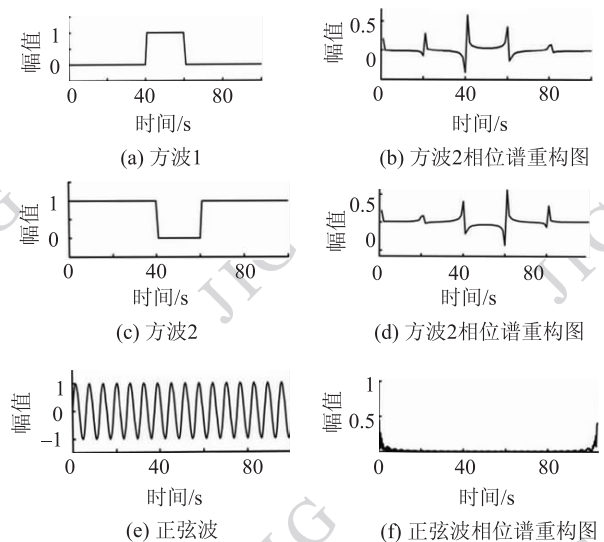
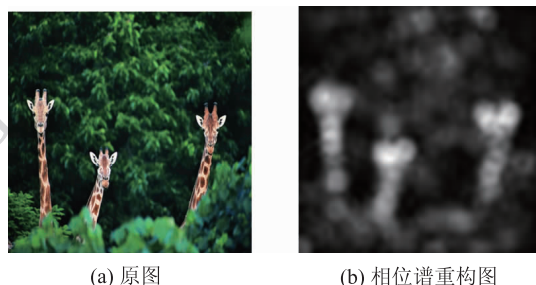


图 1 1 维信号相位谱重构图<sup>[3]</sup>

Fig. 1 Reconstructions by the phase spectrum



(a) 原图 (b) 相位谱重构图

图2 相应谱构建自然图像显著图

Fig. 2 Reconstruction of natural image by the phase spectrum

### 1.2 调谐幅度谱得到显著性信息

文献[2]指出,调整图像幅度谱可以得到显著性信息。SR方法即通过对图像log幅度谱进行局部均值滤波得到残余谱,进而得到显著图的调幅频谱方法。这种方法可以显著压制图像的冗余信息。图3显示了1维方波信号的SR方法重构图。

