

全局颜色对比度检测和分割显著图的方法

刘臣辰, 张建秋

(复旦大学 信息科学与工程学院 智慧网络与系统研究中心和电子工程系, 上海 200433)

摘 要: 为了有效地检测和分割图像中多个显著性目标, 提出了全局颜色对比度检测和分割显著图的方法. 该方法首先通过提取全局颜色对比度的特征, 来获取初步的显著图, 然后再进一步利用颜色离散度和空间信息进一步提高它们的显著性. 以生成的显著图作为初始值, 给出了利用迭代动态更新的阈值, 来分割多个显著性目标的方法. 利用公开 Achanta 数据库的实验结果表明此方法在 ROC 曲线上的表现优于文献报道中的方法, 并且适用于多目标的检测与分割问题.

关键词: 全局颜色对比度; 显著性检测; 目标分割; 空间加权

中图分类号: TN911.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)12-0083-05

Saliency Map Detection and Segmentation Based on Global Color Contrast

LIU Chen-chen, ZHANG Jian-qiu

(Department of Electronic Engineering and The Research Center of Smart Networks and Systems,
School of Electronic Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: In this paper, a novel saliency map detection and segmentation method is proposed to detect and segment multiple salient objects. The key idea behind this method is to abstract global color contrast feature to obtain preliminary saliency map, which is later improved by the color dispersion and space information. Based on the saliency map, this method is able to segment multiple salient objects using iteratively and dynamically computed threshold. The experimental results on Achanta database verify the effectiveness of this method for saliency detection and segmentation.

Key words: global color contrast; saliency detection; object segmentation; space weighted

1 引言

任一时刻, 环境中均存在大量的视觉刺激. 经过漫长的进化, 人类视觉系统 (Human Visual System, HVS) 能够从复杂环境中, 快速提取感兴趣的目标与区域, 以降低视觉信号处理的复杂度. 这些引起视觉注意力的局部区域, 通常被称为显著性区域 (saliency region). 将场景中各个区域的显著性, 进行归一化后得到的图像称为显著图 (saliency map)^[1].

近年来, 文献报道了大量显著性检测算法^[1-6].

大部分此类算法试图利用亮度、颜色、边缘等底层特征, 来确定某一区域与其周围区域的对比度, 来计算获取显著性区域. 其中, 基于局部对比度的方法, 是利用图像区域相对于邻域的稀缺性来检测显著性. 其中经典的 Itti&Koch^[1]方法, 是利用多尺度图像特征的中心与环绕差异来计算显著图, 文献[2]则提出了基于傅里叶变换相位谱的方法. 另一类则是基于全局对比度的方法, 它们根据图像区域相对于全局的对比度差异来计算显著性, 包括 R Achanta 等人在文献[3]提出的基于频率调整的显著性检测与分割算法, 文献[4]报道了最大化显著性密度函数的

方法. 现有报道算法的主要缺点是: 基于局部对比度类的算法, 往往是通过检测图像边缘来计算显著性, 因此只有目标的边缘才可以产生较高的显著性; 而其他一些算法则只能检测全局最大显著性, 因而不适用于多目标检测问题; 忽略图像各部分空间关系的算法, 则未有效利用空间信息等等.

为此, 本文将从全局颜色对比度的角度来研究如何检测显著性, 并期待通过颜色离散度和空间信息来进一步优化检测到的显著图. 在此基础上, 为了有效地分割显著图中的多个目标, 本文试图通过迭代的方法来动态地计算阈值, 来得到分割后的二值图像以为后续目标追踪等图像处理问题提供自动目标检测的方法.

2 显著性检测的全局颜色对比度法

2.1 全局颜色对比度分析

在彩色图像中, 一个彩色像素点通常由 RGB 三个通道联合加以表示. 如果将彩色图像从 RGB 空间转换到 $L * a * b$ 空间^[7-8], 那么其中的 L 分量就描述了像素点的亮度, 而 a 和 b 分量则描述了像素点的色度. 如果定义像素点 I_i 的颜色为 c_i , 那么 c_i 在 $L * a * b$ 空间就可以表示为 $c_i = (L_i, a_i, b_i)$, 这样像素点 I_i 和 I_j 的颜色对比度则可定义为 c_i 和 c_j 的欧式几何距离, 即:

$$D(I_i, I_j) = D(c_i, c_j) = [(L_i - L_j)^2 + (a_i - a_j)^2 + (b_i - b_j)^2]^{1/2} \quad (1)$$

式(1)表明: 如果像素点 I_i 和 I_j 的颜色对比度越强, 那么 $D(I_i, I_j)$ 值就越大.

