

8-14-2020

Image Resizing Method Based on Gradient and Visual Saliency

Xingquan Cai

1. School of Computer Science, North China University of Technology, Beijing 100144, China;;

Buni Honghao

1. School of Computer Science, North China University of Technology, Beijing 100144, China;;

Yuqing Qiao

1. School of Computer Science, North China University of Technology, Beijing 100144, China;;2. Department of New Media, Kennesaw State University, Atlanta 30060, USA;;

Jinghua Liu

1. School of Computer Science, North China University of Technology, Beijing 100144, China;;3. Xingtang Communications Technology Co. Ltd, Beijing 100191, China;;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Image Resizing Method Based on Gradient and Visual Saliency

Abstract

Abstract: In order to delete the image region without obvious features, and not damage the main features of the target for mobile applications, the image resizing method was provided based on gradient and visual saliency. *The original image was grayed, and the gradient energy matrix from the gradient of neighborhood pixels was obtained. The complex energy matrix was obtained by weighted sum of visual saliency energy and image gradient energy matrix. The cumulative energy matrix and minimal energy trajectory matrix were calculated, and the minimal energy seam of image was got. The image resizing was completed by deleting the minimal energy seam in horizontal vertical interspersed sequence.* The experiments results show that the complex energy matrix combined the gradient energy with visual saliency energy can recognize target object better, and this method discards the background without obvious features and preserves target object features.

Keywords

image resizing, visual saliency, gradient energy, minimal energy seam

Authors

Xingquan Cai, Buni Honghao, Yuqing Qiao, Jinghua Liu, and Fengxia Li

Recommended Citation

Cai Xingquan, Buni Honghao, Qiao Yuqing, Liu Jinghua, Li Fengxia. Image Resizing Method Based on Gradient and Visual Saliency[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(9): 2169-2175.

一种基于梯度与视觉显著度的图像缩放方法

蔡兴泉¹, 布尼泓灏¹, 乔雨晴^{1,2}, 柳静华^{1,3}, 李凤霞⁴(1. 北方工业大学计算机学院, 北京 100144; 2. 肯尼索州立大学新媒体系, 美国 亚特兰大 30060;
3. 兴唐通信科技有限公司, 北京 100191; 4. 北京理工大学智能信息技术北京市重点实验室, 北京 100081)

摘要: 提出了一种面向移动应用的基于梯度与视觉显著度的图像缩放方法。对原图像灰度化后, 考虑邻域像素的梯度影响, 计算图像梯度能量矩阵; 建立视觉显著度模型, 将视觉显著度能量矩阵与图像梯度能量矩阵加权相加, 得到复合能量矩阵; 根据复合能量矩阵, 计算图像的累计最小能量矩阵和能量最小轨迹矩阵, 计算图像的最小能量缝合线; 采用水平垂直穿插顺序, 对缝合线进行删除或插入实现图像缩放。结果表明, 梯度能量与视觉显著度能量加权的复合能量图像能更好的识别图像目标区域; 进行缩放时, 丢弃了特征不明显的背景, 保留了目标图像特征, 明显优于传统方法。

关键词: 图像缩放; 视觉显著度; 梯度能量; 最小能量缝合线

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 09-2169-07

Image Resizing Method Based on Gradient and Visual Saliency

Cai Xingquan¹, Buni Honghao¹, Qiao Yuqing^{1,2}, Liu Jinghua^{1,3}, Li Fengxia⁴(1. School of Computer Science, North China University of Technology, Beijing 100144, China;
2. Department of New Media, Kennesaw State University, Atlanta 30060, USA; 3. Xingtang Communications Technology Co. Ltd, Beijing 100191, China;
4. Beijing Laboratory of Intelligent Information Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to delete the image region without obvious features, and not damage the main features of the target for mobile applications, the image resizing method was provided based on gradient and visual saliency. The original image was grayed, and the gradient energy matrix from the gradient of neighborhood pixels was obtained. The complex energy matrix was obtained by weighted sum of visual saliency energy and image gradient energy matrix. The cumulative energy matrix and minimal energy trajectory matrix were calculated, and the minimal energy seam of image was got. The image resizing was completed by deleting the minimal energy seam in horizontal vertical interspersed sequence. The experiments results show that the complex energy matrix combined the gradient energy with visual saliency energy can recognize target object better, and this method discards the background without obvious features and preserves target object features.

