

一种基于 RPCA 的图像聚焦区域检测方法^①

熊继平, 赵 健

(浙江师范大学 数理与信息工程学院图形与图像处理研究所, 金华 321004)

摘 要: 图像聚焦区域检测是图像融合、计算机视觉等领域中的一个重要研究方向。聚焦区域属于图像中的显著性区域, 但大部分显著性区域检测算法在提取图像聚焦区域是存在一定的问题, 不能进行准确分辨和提取。针对现有方法的不足, 该文利用近来受到广泛关注的 RPCA(Robust Principal Component Analysis)分解技术, 提取出能有效表征图像聚焦区域的稀疏特征矩阵, 并结合多区域图像分割技术获得聚焦区域。实验结果证明了该文所提方法在获取聚焦区域上的有效性, 此外, 该文指出基于 RPCA 的图像分解技术有着广泛的用途。

关键词: 鲁棒性主成分分析; 聚焦区域检测; 显著性区域检测; 稀疏特征; 图像分割

Detection Method of Image Focused Region Based on RPCA

XIONG Ji-Ping, ZHAO Jian

(Institute of Image and Graphics Processing, MPI, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: Detecting the focused region in one image is an importance research direction in image fusion and computer vision areas. Focused region belongs to salient region, but current salient detection algorithms have difficult to perfectly detect focused region. Due to the limitations, in this paper we propose a novel solution based on recently developed RPCA (Robust Principal Component Analysis) technology to efficiently detect the focused region. The main idea is using the sparse matrix decomposed from RPCA result, which contains the characteristic of focused region. The experimental results show the efficiency of detecting the focused region, which point out that the RPCA based method has vast applications.

Key words: RPCA; focused region detection; salient region detection; sparse representation; image cuts

聚焦图像(focused image)指的是图像中有一块清晰的视觉聚焦区域, 其余区域为模糊区域。此类图像在现实生活拍照、摄像头跟踪视频等场合中时常出现, 对聚焦区域进行检测和提取后可以广泛应用于图像融合以及许多计算机视觉应用, 比如感兴趣目标物体分割, 对象跟踪, 图像检索等。

从视觉角度分析, 聚焦区域属于一类特殊的显著性区域(Salient Region)。目前有大量的显著性区域检测算法^[1-4], 这些方法利用颜色、亮度以及边缘等底层特性来判断图像某个区域和其它区域的对比度。基于区域直方图统计对比度的 HC 和 RC 方法^[4]是目前效果最好的方法之一, 在最大的公开显著性测试图像集上^[2]能够

得到 90%以上的准确率。但这类方法在同属显著性范畴的聚焦区域的判断效果很差, 图 1 给出了四种最新算法在聚焦图片上的实验效果, 从中我们可以看到, 这些算法不能将属于聚焦的前景区域(左边的书籍)进行检测。检测失败的原因主要在于目前的显著性区域检测算法对于具有较为复杂纹理背景的图像以及显著性区域具有较大颜色或灰度变化范围的图像效果较差, 而聚焦图像往往具备这些特点。

鲁棒性主成分分析技术(Robust Principal Component Analysis, 以下简称 RPCA)^[5]是近年来新提出的技术, 在一定的约束条件下, RPCA 能够将一个数据矩阵分解为一个低秩矩阵和稀疏矩阵。RPCA 目前

① 基金项目:浙江师范大学计算机软件与理论省级重中之重学科开放基金(ZSDZZZXK28)

收稿时间:2013-07-10;收到修改稿时间:2013-08-19

已经得到了广泛的使用, 应用领域包括人脸识别^[6-8]、医学图像^[9-11]、物体识别^[12]、网络流量异常检测^[13]、降维算法^[14-17]等. 我们首次发现, 针对单幅聚焦图像的 RPCA 分解结果中, 分解出来的稀疏矩阵表征了聚焦的核心区域(见实验部分的图 3(b)), 基于此发现, 结合现有的多区域分割算法, 提出了聚焦区域检测模型.



图 1 显著性检测算法在聚焦图像上的效果

本文首先介绍基于 RPCA 框架的聚焦区域检测模型以及具体的实现步骤, 然后对模型进行实验验证, 最后总结全文并给出将来可行的研究方向.

