

文章编号:1001-9081(2014)06-1731-04

doi:10.11772/j.issn.1001-9081.2014.06.1731

频域多尺度图像显著区域提取方法

杨大伟¹, 宋程程^{1*}, 李松江², 李丹¹

(1. 哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 哈尔滨 150001; 2. 93199 部队 理论训练系, 哈尔滨 150001)

(* 通信作者电子邮箱 songchengcheng@hrbeu.edu.cn)

摘要:针对显著区域提取算法中不能保留图像边缘及内部细节不充实等问题,提出一种基于频域的多尺度提取方法。对图像在不同分辨率尺度下进行傅里叶变换并计算剩余频谱,以此去除冗余得到显著信息,经反变化归一化得到显著图像。仿真实验结果表明所提出方法可行有效,具有良好的视觉效果,在保留显著区域边缘的同时能均匀突出整个显著目标,在受试者工作特性曲线下面积(ROC)评价方法上也取得了较好的实验结果。

关键词:显著区域;频域;提取方法;多尺度;剩余频谱

中图分类号: TN911.7 文献标志码:A

Multi-scale image salient region extraction based on frequency domain

YANG Dawei¹, SONG Chengcheng^{1*}, LI Songjiang², LI Dan¹

(1. College of Information and Communication Engineering, Harbin Engineering University, Harbin Heilongjiang 150001, China;

2. Theory Training Department, Unit 93199, Harbin Heilongjiang 150001, China)

Abstract: To overcome the salient extraction results cannot preserve edge and enrich the inner details when extracting image salient region, a new multi-scale extraction approach based on frequency domain was proposed. In order to remove redundant information and get the innovation, the image was Fourier transformed to get the spectral residual on multiple resolutions. Then normalization processing was applied to obtain the final saliency image. The simulation results show that the proposed method has good visual effect, which can keep the edges of salient region and highlight the whole significant target uniformly at the same time. The area under Receiver Operating Characteristic (ROC) curve of these results also has satisfied performance.

Key words: salient region; frequency domain; extraction method; multi-scale; spectral residual

0 引言

图像中的重要信息往往集中在一些特定区域内,这些区域被称为显著区域。提取显著区域可有效地作为后续图像处理的基础,广泛应用于图像分割、目标检测与识别、自适应图像缩放、图像检索与分类等计算机视觉领域^[1]。

很多学者在显著区域提取上作出了大量努力与贡献,1998年Itti与Koch利用图像金字塔中三种特征的Center-Surround差异得到显著区域(后称Itti方法^[2])。该方法简单并且运算速度较快,但得到高显著值的区域多集中于变化强烈的边缘或复杂背景区域,导致本应获得注意的目标显著性降低。Harel等在Itti方法上进行改进,在文献[3]中提出一种基于图论的视觉显著性(Graph-Based Visual Saliency, GBVS)算法,该方法采用Markov链方法计算特征提取后的显著值,改善了所得显著区域结果,但由于引入随机过程模型而极大地增加运算量。文献[4]采用基于全局对比度的方法来计算显著特征值,该类方法忽略了图像各部分的空间关系,仅适用于背景简单的显著目标提取。Hou等^[5]提出一种基于频谱剩余(Spectral Residual, SR)的分析方法,该方法运算速度快且较符合人眼视觉感知,但提取显著图像时仅考虑一种固

定分辨率尺度,不能均匀突出整个目标。近年来,很多利用图像特征提取显著区域的方法也被提出^[6~9],不同特征的引入使得提取效果得到改善,但同时也增加了计算复杂度。综上所述,现有图像显著区域提取方法,在低计算复杂度的情况下很难兼顾突出整体目标并保证清晰的外部轮廓。

针对现有方法的不足,本文提出一种显著区域提取方法,利用频域上图像的特性,在多个分辨率尺度上计算显著值,最终融合得到显著图像。本文方法通过对不同图像的统计分析,使用固定尺度来避免每幅图像的自适应求解,降低额外的系统消耗,能够快速提取显著区域,有效地克服未能保留图像轮廓的缺陷,在较好地保存图像边缘的同时均匀地突出目标区域,具有良好的视觉效果。

1 频域显著区域提取

本文提出的显著区域提取方法如图1所示。

首先,对输入的原始图像进行预处理,得到灰度图像并给定分辨率尺度,即不同图像尺寸,所选分辨率尺度个数为m。假设原始图像尺寸为M×N,则尺度i对应的图像分辨率尺寸为(M·i)×(N·i),i∈(0,1]且i∈Q。