Keywords: image resizing; visual saliency; gradient energy; minimal energy seam

引言

当前智能手机已经普及, 面向手机的图像应



收稿日期: 2016-05-30 修回日期: 2016-07-14;
基金项目: 国家自然科学基金(61503005), 北京市自然科学基金(4162022), 北方工业大学长城学者(CC08);
作者简介: 蔡兴泉(1980-), 男, 山东, 博士, 副教授, 研究方向为虚拟现实。

用越来越多。这就需要对图像进行缩放, 以适应显示设备对图像分辨率和纵横比的要求^[1], 使同一幅图像可应用于多种显示终端。利用手机可以随时随地拍摄图像, 但是所拍摄的图像中大多含有天空、大地等纹理特征不明显的背景。缩放图像时, 如何能够裁减掉这些背景信息以减少图像容量, 同时保证图像目标特征的主体结构不受破坏, 这是当前面向移动应用的图像识别领域的研

究热点和难点。

传统的图像缩放算法依据缩放比例需要均匀增加或者减少采样点, 实现图像缩放。传统的图像缩放在图像等比例放缩时, 不会破坏图像中目标物体的主体结构。但该方法对图像所有像素同等对待处理, 无法对不同重要程度的像素进行有针对性的取舍。此外, 对于不等比例的图像缩放, 传统的图像缩放方式会导致图像中的目标物体发生变形, 这是用户缩放图像时所不愿意看到的情形。因此, 有必要研究一种面向移动应用的图像缩放方法, 剔除图像中纹理特征不明显区域的同时, 尽可能保证图像中目标物体的主体结构特征不受损害。

1 相关工作

传统图像缩放在改变图像长宽比时, 会引起图像中的主体对象产生压扁或拉伸的失真畸变。2007 年, Avidan^[2]首次提出内容感知图像缩放, 通过自动识别图像中各个区域的重要度, 对重要度高的主体区域尽量保持不变或保持统一缩放, 利用梯度作为图像的能量函数, 根据图像能量函数的大小对图像的像素点进行有针对性的取舍; 能够有效保留图像中纹理及物体边缘清晰的像素。但图像放缩过程中会导致图像的主体结构发生变形, 具有很大的应用局限性。Liu^[3]提出了一种模拟鱼眼视图的算法, 模拟了鱼眼对外界感知的效果, 利用透视变换放大图像局部区域, 压缩该区域周围像素, 并将其作为背景显示; 处理的图像只能有一个显著物体对象并且该对象处于图像中心, 应用范围比较狭窄。Setlur^[4]利用视觉显著度找出图像中的目标物体, 以此为依据进行背景重建。该方法减少了图像物体间的空隙, 增加了图像中显著物体部分的尺寸。但是复杂度太高、鲁棒性不强, 且只适用于图像放缩前后纵横比不同的场景。时健^[5]提出了一种基于三角网格参数化的图像放缩算法, 将图像表示为特征网格, 利用网格参数化解决图像的自适应问题。施

美玲^[6]提出一种既考虑网格形状, 又考虑网格大小的形变量度量模型, 在图像重要度约束下, 通过简单的参数调整让用户选择性地控制主体对象的大小, 能在缩放时根据用户需求控制主体对象大小。崔普明^[7]提出一种基于网格变形的图像缩放算法, 在网格上建立保持整体形状的能量函数, 结合约束条件, 通过求解凸二次规划问题得到变形后的网格坐标, 实现图像放缩。2014 年, 李钰颖^[8]提出一种边缘特性保持的图像缩放算法, 通过侦测边缘像素并结合内插运算, 对边缘进行平滑修补的方法进行图像放缩。该方法可以使图像放大后的观看效果得到明显改善, 但是该方法不适用于图像缩小。