在复杂场景中, 人类视觉系统会根据高对比度的刺激, 来准确判断目标的显著性, 因此显著性目标和周围环境相比, 往往具有较强的颜色对比度^[5]. 基于这一观察, 对任一彩色图像 I , 我们就可定义某一个像素点 I_i 的显著性 $S(I_i)$, 是该像素点与其他所有像素点之间的颜色对比度之和, 数学上, 这一定义可以写成下式:

$$S(I_i) = D(I_i, I_1) + D(I_i, I_2) + \dots + D(I_i, I_N) \quad (2)$$

式中, N 代表图像 I 的总像素点, $D(I_i, I_j)$ ($j = 1, 2, \dots, N$) 是像素点 I_i 和 I_j 之间的颜色对比度.

此外, 从式(1)和(2)可以看出, 显著性 $S(I_i)$ 只与像素点 I_i 的颜色 c_i 相关. 对于图像 I 中任意两个相同颜色的像素点 I_j 和 I_k , 有 $D(I_i, I_j) = D(I_i, I_k)$. 因此, 我们可以将式(2)右边相同颜色的像素点整合在一起而得到下式:

$$S(I_i) = \sum_{j=1}^n f(c_j) D(c_i, c_j) \quad (3)$$

式中, n 代表图像 I 的总颜色个数; $f(c_j)$ 是颜色 c_j 在图像 I 中出现的频数.

2.2 颜色聚类与量化

将彩色图像从 RGB 颜色空间转换到 $L * a * b$ 空间, 共有 256^3 种不同的颜色, 因此计算式(3)的复杂度非常高. 我们注意到, 对图像显著性产生决定性影响的往往是图像中的几种主要颜色, 考虑到人类视觉系统存在的掩盖效应, 即人眼不能察觉低于灵敏度阈值的差异^[9]. 因此, 我们可采用 K-means 算法来对在 $L * a * b$ 空间的像素点进行聚类, 其中心个数设置为 M , 像素点 I_i 聚类后的颜色为 r_i , 那么式(3)就能简化为

$$S(I_i) = \sum_{j=1}^M f(r_j) D(r_i, r_j) \quad (4)$$

在本文中, 我们取 M 的值为 8. 为了说明式(4)的有效性, 让我们来看图 1 给出的例子, 图 1(a) 是测试图像, 图 1(b) 是据文献[10]给出的基于小波金字塔分解方法计算出的显著图, 图 1(c) 是由我们的式(4)所获得的显著图. 可以看到, 文献[10]的局部对比度的方法只在图像边缘处产生较高的显著性, 而本文方法则能够均匀地突出显著性目标.

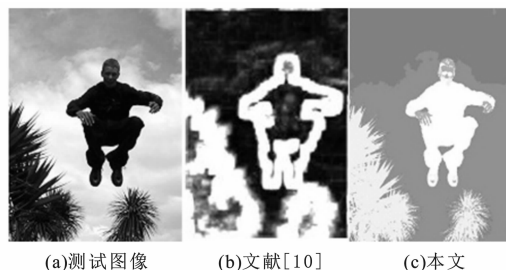


图 1 全局对比度与局部对比度方法生成的显著图

2.3 颜色离散度与边缘加权

除了全局颜色对比度, 空间信息对于视觉注意力选择机制也具有重要的影响. 在自然场景中, 显著性目标往往具有规则的形状, 并且在空间分布较为集中, 而天空、云彩、河流等目标则在空间分布比较离散. 因此, 下面我们将讨论如何利用颜色在空间上的离散度, 来进一步提高显著图的显著性. 为此我们定义某个颜色在空间上的分布离散度, 是该颜色像素点在空间位置上的方差, 数学上它的定义如下:

$$Dis(r_i) = \sum_{I(x_i, y_i) \in r_i} \frac{\| (x_i, y_i) - (x_0, y_0) \|_2}{K} \quad (5)$$

式中, (x_0, y_0) 为聚类后颜色为 r_i 的像素区域中心, (x_i, y_i) 是该区域内像素点的坐标, K 则是该区域像

素点个数,并归一化它们的坐标到 $[0, 1]$ 区间。

定义颜色离散度增强显著性式(4)的结果为

$$S(I_i) = \exp(-Dis(r_i)/\sigma^2) \sum_{j=1}^M f(r_j) D(r_i, r_j) \quad (6)$$

式中, σ^2 是颜色离散度的加权重, σ^2 越接近 0 时, 颜色离散度对显著图的影响大, 反之则小。根据经验, 本文实验中取 σ^2 的值为 0.2。

颜色离散度加权的显著性, 有利于提高对大范围非显著性目标的抑制, 如天空、云彩、河流等。图 2 给出了这样一个例子, 其中图 2(a) 为测试图像, 图 2(b) 为未加权计算的显著图, 图 2(c) 为 σ^2 取值 0.2 时由式(6) 获得的显著图。可以看到, 由于大面积云彩的离散度较高, 颜色离散度加权使得其显著性大为降低, 因而有利于正确地检测原图中的显著性目标。