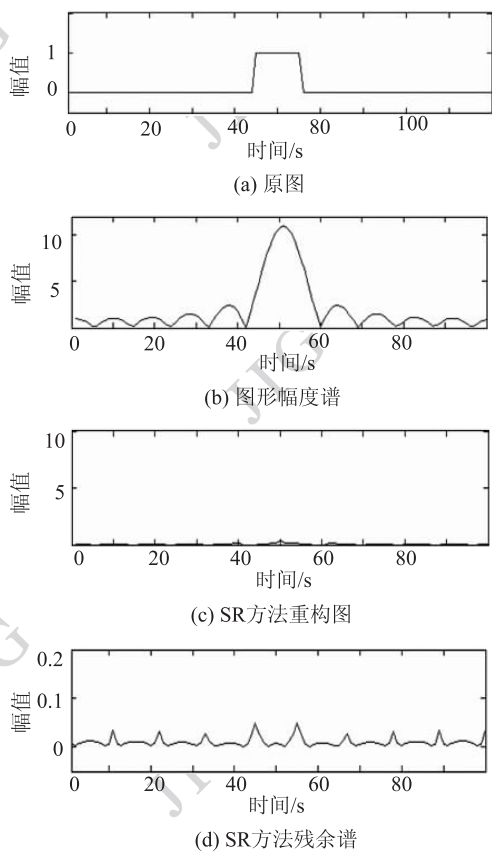


图3 SR方法重构图

Fig. 3 Reconstruction from SR

由图3可见,SR方法由于采用局部均值滤波,实现了近似归一化的处理,原高幅值和低幅值的幅度谱都进行了强烈抑制,得到的残余谱幅值很小,这

种方法在去除非显著性信息的同时也抑制了显著性信息的频谱值,导致最终结果的显著信息不明显,而且出现了附生毛刺。

为了在去除输入信号非显著性信息的同时最大程度地保留显著性信息,本文提出了一种分段调谐的方法。

首先分析图像幅度谱所包含的信息。图像可以看作是在均匀背景下物体投影的累加,而经过傅里叶变换后,这些投影信息被分解为一系列复数基波的加权<sup>[8]</sup>,而图像中常见特征(非显著性特征)的基波所占比重较大,例如图3中方波的平坦区域,另一方面,图像的新鲜特征(显著性特征)基波所占比重较小,例如图3中方波的跳变处。而幅度谱就是各种特征的基波加权和,代表非显著特征的大权重幅值在幅度谱中就表现为高幅值,需要对其抑制,代表显著特征的小权重幅值在幅度谱中表现为低幅值,需要对其进行增强。SR方法对所有幅度谱的值都进行了削弱,导致显著性信息和非显著性信息都被抑制,使得最终的显著图对比度不高,而且一些显著性细节也无法表示出来。

为了解决这个问题,本文提出利用阈值的方法,通过设定合适的阈值,确定显著性特征幅值和非显著性特征幅值的边界,大于阈值的幅度谱进行自适应抑制,小于阈值的幅度谱进行自适应增强,最终突出显著性特征。如图4所示,使用幅度谱的平均值作为阈值,对原幅度谱较大的幅值进行抑制,较小的幅值进行增强。对调谐后的幅度谱重构得到显著图,较好地保留了原显著特征(即方波跳变处),而且跳变幅度与原方波基本相同,在强烈抑制非显著特征的前提下没有抑制显著性特征,因而可以证明通过阈值法对幅度谱进行自适应调谐可以有效得到信号的显著性信息。

## 2 基于相位谱和调谐幅度谱(PTA)的显著性检测方法

基于上述频谱分析,提出在保留图像相位谱的同时利用阈值分段调谐幅度谱得到显著图。

### 2.1 算法结构

给定场景图像 $I(x,y)$ ,首先对输入图像进行傅里叶变换得到图像频谱 $f(u,v)$ ,即

$$f(u,v) = F(I(x,y)) \quad (3)$$

式中, $F(\cdot)$ 为傅里叶变换,然后计算图像相位谱

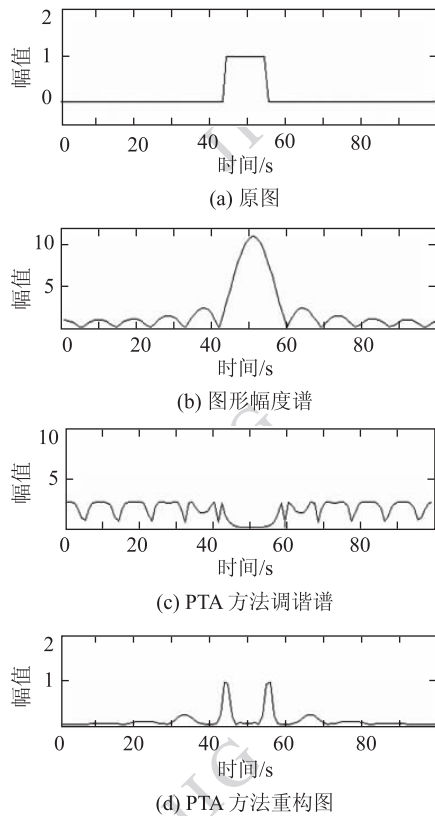


图4 PTA方法重构图

Fig. 4 Reconstruction from PTA

和幅度谱

$$p(u, v) = \text{phase}(f(u, v)) \quad (4)$$

$$a(u, v) = \text{abs}(f(u, v)) \quad (5)$$

式中,  $\text{phase}(\cdot)$  为相位谱函数, 用来计算幅度谱。然后计算图像显著性分类阈值, 对幅度谱进行调谐

$$\Delta = \gamma M(a(u, v)) \quad (6)$$

$$a'(u, v) =$$

$$\begin{cases} f(u, v) / (\text{abs}(a(u, v) - \Delta)^\alpha) & a(u, v) > \Delta \\ f(u, v) \text{abs}(\Delta - a(u, v))^\beta & a(u, v) \leq \Delta \end{cases} \quad (7)$$