分辨率尺寸的选择直接影响显著图像的提取结果,经仿

收稿日期:2013-12-25;修回日期:2014-03-02。

基金项目:黑龙江省科技攻关项目(GC12A305);中央高校自由探索计划项目(HEUCF130801)。

作者简介:杨大伟(1978-),男,黑龙江哈尔滨人,副教授,博士,主要研究方向:数字视频、图像处理;宋程程(1989-),女,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理;李松江(1982-),黑龙江哈尔滨人,讲师,主要研究方向:数字视频、图像处理;李丹(1990-),女,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,主要方向:图像处理。

真分析, 尺度较大时, 可将细节变化较大的纹理或边缘区域提取出来; 而尺度较小时则会检测出显著目标所占区域。本文采用多分辨率尺度提取方法, 兼顾提取结果的轮廓与细节, 在不忽略显著细节的同时将整个目标的显著区域完整地提取出来。

其次, 对各尺度分别进行剩余频谱处理。其原理如下:

由文献[10]中提出有效编码理论可以得出, 图像中的信息一般可以分为两部分, 即大部分图像所共有的冗余信息 $H(\text{redundancy})$ 以及每幅图像所特有的新颖信息 $H(\text{innovation})$ 。

$$H(\text{image}) = H(\text{innovation}) + H(\text{redundancy}) \quad (1)$$

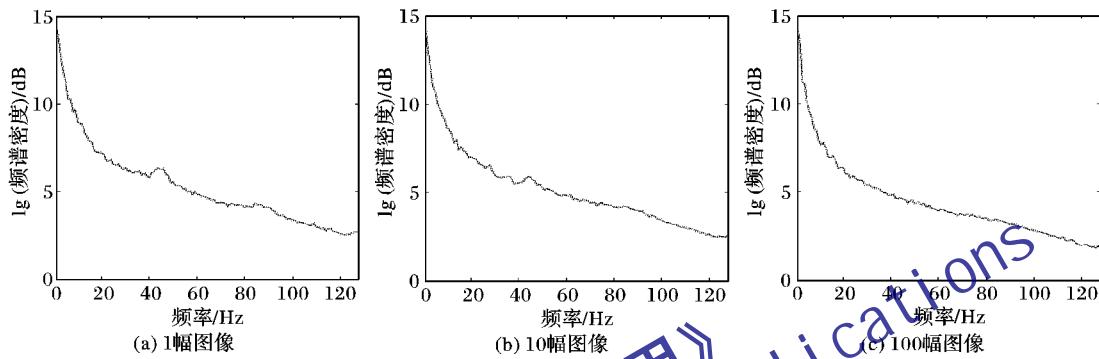


图 2 自然图像频域变换后叠加

通过图 2 可看出: 大量自然图像在频域上的 \lg 谱上具有统计不变性, 并且幅度谱上普遍服从 $1/f$ 规则^[11]。所以该规则是大部分图像中所共有的冗余信息, 将傅里叶变换后的幅度谱进行取对数运算, 在 \lg 谱上利用均值平滑滤波器对其进行卷积运算, 近似地得到被认为大量图像中所共有的冗余信息。则图像中的特有信息可以如下计算:

$$H(\text{innovation}) = H(\text{image}) - H(\text{redundancy}) \quad (2)$$

图像中的特有信息即是该幅图像中的显著信息, 通过上述理论可知, 在频域上能够提取图像中的显著区域, 频域的剩余频谱计算方法如图 3 所示。

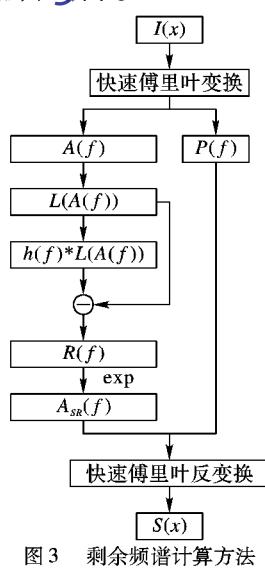


图 3 剩余频谱计算方法

假设图像 $I(x)$ 傅里叶变换后所得频率谱为 $A(f)$, 相位谱为 $P(f)$ 。

用 $L(f) = \lg(A(f))$ 表示图像整体信息, 求出图像中冗余

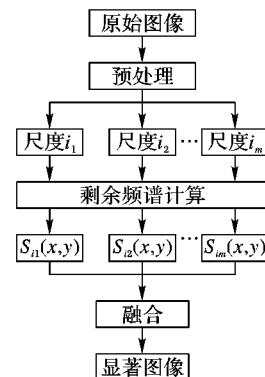


图 1 显著区域提取方法

的先验信息成分, 即可得到剩余的图像显著信息部分。显著信息如下计算:

$$R(f) = L(f) - h(f) * L(f) \quad (3)$$

其中: 用 $h(f) * L(f)$ 来近似表示图像的先验信息, $h(f)$ 为均值滤波器。

将上述得到的显著信息通过式(4)进行傅里叶反变换得到每一尺度 i 下的显著图像:

$$S_i(x) = F^{-1}[\exp(R(f) + P(f))]^2 \quad (4)$$

最后, 将各尺度下显著图像进行均值融合, 得到最终显著图。

$$S(x) = \frac{1}{m} \sum S_i(x) \quad (5)$$

图 4 为显著图像提取结果。

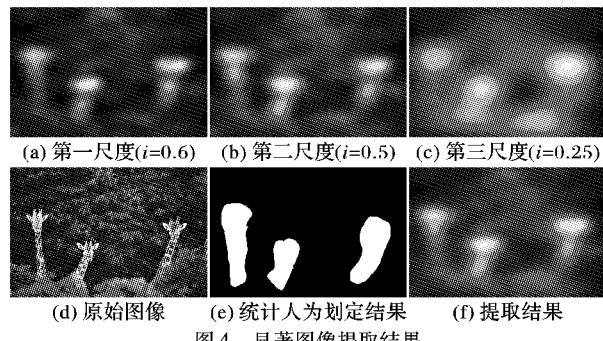


图 4 显著图像提取结果

2 仿真实验分析

2.1 仿真性能比较

为测试本文方法性能, 对测试图像集中的 58 幅自然图像进行仿真实验^[12], 将本文方法、经典 Itti 方法、基于频域的 SR 方法进行比较, 图 5 列举出部分仿真结果。

通过显著图像提取方法的结果比较可看出, 针对背景较

复杂的自然图像,Itti方法得到结果多为边缘强烈变化的区域;SR方法能够比较准确地提取显著区域,但未能均匀地突出显著目标;本文方法有效地解决边缘不清晰及内部细节不充实的问题,同时均匀地突出整个显著目标。

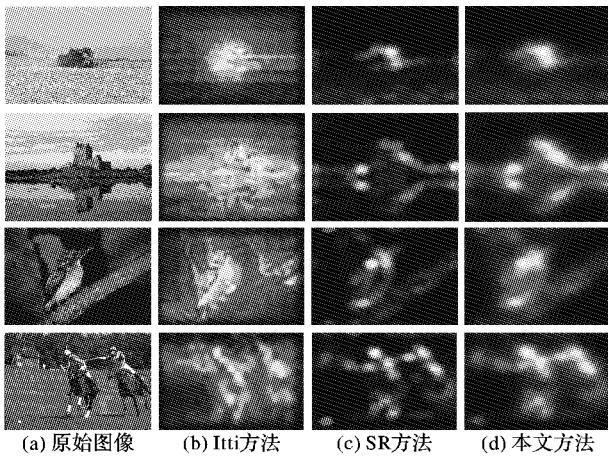


图5 显著图像提取结果比较

分别对三种算法所得显著图像与人为划定的显著区域在ROC(Receiver Operating Characteristic)曲线下面积^[13]进行客观评价。ROC曲线下面积为某一种方法准确性评价的指标,通过对同一种需求的多种实验进行分析比较,作出最佳方案决策。所得ROC曲线下的面积值越大表示该方法越优,即所得到显著区域越符合人为划定区域。本文仿真以输入图像尺寸 128×128 ,三个尺度分别为原始尺寸的0.6,0.5,0.25为例,通过对58幅自然图像进行仿真实验,平均ROC曲线下面积如表1所示。

表1 ROC曲线下面积结果比较

提取方法	平均ROC曲线下面积
Itti方法	0.837705
SR方法	0.880169
本文方法($m=3$)	0.916219

表2 各尺度下所选择的尺度组合

m	128×128	512×512	256×256
2	(1.0,0.5)	(0.25,0.125)	(0.25,0.125)
3	(0.6,0.5,0.25)	(1.0,0.125,0.0625)	(1.0,0.25,0.125)
4	(1.0,0.6,0.5,0.25)	(1.0,0.25,0.125,0.0625)	(1.0,0.25,0.125,0.0625)