(a)测试图像 (b)未加权计算的显著图 (c) $\sigma^2=0.2$

图 2 颜色离散度加权的效果

另外, 考虑到自然场景中, 显著性目标往往位于图像中间的位置, 与图像边缘重合的区域显著性一般较低。因此, 我们将可将图像 I 视为无向图 G , I 中的像素点是 G 中的顶点, 相邻顶点之间存在一条边 e 。这样我们就采用图的广度搜索算法^[11], 来将与图像边缘重合区域的显著性进行降低。

$$S(I_i) = S(I_i)' * \beta \quad \text{where } I_i \in \Theta \quad (7)$$

区域 Θ 内的像素点满足: 存在一条路径从图像边缘某一点 I_{near} 到 I_i 的路径, 且该路径上各像素点经过聚类后的颜色相等。其中, $S(I_i)'$ 是原始显著性, $S(I_i)$ 是加权后的显著性, β 是权值, β 越接近 0 表示边缘部分的显著性权值越低。本文实验中我们取 β 的值为 0.5。

3 分割显著图的动态阈值法

显著性目标通常是我们关心的目标, 为了对它们进行进一步处理, 例如在视频图像中对它们进行跟踪, 我们希望对上节研究的显著图做进一步处理, 即分割出显著图中的显著性目标, 以得到包含显著性目标的二值图像。为此, 我们首先根据显著图初始化前景目标和背景区域, 并设其他区域为待定区域,

再根据前景和背景的统计信息来对待定区域中的像素点做进一步划分, 经过多次迭代后, 使待定区域面积为 0, 以达到分割出显著性目标的目的。其处理的具体步骤如下。

(1) 初始化: 设输入归一化后的显著图为 S , 我们首先采用固定阈值初步分割出前景和背景区域。在本文中, 前景阈值 hi 选为 0.7, 背景阈值 lo 选为 0.2。其他区域设为待定。

(2) 迭代

(2.1) 统计信息: 统计计算出前景区域的均值 $mean_t$ 和最小值 min_t , 以及背景区域的均值 $mean_b$ 和最大值 max_b 。据下式更新前景阈值 hi 和背景阈值 lo :

$$\begin{aligned} hi &= hi - (1 - mean_t + min_t)\mu \\ lo &= lo + (1 - mean_b + max_b)\nu \end{aligned} \quad (8)$$

式中, μ 为前景阈值的迭代步长, $(1 - mean_t + min_t)$ 为步长加权值, 取值范围为 $[0, 1]$ 。观察显著图发现, 目标的显著性统计分布常常较为集中, 因此, 当目标区域的显著性最小值距离均值越远, 说明待定区域中存在目标的可能性越小, 应越谨慎更新目标区域。当目标区域的显著性距离均值越远, $(1 - mean_t + min_t)$ 的值越小, 此时 $(1 - mean_t + min_t)\mu$ 整体越小, 因此较少的待定区域的点会被归入目标区域, 与我们的期望符合。 ν 为背景阈值迭代步长, $(1 - mean_b + max_b)$ 为步长加权值, 其意义同理前景。 μ 和 ν 初始值均设为 0.05。

(2.2) 更新前景与背景区域: 对待定区域中的像素点, 可据式(8) 更新前景阈值 hi 和背景阈值 lo 。当显著值式(7) 同时落入前景和背景区域时, 该像素点将归入区域均值离它显著值更近的区域。

(2.3) 更新迭代步长: 此时, 如果前景区域已经更新, 则保持迭代步长 μ 不变; 否则, 说明没有新的像素点归入前景区域, 此时迭代步长 μ 应增大。根据实验, 选择迭代步长的增量为 0.05, 即 $\mu = \mu + 0.05$ 。对背景区域的迭代步长更新与上同理。

(2.4) 如果待定区域面积为 0, 则跳出循环, 否则重复步骤 2。

(3) 输出: 输出前景区域, 即得到包含显著性目标的二值图像。

此外, 为避免局部亮点显著性过高而掩盖了真实的目标, 我们设置前景区域占整幅画面比例至少为整幅画面的 10%。如果在迭代过程中没有达到这一比例, 则我们持续地增大前景区域的迭代步长 μ , 以便更多待定区域中的像素点归入前景区域。

4 实验与讨论

本文实验采用 R Achanta 等人于 2009 年公布的包含 1 000 张图像的数据库^[3],该库中每幅图像均含有精确显著性区域标注.该数据库被广泛应用于显著性检测和分割算法的验证与比较中.

