

# 融合区域轮廓信息的图像适应

马金素<sup>1</sup>, 杜晓凤<sup>2,3</sup>, 陈 诚<sup>4</sup>

MA Jinsu<sup>1</sup>, DU Xiaofeng<sup>2,3</sup>, CHEN Cheng<sup>4</sup>

1. 郑州牧业工程高等专科学校 信息工程系, 郑州 450011

2. 厦门大学 数学学院, 福建 厦门 361005

3. 厦门华侨电子博士后工作站, 福建 厦门 361006

4. 厦门大学 信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005

1. Department of Information Engineering, Zhengzhou College of Animal Husbandry Engineering, Zhengzhou 450011, China

2. School of Mathematics, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China

3. Postdoctoral Workstation of Xiamen Overseas Chinese Electronic Co., Ltd, Xiamen, Fujian 361006, China

4. School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China

**MA Jinsu, DU Xiaofeng, CHEN Cheng. Image retargeting through fusion of contour and region information. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(24): 182-186.**

**Abstract:** Image retargeting techniques aim to adapt images to the target screens with different sizes and aspect ratios. This has been one of the hot topics in multimedia research. Its key is to highlight important areas, keep continuity and avoid twists. This paper presents a novel image retargeting method. Based on human visual attention, energy map and sensitivity energy maps are calculated by salient region features and weighted contour features, respectively. Thus, in the process of scaling these low-energy lines of the non-important content are deleted or inserted in order to avoid the important part of the image distortion. The experimental results show that the method has a good anti-distortion performance in the ranks of non-proportional scaling.

**Key words:** image retargeting; content-aware; low-energy line

**摘 要:** 图像显示适应面临展示面积受限、长宽比不固定等问题, 已经成为多媒体领域的研究热点之一。关键是收缩后能够凸显图像重要区域, 保持连续, 避免扭曲。提出了一种基于区域轮廓能量的图像显示适应算法, 通过对图像的视觉显著度分析, 得到符合人类视觉的图像区域轮廓能量分布图。这样, 在缩放过程中, 删除或复制表示非敏感内容的低能量线, 并且在显示图像内容的同时突出图像中的显著区域。实验结果表明, 该方法保持了图像中显著目标的原始比例, 具有很好的抗畸变性能。

**关键词:** 图像适应; 内容感知; 低能量线

**文章编号:** 1002-8331(2012)24-0182-05 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391.41

## 1 引言

随着数码相机、摄像机等电子产品的普及, 高分辨率数字图像的数量呈现海量增长。随之而来的是, 不同设备和平台之间信息共享的需要: 很多场合下, 人们往往把高分辨率的图像显示在低分辨率的

手机、平板电脑等移动设备上。图像显示适应最简单的方法, 即等间隔重采样或者是等间隔的插值计算。而目前的电子产品, 屏幕长宽比例不尽相同, 以手机为例, 存在 16:9, 2:1 或 4:3 等情况。当原始图像长宽比例与显示终端的长宽比例不同时, 采用普

**基金项目:** 教育部新世纪优秀人才支持计划(No.NCET-09-0126); 河南省科技创新杰出青年基金项目; 航空科学基金项目(No.20095155008); 河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目; 郑州市科技局科技计划项目(No.10PTGG342-1)。

**作者简介:** 马金素(1975—), 女, 讲师, 主要研究领域: 人工智能、数据库。E-mail: xfd2005@gmail.com

**收稿日期:** 2011-03-08 **修回日期:** 2011-04-28 **CNKI 出版日期:** 2011-08-04

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2012.24.041 <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20110804.1610.134.html>

通的长度等比例缩放技术,图像会发生畸变。如图1所示,图1(a)是原始图像,图1(b)与图1(c)是在高不变,而宽分别被压缩到80%和60%时的图像,图中的长颈鹿发生了明显畸变。这样,就需要采用某种方法,使图像在缩放的过程中其内容不发生大的畸变。目前,合理地将图像在面积受限、长宽比不同的屏幕上进行展示,既能突出重要物体和反映原图基本信息又不产生视觉变形,也就是图像的显示适应技术,已经成为多媒体领域广受关注的问题之一。



图1 图像缩放示例

## 2 相关工作

假设原始图像为  $I(x, y)_{m \times n}$ , 长宽分别为  $m \times n$ , 显示到  $m' \times n'$  的屏幕之上, 即需要通过图像处理算法, 得到目标图像  $I'(x, y)_{m' \times n'}$ 。早期方法主要是裁剪(crop)和缩放(scale)。裁剪是指由  $I(x, y)_{m \times n}$  中, 截取  $m' \times n'$  的图像, 造成部分视觉信息的丢失; 而缩放会产生视觉上的畸变, 图像信息失真。