人们利用手机可以随时随地拍摄图像, 但是所拍摄的图像中大多含有天空、大地等纹理特征不明显的背景。为了满足手机应用缩放图像的需要, 这就需要剔除图像中纹理特征不明显区域的同时, 尽可能保证图像中目标物体的主体结构特征不受损害, 实现面向手机的特征识别应用。最常用的特征即是 SIFT 特征^[9]。为此, 本文主要研究一种基于梯度与视觉显著度的图像缩放方法。

2 基于梯度与视觉显著度的图像缩放算法

为了适应不同显示分辨率的移动设备需要, 需要对图像进行缩放。为了尽可能保证图像中目标物体的主体结构特征不受损害, 缩放时需要依据像素重要程度进行有针对性取舍, 本文主要研究基于梯度与视觉显著度的图像缩放算法。

基于梯度与视觉显著度的图像缩放算法具体的步骤为: (1) 建立梯度能量模型。对原始图像进行灰度化处理, 得到待计算的灰度图像; 计算图像的水平梯度矩阵以及垂直梯度矩阵; 将水平梯度矩阵与垂直梯度矩阵相加, 得到复合梯度矩阵, 即图像梯度能量模型。(2) 建立视觉显著度模型。利用视觉显著性得到图像的视觉显著度数值矩阵; 将得到的视觉显著度数值矩阵加权, 与

之前图像梯度能量矩阵相加, 得到最终的复合能量矩阵。(3) 计算图像缝合线。根据复合能量矩阵得到图像的累计最小能量矩阵和能量最小轨迹矩阵; 查找累计最小能量矩阵中能量最小值的像素位置, 在能量最小轨迹矩阵中找到连通该像素位置的最小能量缝合线; 不断删除或插入图像中的最小能量缝合线实现图像缩放。按照此方法实现保留目标主体结构特征的图像缩放。

2.1 建立梯度能量模型

利用图像梯度值的大小可以很好地检测出图像中纹理特征或边缘特征明显的区域。对于彩色图像来说图像梯度模型计算主要有三种: 直接计算彩色图像的梯度模型、图像灰度化后计算梯度模型、图像灰度化后计算图像邻域梯度模型等。

通过实验对比发现, 相比于直接计算彩色图像的梯度模型和图像灰度化后计算梯度模型, 图像灰度化后计算图像邻域梯度模型在图像边缘处的梯度函数值更大, 在非边缘相对平滑的图像区域数值更小, 更好的体现像素在图像中的重要性。因此, 本文采用图像灰度化后计算图像邻域梯度模型。

图像灰度化后, 考虑邻域像素的梯度影响, 采用 3×3 的邻域梯度直方图方法计算得到图像邻域梯度 $e_g(I)$, 如公式(1)所示。其中 grad1 , grad2 , grad3 , grad4 由公式(2)得到。

$$e_g(I) = \max(\text{grad1}, \text{grad2}, \text{grad3}, \text{grad4}) \quad (1)$$

$$\begin{cases} \text{grad1} = |\text{Gray}[i+1][j] - \text{Gray}[i-1][j]| \\ \text{grad2} = |\text{Gray}[i][j+1] - \text{Gray}[i][j-1]| \\ \text{grad3} = |\text{Gray}[i+1][j+1] - \text{Gray}[i-1][j-1]| \\ \text{grad4} = |\text{Gray}[i-1][j+1] - \text{Gray}[i+1][j-1]| \end{cases} \quad (2)$$

在实际的计算过程中, 为了能够实现独立删除图像中的行和列, 可分别计算图像的水平梯度矩阵和垂直梯度矩阵。然后, 将图像的水平梯度矩阵和垂直梯度矩阵相加, 从而得到复合梯度矩阵, 即图像梯度能量模型。