1 模型框架及实现

聚焦图像分为聚焦区域和模糊区域. 聚焦区域一般是纹理较为丰富且对比度比较高的显著性区域, 传统的检测方案要从颜色直方图、亮度等综合图像信息出发进行检测. 不同于以往的工作, 我们将此检测问题转化为 RPCA 的矩阵分解问题, 也即利用 RPCA 技术将图像数据矩阵分解为一个低秩矩阵以及一个稀疏矩阵. 稀疏矩阵包含了充足的聚焦区域的信息, 利用此信息可以较好的提取聚焦区域. 假定有一个输入矩阵 $I \in N^{H \times W}$ (其中 H 和 W 为矩阵的维度, 也即图像的高度和宽度), 那么该矩阵可以被分解为:

$$I=B+S \tag{1}$$

其中 B 为低秩的背景矩阵, S 为稀疏矩阵(只有少量的非零点). 在一般情况下, 这种分解是不可行的, 然后最近的研究表明^[5], 在一定的限定条件下, 该分解问题可以转变为凸优化问题, 从而可以高效的加以解决. 稀疏矩阵 S 可以通过解以下凸优化问题得到:

$$\min_{B,S} \|B\|_* + \lambda \|S\|_1 \quad s.t \quad B+S=I \tag{2}$$

其中 $\| \cdot \|_*$ 是矩阵的核范式(nuclear norm), $\| \cdot \|_1$ 是矩阵的 ℓ_1 范式(也即矩阵中所有元素的绝对值和), λ 为稀疏矩阵的惩罚因子. 使用^[10]提供的快速 RPCA 实现算法时, 经过测试最佳的 λ 值为 $1/\sqrt{H}$, 其中 H 为矩阵 I 的行数, 在本文中矩阵 I 为原始图像, 因此 H 即为图像的高度.

图 2 给出了基于 RPCA 聚焦区域检测的模型. 其关键在于获得表征图像聚焦区域的 S 稀疏矩阵(具体图例见图 3(b)). 多区域分割算法以及检测判决准则可以根据不同的应用背景和需要加以改变.

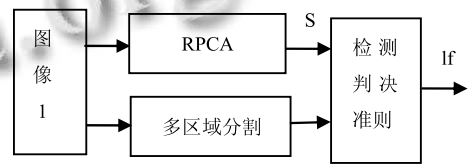


图 2 基于 RPCA 的聚焦区域检测模型

在本文中针对的对象为灰度图像, 彩色图像的处理类似, 分别处理其 R、G、B 分量即可. 多区域分割采用^[18]所提供的方法做多区域的分割, 其分割效果较为准确和精细(见图 3(c)), 记分割的结果为区域集合 $=\{R_i|i=1, \dots, K\}$, 其中 K 为区域的个数, $R_i \in R^{H \times W}$ 中区域内的值为 1, 区域之外的像素点值为 0.

在检测判决准则中, 本文采用以下的步骤提取聚焦区域:

Step1: 按照公式(3)^[19]计算稀疏特征矩阵 S 的重心点坐标 C_s , 图 3(b)中的小方块点即为计算出的重心点.

$$C_s = \left(\frac{\sum_{x,y \in I} xS(x,y)}{\sum_{x,y \in I} S(x,y)}, \frac{\sum_{x,y \in I} yS(x,y)}{\sum_{x,y \in I} S(x,y)} \right) \tag{3}$$

其中, $S(x,y)$ 为稀疏矩阵 S 中对应的像素点值.

Step2: 同样按照公式(3)计算区域集合(中每个区域的重心点坐标, 并且计算和稀疏特征矩阵 S 的重心点坐标 C_s 的距离, 选取距离在平均范围内区域作为选择的聚焦区域, 将这些区域组成在一起从而得到最终的聚焦图像 If . 从实验结果看, 这种判决规则能较好的选择单聚焦区域, 但若存在多个聚焦区域, 此算法一定的问题. 此外, 针对其它复杂情况的图像(比如非聚焦的显著性图像), 需要选择其它的有效使用稀疏特征矩阵 S 的判决规则, 这也是我们下一步研究方向.

2 实验与讨论

图 3 给出了针对聚焦图像的聚焦区域的检测结果. 图 3(b)为通过 RPCA 分解后得到的表征图像特征的稀疏矩阵 S , 区域重心基本上落在聚焦图片几何中心, 也即稀疏矩阵能够较好的过滤模糊区域, 而保留聚焦区域的特征. 图 3(c)为本文采用的多区域分割算法的处理结果, 此结果对最终的提取区域的准确性有较大影响. 图 3(d)为最终提取出来的聚焦区域. 从实验结果看, 区域重心基本上落在聚焦图片几乎中心, 其中的一些小缺陷主要在于本文采用的单一的区域重心判决准则, 采用更复杂的多判决准则或联合判决准则是下一步的重点研究内容.



(a) 原聚焦图像 (b) 稀疏特征矩阵 S (c) 多区域分割 (d) 聚焦图像提取

图 3 显著性检测算法在聚焦图像上的效果

3 总结及将来研究方向

本文指出利用 RPCA 技术能够有效提取单幅图片的轮廓信息, 该轮廓信息能够有效的表征图像的显著

性区域. 提出了一种针对聚焦图像的区域检测框架和实现步骤, 从实验结果上看有一定的准确性, 但依然有提高的空间, 比如可以采用更好的多区域分割算法从而实现更好的检测效果以及测试不同的判决准则等. 此外, 将 RPCA 应用于多图像融合技术以及用来改进现有显著性区域检测算法是我们下一步的研究方向.