4.1 显著图的视觉效果

首先,我们选取 Achanta 数据库中的部分图像,用本文算法检测和分割它们中的显著性目标,其视觉效果如图 3 所示.

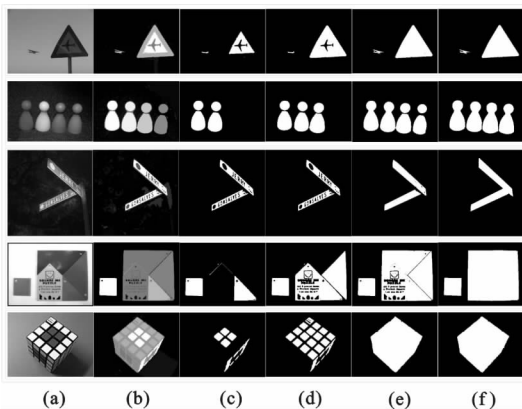


图 3 本文算法用于显著性检测和分割的视觉效果

在图 3 中,图 3(a)为测试图像,图 3(b)是本文算法得到的显著图,图 3(c)~(d)是分割算法在迭代过程中生成的目标二值图像,图 3(e)是最终包含显著性目标的二值图像,图 3(f)是由人工标记的目标二值图像.

从图 3 可以看到,本文算法利用全局颜色对比度,并结合颜色离散度和边缘加权能够将大范围的目标和背景分离开.在之后迭代的分割算法中,我们利用已确定的前景背景区域的统计信息,谨慎地更新待定区域,从而使我们能够有效地提取出显著性目标.特别的,从图 3 中第 1,2,4 幅测试图像可看出,本文算法适用于多目标的自动检测.

4.2 定量分析

我们采用正确率 precision、召回率 recall 和 F-测度 F-measure 等指标,来对我们的显著性检测和分割算法进行定量的分析.假设人工标记的二值图像为 Rmap,由客观显著性算法所得到的二值图像为 SMap,则其各项指标可具体定义如下^[3]:

$$\begin{aligned} \text{precision} &= \frac{\| \text{Rmap} * \text{SMap} \|_1}{\| \text{SMap} \|_1} \\ \text{recall} &= \frac{\| \text{Rmap} * \text{SMap} \|_1}{\| \text{Rmap} \|_1} \end{aligned} \quad (9)$$

式中, θ 代表正确率相对于召回率的权重,参照文献^[3]中的做法,取 $\theta = 0.3$ 可使正确率权重高于召回率.

我们据文献^[3]中的实验方法,采用固定阈值 T_f 来分割显著图,以得到包含显著性目标的二值图像.对于数据库中的所有图像,分别取正确率和召回率的均值,来作为算法在阈值为 T_f 时的正确率 Precision 和召回率 Recall.通过选取不同的阈值 T_f ,以 Precision 为纵轴、Recall 为横轴,绘制出 ROC(Receiver Operating Characteristic)曲线.在随机分割算法中,ROC 曲线为 $y=x$.当 ROC 曲线离 $y=x$ 越远,表示显著图模型与人工标记越一致.

图 4 是由 Achanta 数据库上由 FT^[3]、HC^[5]、LC^[12]、WT^[13]、SDCT^[14] 和本文算法所绘制的 ROC 曲线.当 T_f 取值最小值时,图像中所有的像素点都被认为是显著性目标,此时召回率为 1,正确率均为 0.2.说明在该数据库中,显著性目标的大小平均占整幅图像面积的 20%.另一方面,当 T_f 取最大值时,本文算法的召回率高于其他几种算法,说明显著性值最大的像素点中包含了更多的显著性目标.图 4 的结果说明相比较于文献报道中的算法,本文算法和人类视觉系统的注意力选择机制具有更好的一致性.