2.2 建立视觉显著度模型

利用图像的梯度能量模型对图像进行缩放, 图像中纹理和边缘特征明显的目标物体区域和背景区域均保持不变, 特征不明显的背景区域会被裁减掉。然而, 图像目标物体中相对平滑的区域也会被裁剪掉。因此, 仅仅依据图像的梯度能量模型进行图像缩放, 会导致图像目标物体特征受损, 无法完成后续图像识别。为此, 本文将视觉显著度模型与梯度能量模型相结合作为最终的能量模型, 并依据该能量模型对图像进行缩放。

视觉显著度模型定义如公式(3)所示。其中, f 是图像的傅里叶变换结果, $R(f)$ 是图像的 SR 谱 (Special Residual), $L(f)$ 是图像的 \log 振幅谱, $A(f)$ 是图像的平均 \log 振幅谱。 $A(f)$ 由 $L(f)$ 进行 3×3 的均值滤波得到。对图像的 SR 谱与相位谱求和, 求指数谱, 进行傅里叶逆变换, 高斯模糊图像, 可得到图像的视觉显著度能量矩阵 $e_s(I)$ 。

$$R(f) = L(f) - A(f) \quad (3)$$

$$e(I) = (1 - \alpha)e_g(I) + \alpha e_s(I) \quad (4)$$

将视觉显著度能量矩阵 $e_s(I)$ 与图像梯度能量矩阵 $e_g(I)$ 加权相加, 得到复合能量矩阵, 如公式(4)。其中, α 代表图像的显著度模型能量占图像复合能量的比例, 取值范围为 $[0, 1]$ 。当 $\alpha = 0$ 时, 表示不考虑视觉显著度能量, 则图像的梯度能量为图像总能量; 当 $0 < \alpha < 1$ 时, 表示视觉显著度能量占图像复合能量的比例为 α ; 当 $\alpha = 1$ 时, 表示不考虑梯度能量, 图像的显著度能量即为图像复合能量。

采用图像的复合能量模型既能检测出图像中纹理与边缘特征明显地区域, 也能检测出图像中视觉显著目标物体。通过实验对比发现, α 在 $[0.25, 0.35]$ 之间时, 图像缩放效果最好。

2.3 计算图像缝合线

图像缩放时, 根据图像的复合能量矩阵 $e(I)$, 得到图像的累计最小能量矩阵和能量最小轨迹矩阵; 依据图像的累计最小能量矩阵和能量最小轨

迹矩阵，可得到图像的最小能量缝合线；接着对缝合线进行删除或插入实现图像缩放。

根据图像的复合能量矩阵，图像的累计能量值定义如公式(5)所示。图像中每一个像素的累计能量均为前面所有行、列最小复合能量的和。

$$E(s) = E(I_s) = \sum_{i=1}^n e(I(s_i)) \quad (5)$$

图像的列累计能量由公式(6)计算得到。 $M(i, j)$ 代表图像在 (i, j) 处的列最小累计能量，由上一行相邻三个像素最小累计能量与当前像素复合能量相加得到。同理，图像的行累计能量由公式(7)计算得到。 $M(i, j)$ 代表图像在 (i, j) 处的行最小累计能量，由上一列相邻 3 个像素最小累计能量与当前像素复合能量相加得到。

$$M(i, j) = e(i, j) + \min(M(i-1, j-1), M(i, j-1), M(i+1, j-1)) \quad (6)$$

$$M(i, j) = e(i, j) + \min(M(i-1, j-1), M(i-1, j), M(i-1, j+1)) \quad (7)$$

图像的列能量最小轨迹矩阵由一系列垂直能量缝合线构成。用 I 表示一幅 $m \times n$ 的图像，则垂直能量缝合线如公式(8)所示。其中， x 代表映射 $x: [1, \dots, n] \rightarrow [1, \dots, m]$ 。垂直能量缝合线是八连通通路，自上而下穿越整幅图像，在每行中有且仅包含有一个像素。同理，图像的行能量最小轨迹矩阵由一系列水平能量缝合线构成。水平能量缝合线如公式(9)所示。其中， y 代表映射 $y: [1, \dots, m] \rightarrow [1, \dots, n]$ 。水平能量缝合线也是八连通通路，自左向右穿越整幅图像，在每列中有且仅包含有一个像素。