表3 不同尺度下ROC曲线下面积的比较

方法	128×128	512×512	256×256
Itti方法	0.837705	0.832029	0.83389
SR方法	0.880169	0.879916	0.880841
$m=2$	0.896724	0.895398	0.896932
本文方法	0.916219	0.912309	0.913328
$m=4$	0.920763	0.916378	0.917976

通过表3可看出,随着尺度个数的逐渐增加ROC曲线下面积值随之增大,即所得实验结果更符合人为划定的显著区域,但当所选择尺度超过3个,尺度个数的增加对实验结果的改善明显减弱,同时也增加了计算的复杂程度,所以一般情况下本文方法选择3个尺度进行图像显著区域提取。

由图7可看出:由于本文基于频域方法仅在灰度图像上

本文方法ROC曲线下面积相对于频域SR方法提高0.03545,相对于经典的Itti方法提高0.078514。本文方法在主观视觉效果与客观评价上均取得较好的实验结果。

2.2 尺度选择对提取结果的影响

在尺度的选择上,每幅图像具有不同的最优尺度,对每幅图像中的众多尺度都进行计算求解将会增加计算的复杂程度。本文采用对多幅不同图像提取显著区域并进行统计分析,使用固定的尺度来避免对每幅图像的自适应求解过程,降低了额外的系统消耗,快速提取显著区域。通过多个尺度的融合叠加,可以在有效地保存图像边缘的同时均匀地突出显著目标区域,有较好的视觉效果。

针对58幅自然图像在输入尺寸为 512×512 及 256×256 ,尺度 i 分别为{1,0.7,0.6,0.5,0.25,0.2,0.125,0.0625}的相应组合上进行仿真实验。获取在输入图像尺寸不同时,显著图像提取效果较好,即ROC曲线下面积较大的结果,尺度选择方法如图6所示。

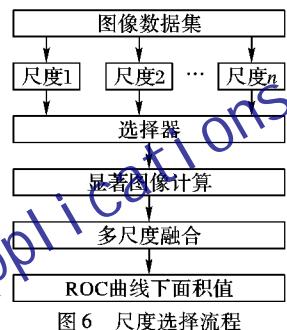


图6 尺度选择流程

尺度选择分别以2个、3个以及4个尺度进行实验,各尺度下具有较好实验结果的尺度组合如表2所示,所得较优尺度下的ROC曲线下面积实验结果在表3中给出。

仿真结果可以证明,分辨率尺度越大,边缘细节越清晰;分辨率尺度越小,目标内容越充实。所谓多尺度正是基于该原理,在一种分辨率尺度的基础上,分别增加包含细节与纹理分辨率尺度,以此来改善实验结果。

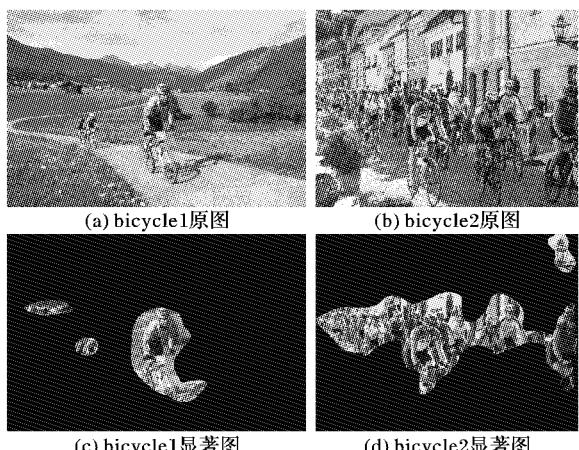


图7 目标个数不同图像的提取结果比较

进行变换,未引入方向等信息增加计算复杂度并改善结果。本文方法普遍适用于单目标或间距较大的多目标图像,对于间距较小的多目标图像,显著区域提取结果仅将多目标作为整体凸显出来,未能分辨出每个目标。

3 结语

本文提出一种基于频域的多分辨率尺度提取图像显著区域的方法,通过图像在不同分辨率尺度下的频域变换并融合来提取显著图像,具有较好的视觉效果。通过仿真实验证明,本文方法能够解决单一尺度下边缘模糊及内部细节不充实等问题。同时,在 ROC 曲线下面积评价方法中较传统 Itti 方法和同样基于频域的 SR 方法均有提高。