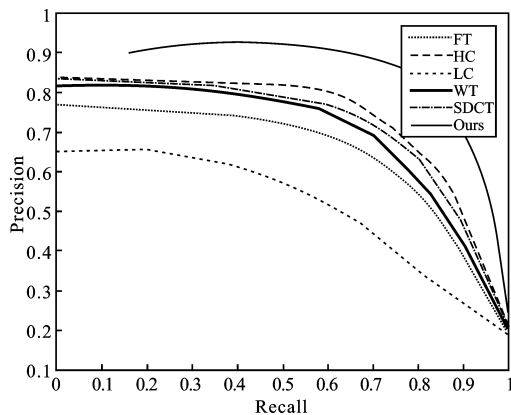


图 4 不同显著图模型的 ROC 曲线

5 结束语

本文提出了全局颜色对比度检测和分割显著图的算法.本文算法通过全局颜色对比度的特征计算显著图,并结合颜色离散度和空间信息进一步提高目标的显著性.以生成的显著图作为初始值,本文给出了利用迭代动态更新的阈值,来分割多个显著性目标的方法,适用于多目标检测.在实验中发现,有效的显著性检测方法应结合全局对比度和局部对比

度,且图像的景深信息有利于判断显著性目标的位置.这也是下一步努力的方向.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Ma Q, Zhang L. Saliency-based image quality assessment criterion[C]//International Conference on Intelligent Computing. Springer Berlin Heidelberg, 2008: 1124-1133.
- [3] Achanta R, Hemami S, Estrada F, et al. Frequency-tuned salient region detection[C]//Computer vision and pattern recognition, 2009. cvpr 2009. IEEE conference on. IEEE, 2009: 1597-1604.
- [4] Luo Y, Yuan J, Xue P, et al. Saliency density maximization for efficient visual objects discovery[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2011, 21(12): 1822-1834.
- [5] Cheng M M, Mitra N J, Huang X, et al. Global contrast based salient region detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 37(3): 569-582.
- [6] Borji A, Cheng M M, Jiang H, et al. Salient object detection: A benchmark[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2015, 24(12): 5706-5722.
- [7] Hunter R S. Photoelectric color difference meter[J].

Josa, 1958, 48(12): 985-995.

- [8] Hunter R S. Accuracy, precision, and stability of new photoelectric color-difference meter[J]. Journal of the Optical Society of America, 1948, 38(12): 1094.
- [9] Liu T, Yuan Z, Sun J, et al. Learning to detect a salient object[J]. IEEE Transactions on Pattern analysis and machine intelligence, 2011, 33(2): 353-367.
- [10] 黄虹, 张建秋. 彩色自然场景统计显著图模型[J]. 复旦学报(自然科学版), 2014, 53(1): 51-58.
- [11] Bundy, Alan, Lincoln Wallen. Breadth-First Search[M]. Springer Berlin Heidelberg, 1984:13.
- [12] Zhai Y, Shah M. Visual attention detection in video sequences using spatiotemporal cues[C]//Proceedings of the 14th ACM international conference on Multimedia. ACM, 2006: 815-824.
- [13] Imamoglu N, Lin W, Fang Y. A saliency detection model using low-level features based on wavelet transform[J]. IEEE transactions on multimedia, 2013, 15(1): 96-105.
- [14] Bai P, Cui Z, Gan Z, et al. A novel saliency detection model based on curvelet transform[C]//Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2016 8th International Conference on. IEEE, 2016: 1-5.

作者简介:

刘臣辰 女,(1992-),研究生.研究方向为图像处理.

E-mail:14210720037@fudan.edu.cn.

张建秋 男,(1962-),教授.研究方向为阵列信号处理.

(上接第 82 页)

综上所述,本文讨论的图元装配组件能够很好地实现对图元快速装配的功能并且满足设计要求,在很大程度上提高了处理器的速率.

参考文献:

- [1] 吴恩华. 图形处理器用于通用计算的技术、现状及其挑战[J]. 软件学报, 2004, 15(10):1493-1504.
- [2] 邓军勇, 李涛, 蒋林,等. 面向 OpenGL 的图形加速器设计与实现[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2015, 42(6):124-130.
- [3] 王丹, 韩俊刚, 杨世旺,等. 图元装配的硬件设计与验证[C] //中国计算机图形学大会. 中国计算机学

会, 2012.

- [4] 罗琨, 曹阳, 尹建华,等. 数字专用集成电路设计中的 SystemC 建模验证方法[J]. 武汉大学学报(理学版), 2002, 48(3):306-310.
- [5] 韩伟. 图形处理芯片的研究与设计验证[D]. 上海:上海交通大学, 2008.

作者简介:

周高财 男,(1992-),硕士研究生.研究方向为电路与系统.

E-mail:374661708@qq.com.

李涛 男,(1954-),教授.研究方向为计算机体系结构、计算机图形学.

贺琼 女,(1992-),硕士研究生.研究方向为电路与系统.