式中,  $M(\cdot)$  计算幅度谱的平均值, 为了取得理想结果, 需要对其进行微调, 引入参数  $\gamma$  求得显著性特征分类阈值  $\Delta$ 。然后根据阈值, 分别对显著性特征的幅度谱进行增强, 对非显著性特征的幅度谱进行削弱, 得到调谐后的幅度谱  $a'(u, v)$ 。继而进行傅里叶逆变换得到空域显著图

$$I'(x, y) = \|F^{-1}[\exp(\log(a'(u, v) + i \cdot p(u, v)))]\|^2 \quad (8)$$

式中,  $F^{-1}(\cdot)$  为傅里叶逆变换, 为了达到更好的视觉效果, 对结果进行平滑处理, 得到最终的显著图为

$$S(x, y) = G * I'(u, v) \quad (9)$$

式中,  $G$  为 2 维高斯低通滤波器。

为降低运算量, 在进行傅里叶变换之前, 对原图像进行亚采样处理, 把原图像缩小为  $64 \times 64$  大小的灰度图。

## 2.2 调谐函数与分类阈值

### 1) 调谐函数

调谐函数用来实现对幅度谱的调谐, 采用多项式形式的分段函数对幅度谱进行非线性调谐。利用多项式的非线性特性对幅度谱进行调谐, 其调谐函数如式(7)所示。

### 2) 分类阈值与参数选择

调谐效果如图 5 所示, 其中横坐标为幅度谱幅值, 纵坐标为调谐的倍数。

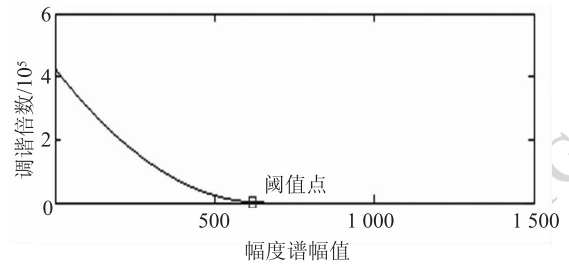


图5 调谐函数

Fig. 5 Tuning function

可见小于阈值点的幅值被显著增强, 而大于阈值点的幅值被抑制近似为 0, 符合幅度谱调谐的要求。显著性特征和非显著性特征的分类阈值对最终显著图的性能影响较大, 如果分类阈值太大, 会导致非显著性特征抑制不够, 使得显著图对比度较低并会残余部分非显著性信息(例如背景信息), 如果分类阈值太小, 会对显著性信息抑制过多, 使得显著图丢失部分显著性信息。为此, 增加参数  $\gamma$ , 对分类阈值进行微调, 如式(6)所示。通过实验发现, 幅度谱极值点及其附近的次极值点代表了绝大多数的背景信息, 而幅度谱的方差比较大, 如果采用全局平均值作为阈值会导致部分图像的非显著性信息抑制不够, 因而采用较大的分类阈值可以取得较好的结果。

根据上述分析, 当参数  $\gamma$  为 50 ~ 100, 即分类阈值为全局平均值的 50 ~ 100 倍时, 实验效果较好。而参数  $\alpha$  和  $\beta$  则依据图像的对比度进行选择, 如果图像的对比度较大(像素方差偏大), 则  $\alpha$  取值较大而  $\beta$  较小, 否则  $\alpha$  取值较小而  $\beta$  较大。本文实验中

自然图像的参数选择为  $\gamma = 50, \alpha = 2, \beta = 1$ , 而心理物理学模板的参数选择为  $\gamma = 50, \alpha = 0.5, \beta = 5$ 。

### 3 实验与结果分析

采用文献[2,9]中的图库进行实验,从其中随机抽取4幅自然图像和5幅心理物理学模板图像与SR方法进行对比。实验结果如图6—图10所示。实验在Intel XEON 6700双核处理器,2G内存的硬件环境下进行,操作系统为Microsoft Windows XP Service Pack 2,实验开发环境是Matlab R2009a。