$$S^x = \{S_i^x\}_{i=1}^n = \{(x(i), i)\}_{i=1}^n, \quad \text{s.t. } \forall i, |x(i) - x(i-1)| \leq 1 \quad (8)$$

$$S^y = \{S_j^y\}_{j=1}^m = \{(j, y(j))\}_{j=1}^m, \quad \text{s.t. } \forall j, |y(j) - y(j-1)| \leq 1 \quad (9)$$

在计算图像最小能量缝合线时，其实是将图像查找的路线记录到最小能量轨迹矩阵 $N(i, j)$ 中。如图 1 所示，假设上一列最小能量像素位置在左

下角，则标记当前像素的能量轨迹值为 0；上一列最小能量像素在正左方，则标记当前像素的能量轨迹值为 1；上一列最小能量像素在左上角，则标记当前像素的能量轨迹值为 2。如此，对图像的每一列像素进行计算，可得到图像的行能量最小轨迹矩阵。

$(i-1, j-1)$	$(i-1, j)$	$(i-1, j+1)$
$(i, j-1)$	(i, j)	$(i, j+1)$
$(i+1, j-1)$	$(i+1, j)$	$(i+1, j+1)$

图 1 图像的像素位置展示

图像所有行列最小能量缝合线通过图像的能量最小轨迹矩阵查找得到。查找时，第一个像素位置由累计能量最小矩阵决定。图像的累计最小能量矩阵中最后一列或最后一行能量值最小的像素位置，即为当前图像的最小能量缝合线的终点位置。在最小能量轨迹矩阵中可依据该位置查找最小能量缝合线的所有像素位置，对该缝合线进行删除或插入实现图像缩放。

假设源图像尺寸为 $m \times n$ ，目标图像的尺寸为 $m1 \times n1$ ，其中 $0 < m1 < m$ ， $0 < n1 < n$ 。此时，在图像中同时查找水平方向和垂直方向最低的能量缝合线，然后再对其进行删除。这种双方向的删除会产生优先级的问題。本文采用的是水平垂直穿插进行的优先级顺序。

3 实验结果及其分析

为了验证本文的基于梯度与视觉显著度的图像缩放方法的可行性和有效性，本文设计并实现了该算法，并加以应用。该系统的硬件环境为 Intel Core i5 3.2GHz 的 CPU、4GB 内存、NVIDIA GeForce315 的显卡，软件开发环境为 Windows7，VS2010，OpenCV 等；手机的硬件环境为 4.2.1HM2013022 的 Android 版本、四核 1.5GHz 处理器、1.00G 运行内存，4.00G 内存卡。

3.1 复合能量图像计算实验

采集北方工业大学第一教学楼建筑物图像为例, 进行验证。将图像灰度化后, 按照本文的方法, 以此计算其梯度能量图像、视觉显著度能量图像以及梯度与视觉显著度相结合的复合能量图像, 如图 2 所示。可以发现, 复合能量图像相比于梯度图像能更好的识别图像中的特征明显的区域。