参考文献:

- [1] TU X. Image saliency and its evaluation[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011(涂小坡. 图像显著性算法和评价研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2011.)
- [2] ITTI L, KOCH C, NIEBUR E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(11): 1254 – 1259.
- [3] HAREL J, KOCH C, PERONA P. Graph - based visual saliency [EB/OL]. [2012- 10- 10]. <http://papers.nips.cc/paper/3095-graph-based-visual-saliency.pdf>.
- [4] CHENG M, HUANG X, HU S, et al. Global contrast based salient region detection[C]// Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2011: 409 – 416.
- [5] HOU X, ZHANG L. Saliency detection: a spectral residual ap-

(上接第 1726 页)

由表 1 可知,本文算法考虑到图像破损区域修复后与未破损区域之间色彩不连续问题,因此 SSIM 值要比 Hays 算法^[6]高。当图像破损面积较大但结构色彩简单时,如图 4 所示,利用破损图像本身信息的 Criminis 算法能够获得比较好的修复结果。当图像结构复杂色彩丰富时,如图 6 所示,Criminis 算法^[2]的 SSIM 值比本文算法和 Hays 算法^[6]要低,影响图像的修复效果。因此,本文算法能够在图像破损面积较大、结构复杂、色彩丰富的情况下获得比较好的修复效果。

4 结语

在大尺度丢失信息图像修复算法中,针对图像自身信息量不足的问题,本文提出了基于参考图像纹理与破损图像自身颜色的修复算法。该算法利用相似参考图像中最优区域填充破损图像区域;同时,根据未破损部分的颜色信息采用颜色迁移与扩展算法使修复区域与未破损区域的色彩保持协调。其实验结果表明,在破损区域较大、色彩纹理复杂的图像修复中,本文算法能够获得较好的效果。

参考文献:

- [1] BERTALMIO M, SAPIRO G, CASELLES V, et al. Image inpainting[C]// Proceedings of the ACM SIGGRAPH 2000. New York: ACM Press, 2000: 417 – 424.
- [2] CRIMINISI A, PEREZ P, TOYAMA K. Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(9): 1200 – 1212.
- [3] LEE J, LEE D, PPARK R H. Robust exemplar-based inpainting algorithm using region segmentation[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2012, 58(2): 553 – 561.
- [4] LIU Y, CASELLES V. Exemplar-based image inpainting using multise-
- [5] MARTINS P, CARVALHO P, GATTA C. Stable salient shapes [C]// Proceedings of the 2012 International Conference on Digital Image Computing Techniques and Applications. Piscataway: IEEE Press, 2012: 1 – 8.
- [6] PERAZZI F, KRAHENBUHL P, PRITCH Y, et al. Saliency filters: contrast based filtering for salient region detection[C]// Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2012: 733 – 740.
- [7] SUN X, LIU X. Learning based saliency weighted structural similarity[C]// Proceedings of the 2012 International Workshop on Image Processing and Optical Engineering. Bellingham: SPIE Press, 2012: 8335.
- [8] BORJI A, ITTI L. State-of-the-art in visual attention modeling[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35(1): 185 – 207.
- [9] BARLOW H B. Possible principles underlying the transformation of sensory messages[EB/OL]. [2012- 10- 10]. <http://www.trin.cam.ac.uk/horacebarlow/21.pdf>.
- [10] RUDERMAN D L. The statistics of natural images[J]. Network: Computation in Neural Systems, 1994, 5(4): 517 – 548.
- [11] HOU X D. Spectral residual: the intuition[EB/OL]. [2013- 07- 15]. <http://www.klab.caltech.edu/~xhou/projects/spectralResidual/spectralresidual.html>
- [12] SMITH W D, DUTTON B C, SMITH N T. A measure of association for assessing prediction accuracy that is a generalization of non-parametric ROC area[J]. Statistics in Medicine, 1996, 15(11): 1199 – 1215.
- [13] SWAIN M J, BALLAR D H. Color indexing [J]. International Journal of Computer Vision, 1991, 7(1): 11 – 32.
- [14] YAO X, BEIJI Z, HONG L. Selective color transfer with multi-source images[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30 (7): 682 – 689.
- [15] LEVIN A, LISCHINSKI D, WEISS Y. Colorization using optimization[J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(3): 689 – 694.
- [16] WANG Z, BOVIKA C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600 – 612.