#### 3.1 自然图像

从图6和图7的实验结果,可以看出,采用本文方法可以得到对比度明显并符合人眼显著性检测效果的显著图。图6中袋鼠的身体形状可以被两种方法检测到,本文方法由于采用分类阈值增强显著性目标的频谱值,使得显著图随着袋鼠身形由大到小亮度逐渐降低,符合人眼的视觉注意过程。而SR方法对袋鼠头部的检测效果明显,但是对袋鼠身体的检测亮度比较低,4只袋鼠的身形都是模糊的,其对显著目标的检测不完全符合人眼的注意过程,而且对比度较低。图7中长颈鹿的检测中,本文方法对背景频谱值的压制更明显,对背景特征的过滤更显著,而SR方法保留了部分背景的冗余信息。



图6 实验结果1

Fig. 6 Experimental results 1

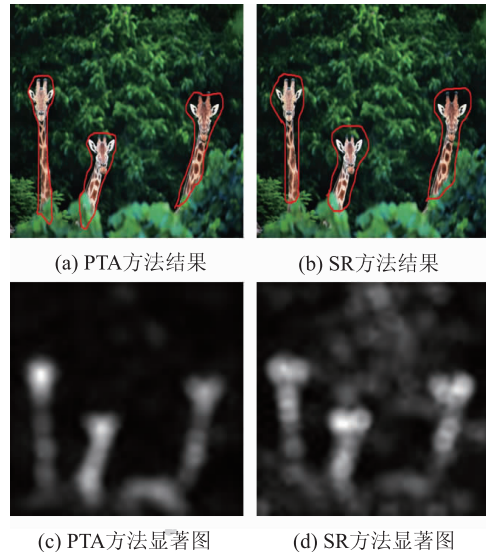


图7 实验结果2

Fig. 7 Experimental results 2

另一方面,由图8和图9可以看出,本文方法由于采用非线性的幅度谱调谐方法并保留了相位谱,更好地保留了图像显著目标的细节信息。图8中房子下部的花卉,由于颜色鲜艳,在人眼测试中也成为显著性信息,而SR方法把此信息完全抑制,本文方法可以保留此信息。在图9中,本文方法能够检测船的整体,而SR方法只能检测到船的上部白色区域。可见,本文方法在抑制非显著性信息的同时最大程度地保留了显著性信息,而非线性的处理方法更符合人眼视觉的非线性特性<sup>[10]</sup>。