参考文献

- 1 Achanta R, Hemami S, Estrada F, et al. Frequency-tuned salient region detection. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR). Florida, USA. 2009. 1597-1604.
- 2 Hou X, Zhang L. Saliency detection: A spectral residual approach. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Minnesota(CVPR), USA. 2007. 1-8.
- 3 Perazzi F, Krahenbuhl P, Pritch Y, et al. Saliency filters: Contrast based filtering for salient region detection. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on. IEEE. 2012. 733-740.
- 4 Cheng MM, Zhang GX, Mitra NJ, et al. Global contrast based salient region detection. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on. IEEE. 2011. 409-416.
- 5 Candes E, Li X., Ma Y, Wright J. Robust principal component analysis. Journal of the ACM, 2011, 58: 1-37.
- 6 Wang Z, Xie X. An efficient face recognition algorithm based on robust principal component analysis. Proc. of the Second International Conference on Internet Multimedia Computing and Service. ACM. 2010. 99-102.
- 7 Liu W, Xie X, Lam KM. An efficient method for occluded face recognition. Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on. IEEE. 2012. 2993-2996.
- 8 Shermina J, Vasudevan V. Recognition of the face images with occlusion and expression. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2012, 26(3): 100-108.
- 9 Patel VM, Maleh R, Gilbert AC, Chellappa R. Gradient-based image recovery methods from incomplete Fourier measurements. IEEE Trans. on Image Processing, 2012, 21(1): 94-105.

- 10 Fang LY, Li ST, Nie Q, Izatt JA, Toth CA, Farsiu S. Sparsity based denoising of spectral domain optical coherence tomography images. *Biomedical Optics Express*, 2012, 3(5): 927–942.
- 11 Xu D, Huang Y, Kang JU. Assessment of robust reconstruction algorithms for compressive sensing spectral-domain optical coherence tomography. *SPIE BiOS. International Society for Optics and Photonics*. 2013. 1–14.
- 12 Zhang Z, Ganesh A, Liang X, et al. TILT: transform invariant low-rank textures. *International Journal of Computer Vision*, 2012, 99(1): 1–24.
- 13 Mardani M, Mateos G, Giannakis GB. Recovery of low-rank plus compressed sparse matrices with application to unveiling traffic anomalies. *arXiv preprint arXiv*. 2012, 1204. 6537.
- 14 Ganesh A, Min K, Wright J, et al. Principal component pursuit with reduced linear measurements. *Information Theory Proceedings (ISIT), 2012 IEEE International Symposium on*. IEEE. 2012. 1281–1285.
- 15 Ma Y, Niyogi P, Sapiro G, et al. Dimensionality reduction via subspace and submanifold learning. *Signal Processing Magazine, IEEE*, 2011, 28(2): 14–126.
- 16 Lin Z, Chen M, Wu L, Ma Y. The augmented Lagrange multiplier method for exact recovery of corrupted low-rank matrices[Technical Report]. UIUC UILU-ENG-09- 2215. 2009. 1–20.
- 17 Liu GC, Lin ZC, Yan SC, et al. Robust recovery of subspace structures by low-rank representation. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2013, 35(1): 171–184.
- 18 Salah MB, Mitiche A, Ayed IB. Multiregion image segmentation by parametric kernel graph cuts. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2011, 20(2): 545–557.
- 19 Gonzalez RC, Woods RE. *Digital Image Processing*, Reading, MA, Addison-Wesley, 1992.

(上接第 226 页)

成了这些算法优点。

随着网络系统数据流的增加,对安全的要求越来越高,入侵检测系统的性能要求也越来越高,蜂群算法入侵检测算法已经运用于千兆入侵检测产品中。网络入侵检测系统在运用过程中不仅需要攻击情况进行分析,还需要对网络系统的数据进行全面审计,保证网络流量处于合理监控方位,对网络分流产生重要的作用,对整个网络系统优化提供解决方案。

参考文献

- 1 唐正军,李建华.入侵检测技术.北京:清华大学出版社,2009:8–9.
- 2 卿斯汉,文伟平,蒋建春,马恒太,刘雪飞.一种基于网状关联分析的网络蠕虫预警新方法.通信学报,2010,25(7).
- 3 Stevens WR. *TCP/IP Illustrated, Volume 2: The Implement*. USA: Addison Wesley, 2009. 34–36.
- 4 Brodleyce C. Temporal sequence learning and data reduction for anomaly detection. *Proc. of the 5th Conference on Computer and Communications Security*. New York. 2009. 167–170.
- 5 李玉波,朱自强,郭军. *linux C 编程*.北京:清华大学出版社, 2009:254–271.
- 6 J. Holland. 自然界和人工系统的适应性.北京:北京科学出版社,1975:167–188.
- 7 陈江华.遗传算法求解 TSP 问题的研究进展.昆明理工大学学报(理工版),2009:45–47.
- 8 王莉.基于遗传算法的 0-1 背包问题求解.计算机仿真, 2009:36–40.