基于内容的图像显示适应技术, 首先根据人类视觉, 将图像分解成若干个部分, 进而根据图像各部分在人类视觉中重要程度的差异, 来确定其缩放程度。通过基于内容的图像显示适应技术, 可以保护人眼敏感区域的图像部分, 减少视觉信息的损失。研究初期, 图像显示适应是依赖于目标识别算法的。目标层次的显示适应技术(object level retargeting)<sup>[1-3]</sup>, 是根据一定的先验知识或目标分类算法, 将原始图像区分为目标与背景两部分, 并假定目标中包含了大量的人类感兴趣的视觉信息, 对前景目标采用等比缩放的算法来保持视觉目标的原始比例, 对背景则多采用裁剪或缩放的处理技术。目标层次的显示适应技术建立在能够将物体与背景准确区分的基础上, 而这本身就是一个模式识别的难题。另外在后处理上还依赖于物体分割、背景填充, 图像编辑等技术。自下而上的像素层次的显示适应技术, 即以单个像素为处理单元, 对每个像素赋予一定的能量值, 通过求解带约束的优化方程, 在目标图像中突出高能量的像素<sup>[4]</sup>。

设图像为  $I(x, y)_{m \times n}$ , 定义其每个像素点  $f(x, y)$  的能量函数  $E(x, y)$ 。对图像  $I(x, y)_{m \times n}$ , 其能量图为  $E(i, j)_{m \times n}$ , SC(Seam Carving)算法<sup>[4]</sup>定义了一种称为

“丝”(seam)的8连通像素序列, 这些丝对应了当前图像中能量最低的像素序列。

横向最佳低能量序列为:

$$L_x^* = \min_{L_{x_i}} \{E(L_{x_i}) | i = 1, 2, \dots, m\} = \min_{L_{x_i}} \left\{ \sum_{j=1}^n E(L_{x_i}(j)) | i = 1, 2, \dots, m \right\}$$

$L_{x_i} (i = 1, 2, \dots, m)$  为第  $i$  条横向低能量序列, 其中:

$$L_x = \{L_x(1), L_x(2), \dots, L_x(n)\} = \{(x(j), j) | j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$x(j) = \{i | E(i, j) = \min[E(x(j-1) - 1, j), E(x(j-1), j), E(x(j-1) + 1, j)]\}, j = 2, 3, \dots, n$$

$$x(1) = i | E(i, 1) = \min_{1 \leq k \leq m} \{E(k, 1)\}$$

纵向最佳低能量序列为:

$$L_y^* = \min_{L_{y_j}} \{E(L_{y_j}) | j = 1, 2, \dots, n\} = \min_{L_{y_j}} \left\{ \sum_{i=1}^m E(L_{y_j}(i)) | j = 1, 2, \dots, n \right\}$$

$L_{y_j} (j = 1, 2, \dots, n)$  为第  $j$  条纵向低能量序列, 其中:

$$L_y = \{L_y(1), L_y(2), \dots, L_y(m)\} = \{(i, y(i)) | i = 1, 2, \dots, m\}$$

$$y(i) = \{j | E(i, j) = \min[E(i, y(i-1) - 1), E(i, y(i-1)), E(i, y(i-1) + 1)]\}, i = 2, 3, \dots, m$$

$$y(1) = j | E(1, j) = \min_{1 \leq k \leq n} \{E(1, k)\}$$

通过动态规划算法迭代地去除能量丝, 就得到了缩小的目标图像  $I'(x, y)_{m' \times n'}$ ; 同理, 通过增加能量丝, 获得扩展的目标图像  $I'(x, y)_{m' \times n'}$ 。像素层次的显示适应技术克服了目标层次方法对预处理要求过高的缺陷。

图像显示适应要求保证图像的完整性和连续性, 突出其显著区域和重要物体。因此, 首先要获取图像重要度。SC算法<sup>[4]</sup>以梯度值为重要度, 梯度值大, 则能量大。Rubinstein<sup>[5-6]</sup>对此作了改进, 根据收缩后图像的不连续性来确定能量, 虽然可以较好地突出重要物体, 但可能由于梯度在能量值计算中的权重被削弱而造成背景中强边缘的严重扭曲<sup>[7]</sup>, 一旦重要物体的边缘被破坏, 物体的结构往往由于内部梯度值不高而被严重损坏<sup>[2]</sup>。仅基于梯度的图像SC算法, 对保持物体轮廓有效, 但对视觉敏感区域的保护和突出不够。文献[8-9]提出了以网格化图像来保护目标的完整性, 该方法需要预先判定对网格是否包含重要物体, 并且会在紧靠重要物体的区域造成严重扭曲。如图2所示: 图像的高不变, 宽变为原来的80%, 背景草地纹理的梯度值大于马身体内部的梯度值(图2(b)), 马所在区域的能量低于背景区域的能量, 有大量低能量线穿越了马体(图2(c)), 导致了马的宽度变窄, 比例变形(图2(d))。