(a) 原图像



(b) 计算的梯度能量图像



(c) 计算的视觉显著度能量图像



(d) 从原图像中提取出来的梯度能量与视觉显著度能量相结合的复合能量图像

图 2 复合能量图像计算

3.2 与传统的图像缩放算法效果对比实验

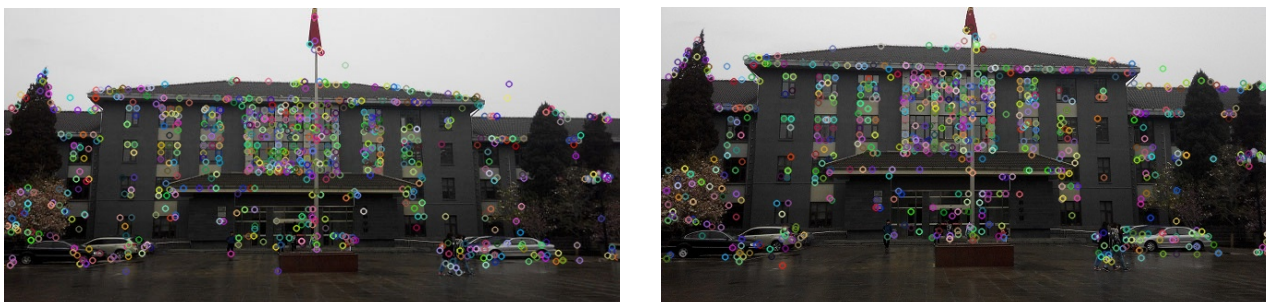
采集北方工业大学第一教学楼建筑物图像, 采用传统缩放方法、本文缩放方法后, 提取 SIFT 特征, 对比实验效果。设计了 3 组对比实验: (1) 两种不同算法在图像水平方向缩小 50 像素、100 像素后提取 SIFT 特征; (2) 两种不同算法在图像垂直方向缩小 50 像素、100 像素后提取 SIFT 特征; (3) 两种不同算法在图像水平方向、垂直方向同时缩小 50 像素、100 像素后提取 SIFT 特征。

如图 3 所示, 左侧图像是利用传统的缩放算法缩小图像后提取 SIFT 特征效果图, 右侧图像是采用本文算法缩小图像后提取 SIFT 特征的效果图。其比较效果图如下所示。通过实验效果可以看出, 本文设计的方法保留了楼体目标图像, 丢弃了天空背景。

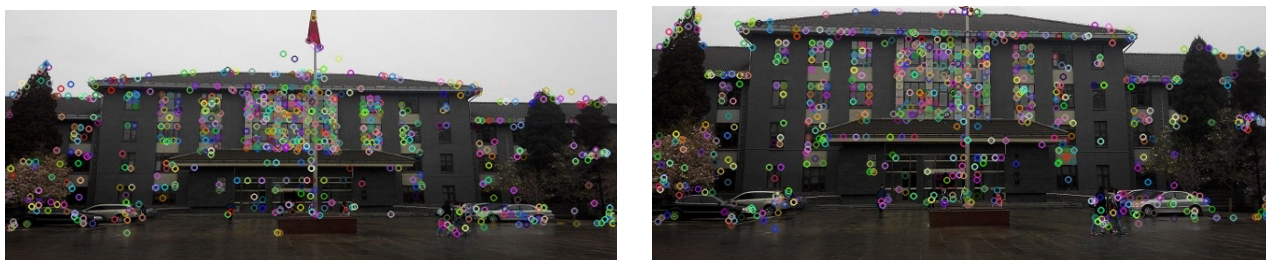
利用传统缩放和本文缩放两种算法缩小图像后, 提取 SIFT 特征数量, 进行统计比较。具体数据如表 1 所示。从表中可以发现, 无论是从单一方向上缩小图像, 还是从两个方向上同时缩小图像, 本文的缩放算法所提取到的图像 SIFT 特征均比采用传统方式提取到的图像特征多。图像缩小比例与 SIFT 特征点的提取个数并不是成正比的, 这要视图像中建筑物占整幅图像的比例决定。经过实验验证发现, 与传统的图像缩放算法相比, 针对含有大片的天空、大地等建筑物图像目标及大尺寸图像目标缩小图像时, 采用本文算法优势更加明显, 保留的图像特征点更多。