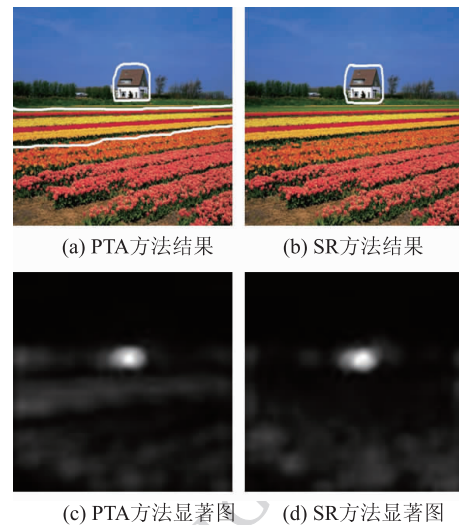


图8 实验结果3

Fig. 8 Experimental results 3

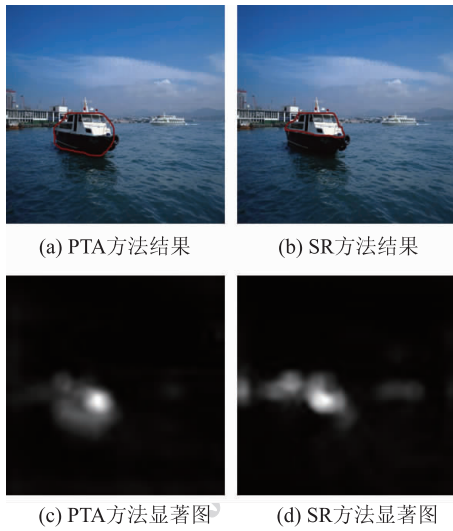


图 9 实验结果 4

Fig. 9 Experimental results 4

### 3.2 心理物理学模板

心理物理学模板图像是常用的评价显著性检测算法性能的图像<sup>[11-12]</sup>,实验结果如图 10 所示。可见,本文方法对非显著性信息的抑制十分明显,显著图对比度明显高于 SR 方法,这是由于本文方法采用分段非线性的频谱调谐,强烈抑制了常见特征的频谱,突出了显著性特征,符合人眼视觉的注意过程。

### 3.3 自然场景检测与速度测试

本文通过对文献[2,7]中的图库随机抽取 100 幅图进行显著区域检测对比统计实验,检测图中的最显著区域,统计结果如表 1 所示。

表 1 100 幅自然场景图像中正确检测到最显著区域的数目与平均检测时间

Table 1 The correct detection results and the average detection time of 100 natural images

|        | PTA 方法      | SR 方法       |
|--------|-------------|-------------|
| 检测数目   | 58          | 50          |
| 平均时间/s | 0.004 984 4 | 0.003 921 9 |

由表 1 可见,本文方法检测到最显著区域的数目多于 SR 方法,而检测时间比 SR 方法略长。这是因为本文方法采用分段的方式进行频谱调谐,条件判断语句增加了计算时间,但是与 SR 方法仍在同一个数量级上,可以应用于实时系统中。

通过表 1 可以发现,仍有很多场景图像的最显著区域无法被本文方法和 SR 方法识别。分析原因

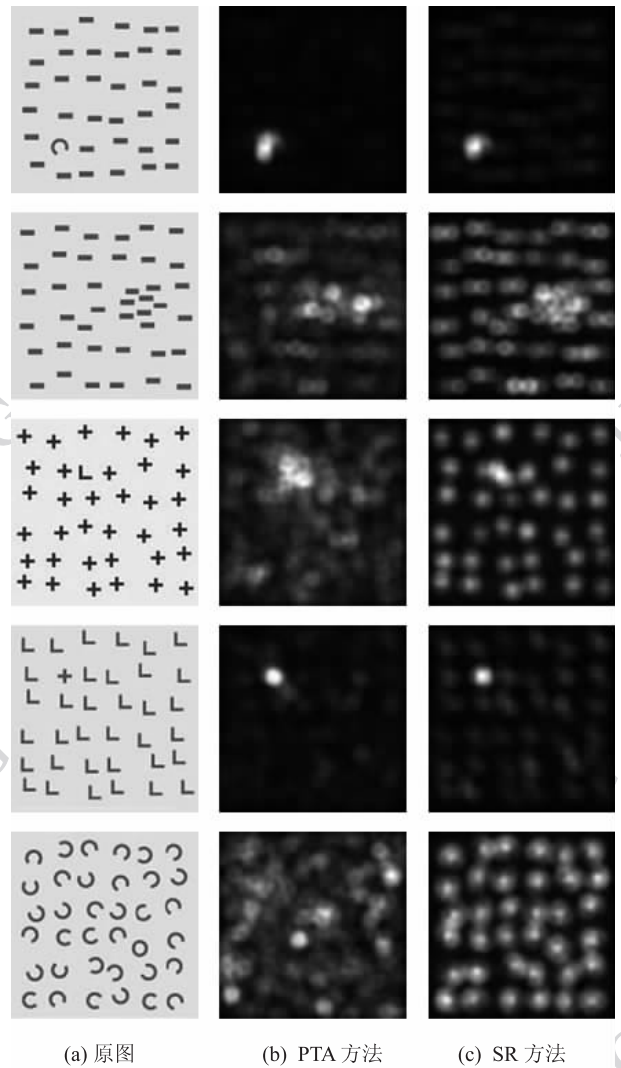


图 10 心理物理学模板实验对比图

Fig. 10 The Psychological Pattern results of PTA method in comparison with SR method