3.3 面向移动应用的建筑物图像识别系统

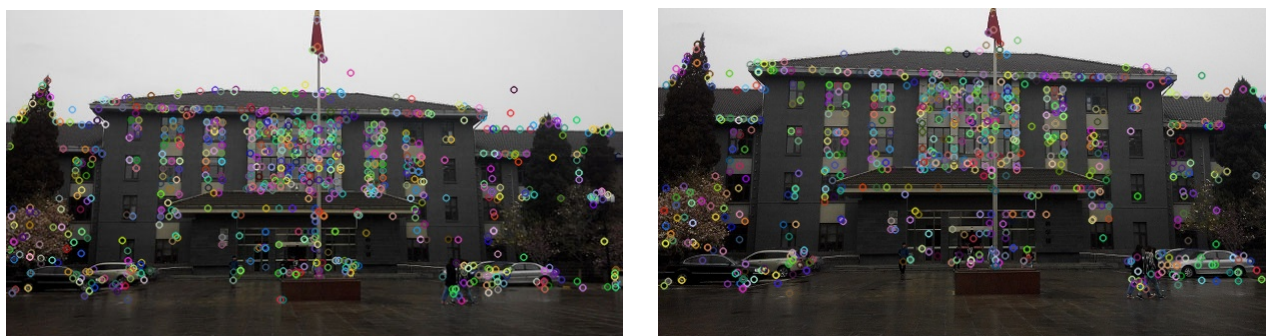
本文设计了面向移动应用的建筑物图像识别系统, 分为手机端和服务端。手机端利用本文方法缩小图像, 然后利用无线网传输图像到服务器端; 服务器端接收图像后, 提取图像特征, 进行特征匹配, 返回识别结果。服务器端包含有事先采集的地标性建筑物图像; 采集完毕后, 利用本文方法进行缩放, 提取特征并保存。



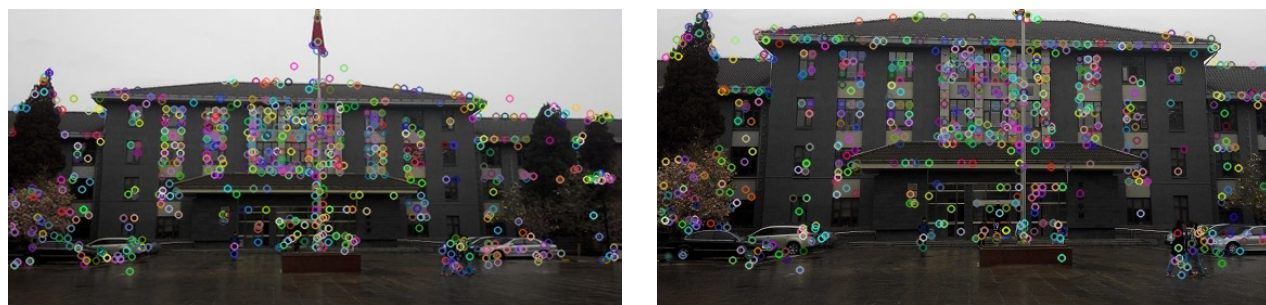
(a) 两种不同算法在图像垂直方向缩小 50 像素的效果图



(b) 在图像垂直方向缩小 100 像素的效果图



(c) 在图像水平方向、垂直方向各缩小 50 像素后得到的效果图



(d) 在图像水平方向、垂直方向各缩小 100 像素后得到的效果图

图 3 与传统的图像缩放算法效果对比

表 1 两种算法缩小图像后保留 SIFT 特征数量比较

算法/特征点数	水平缩小 50 像素	水平缩小 100 像素	垂直缩小 50 像素	垂直缩小 100 像素	水平垂直缩小 50 像素	水平垂直缩小 100 像素
传统缩放	801	800	781	773	742	739
本文算法	829	868	814	784	856	777