发现,本文方法和 SR 方法都属于自底向上的显著性识别方法,而人眼识别的视觉注意过程是自底向上和自顶向下两种过程的融合,而先验知识的缺失是导致这些方法对某些显著性区域无法检测的重要原因,图 11 可以简略说明此类问题。



图 11 图像灰度图与显著图

Fig. 11 Image Gray Scale Image and saliency map

在图 11 中,场景输入图中的显著性区域是图中中间下方的马以及上部的拖拉机,但是将输入图片转换为灰度图时,拖拉机左侧的树丛被突出出来(对比度较高),成为显著特征。在本文方法和 SR 方法中,由于该特征属于非常见特征,在频谱调谐或均值滤波中都会被凸显出来,但是由于此特征不符合人眼识别的先验知识,这个显著性特征会被人脑自动忽略,人类视觉的显著性提取机制更有意义,其提取效率也更高,可见先验知识对于正确检测显著区域具有重要意义。

## 4 结 论

本文根据人眼显著性识别非线性特点,在相位谱和幅度谱两方面分析了图像显著性和频谱的关系,提出了一种自底向上的频谱显著性检测方法。该方法通过保留相位谱并对幅度谱进行非线性分段调谐,达到抑制非显著特征和突出显著特征的目的。而经典的 SR 方法采用均值滤波过滤常见特征频谱,对显著性特征的抑制比较明显,在特定情况下又对非显著特征的抑制不够。本文方法可以避免此类问题,在显著图对比度和显著性细节检测等方面较 SR 方法有了较大的性能提升。

本文对彩色图像的处理是基于亚采样灰度图进行的,亚采样本身损失了很多信息,这对检测效果有一定的影响。后续研究中,将对图像的颜色特征分量进行研究,将灰度和颜色的频谱信息进行融合。另外,鉴于人类显著性识别中融合了自顶向下和自底向上两种类型的显著性检测方法,可以在先验知识和显著性检测策略等方面进行研究,融合两类方法的特点和优势,以达到更好的效果。

## 参考文献(References)

- [ 1 ] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11):1254-1259.
- [ 2 ] Hou X, Zhang L. Saliency detection: a spectral residual approach [C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York:IEEE,2007: 1-8.
- [ 3 ] Guo C L, Ma Q, Zhang L M. Spatio-temporal saliency detection using phase spectrum of quaternion Fourier transform [C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York:IEEE,2008.
- [ 4 ] Ruderman D. The Statistics of Natural Images [J]. Computation in Neural Systems, 1994, 5(4):517-548
- [ 5 ] Srivastava A, Lee A, Simoncelli E, et al. On Advances in Statistical Modeling of Natural Images [J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2003 18(1):17-33.
- [ 6 ] Jin Y F. Face Recognition method research base on phase congruency and modular PCA [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology 2007.
- [ 7 ] Castleman K. Digital Image Processing [M]. New York: Prentice-Hall, 1996.
- [ 8 ] Chen D Y, Wu C D. A new model of visual attention selection based on amplitude Modulation Fourier Transform [C]// Proceedings of Chinese Control and Decision Conference. Guilin, China: IEEE, 2009: 4617-4622.
- [ 9 ] Martin D, Fowlkes C, Tal D, et al. A database of human segmented natural images and its application to evaluating segmentation algorithms and measuring ecological statistics [C] // Proceedings of the Eighth IEEE International Conference on Computer Vision ICCV 2001. Vancouver, Canada:IEEE Computer Society, 2001,2: 416-423.
- [ 10 ] Li Z. Theoretical understanding of the early visual Processes by data compression and data selection [J]. Network: Computation in Neural Systems, 2006, 17(4): 301-334.
- [ 11 ] Wolfe J. Guided Search 2.0: A revised model of guided search [J]. Psychonomic Bulletin & Review, 1994, 1(2):202-238.
- [ 12 ] Treisman A M, Gelade C. A feature integration theory of attention [J]. Cognitive Psychology, 1980, 12(1):97-136.