本文已经采集了天安门、王府井、圆明园、颐和园、植物园、清华大学、天坛、鸟巢、水立方、北方工业大学等地标性建筑物图像, 利用本文方法构建了图像数据库, 也设计了手机端和服务端, 实现了很好的识别与匹配, 很好的应用了本文的方法。如图 4 所示, 图 4(a)为用安卓手机拍摄照片, 经过缩放后, 通过无线网上传到服务器, 进行特征提取和特征匹配, 返回识别结果, 如图 4(b)所示。

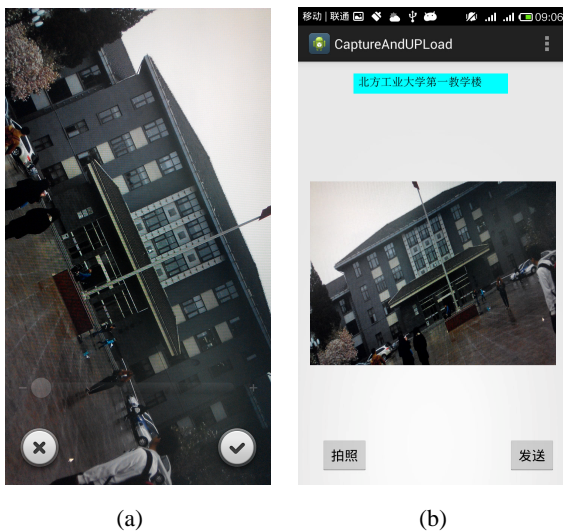


图 4 面向移动应用的建筑物图像识别系统效果图

4 结论

面向移动应用的图像识别需要对图像缩放减少图像数据的容量, 既要剔除图像中纹理特征不明显的区域, 又要尽可能的保证图像中目标物体的主体架构及特征不受损害。本文设计并实现了基于梯度与视觉显著度的图像缩放方法。对原始图像进行灰度化后, 建立梯度能量模型, 考虑邻域像素的梯度影响, 计算图像梯度能量矩阵; 建立视觉显著度模型, 将视觉显著度能量矩阵与图像梯度能量矩阵加权相加, 得到复合能量矩阵; 根据复合能量矩阵, 计算图像的累计最小能量矩阵和能量最小轨迹矩阵, 计算图像的最小能量缝

合线, 采用水平垂直穿插进行的优先级顺序, 对缝合线进行删除或插入实现图像缩放。实验验证表明, 梯度能量与视觉显著度能量相结合的复合能量图像能更好的识别图像目标区域; 进行缩放时, 丢弃了背景, 保留了目标图像特征, 明显优于传统方法。

进一步研究内容包括: (1) 针对 SIFT 特征高维特性导致特征提取时间长、耗费内存高问题, 进行压缩量化计算得到低维特征描述算子; (2) 优化基于欧氏距离的特征匹配方法, 提高其匹配准确率。

参考文献:

- [1] 梁云, 傅贤超, 刘财兴. 重要区域保持的图像缩放质量评价方法 [J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(8): 1168-1175.
- [2] Avidan S, Shamir A. Seam carving for content-aware image resizing [J]. ACM Transactions on Graphics (S0730-0301), 2007, 26(3): 267-276.
- [3] Liu F, Gleicher M. Automatic image retargeting with fisheye-view warping [C]//Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on UIST. USA: ACM, 2005: 153-162.
- [4] Setlur V, Lechner T, Nienhaus M, et al. Retargeting images and video for preserving information saliency[J]. IEEE Computer Graphics and Applications (S0272-1716), 2007, 27(5): 80-88.
- [5] 时健, 郭延文, 杜振龙, 等. 一种基于网格参数化的图像适应方法 [J]. 软件学报, 2008, 19(增 1): 19-30.
- [6] 施美玲, 徐丹. 主体大小能控的内容感知图像缩放 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2011, 23(5): 915-922.
- [7] 崔普明, 刘秀平, 王小超, 等. 一种基于网格变形的图像缩放方法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(6): 788-793.
- [8] 李钰颖. 边缘特性保持图像缩放方法的研究与实现 [D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [9] David G. Lowe. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision (S0920-5691), 2004, 60(2): 91-110.