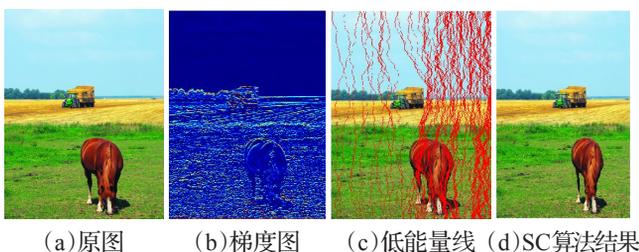


图2 SC算法示例

### 3 本文工作

针对现有方法存在的不足,本文提出一种融合区域轮廓信息的图像显示适应方法。该方法能够自适应地检测出图像中的多个视觉敏感区域、特征边缘,在图像收缩过程中充分突出图像的显著区域和重要物体,保护特征边缘,避免图像扭曲变形。首先结合图像谱残差显著度和轮廓特征构造图像显著区域和重要物体的区域轮廓能量图,在能量图的基础上,利用动态规划算法迭代去除或插入能量最低的“丝”,完成图像显示适应。

#### 3.1 区域轮廓能量图

图像显示适应要求保证图像的完整性和连续性,突出其显著区域和重要物体。算法首先定义符合人类视觉的重要度,也就是显著度的度量。视觉显著度属于人眼生理结构和神经生物学方面的概念,用于刻画观察者对图像的认知程度。它以图像的低层亮度、对比度为基础,结合对高层图像内容和场景的理解,通过启发性规则和策略,构造可计算模型。文献[10-11]借助一系列关于人眼视觉的启发式规则,提出基于图像对比度的关注度计算模型。Itti<sup>[12]</sup>等人结合多尺度图像,提出一种以生物认知体系为指导的视觉关注度计算模型。Harel<sup>[13]</sup>等人则提出一种基于图的自底向上的视觉显著度计算模型。

将显著能量分为两部分,分别是轮廓能量与区域能量。显著能量图的构造分三个步骤。

##### (1) 轮廓特征提取

根据梯度算子或Laplace算子提取图像边缘,识别并勾画出重要物体和显著区域的轮廓。传统的边缘提取算子仅能反映物体边界的梯度差,易受背景

纹理的影响。根据人类视细胞感受野抑制区与去抑制区的竞争合作机制,提出了一种仿生计算模型,可以抑制背景纹理对目标轮廓的影响,保护低对比度目标轮廓<sup>[14]</sup>。图3(b)展示了轮廓特征提取的效果,由图可见,重要物体轮廓非常明显。

$$E_{\text{contour}}(x, y) = E(x, y, \Theta) \quad (1)$$

其中  $E(x, y, \Theta) = \max_{\theta_i} \{E(x, y, \theta_i) | i = 1, 2, \dots, N_{\theta}\}$  为图像在各方向Gabor滤波的最强响应。具体算法见文献[14]。

##### (2) 显著区域提取

谱残差显著性检测方法(Spectral Residual)<sup>[15]</sup>是2007年由Hou等人提出的一种在频域分析图像显成分的方法。算法假定自然图像的频谱分布具有一定的统计特征,也即自然图像的先验信息,单张图像的频谱分布中与统计特征的差异,即为该图像的显著区域。

设  $L(f)$  看作是图像  $I$  频谱特征的信息,  $B(f)$  看做自然图像的先验频谱特征部分,那么  $R(f) = L(f) - B(f)$ , 称为谱残差(spectral residual),谱残差正好表示了频域中图像  $I$  与图像先验信息不同的部分。把残留部分  $R(f)$  的指数作为频率域的幅值,保留原本的相位谱,经过FFT逆变换就可以恢复出原图像的显著特征。

区域显著图:

$$I_{\text{region}}(x, y) = g(x, y) * \mathfrak{T}^{-1}[\exp(R(f) + P(f))]^2 \quad (2)$$

其中  $g(x, y)$  为低通滤波器,  $\mathfrak{T}^{-1}$  为FFT逆变换,傅里叶变换计算原图像的振幅谱  $A(f)$  和相位谱  $P(f)$ 。

将  $I_{\text{saliency}}$  进行最大最小归一化处理,得到范围在  $[0, 1]$  之间的能量图  $E_{\text{region}}$ 。图3(b)中是区域显著度的度量结果,目标“马”所在的区域显著度明显高于背景草地区域。

##### (3) 区域轮廓能量图

区域轮廓能量图计算公式如下:

$$E(x, y) = \alpha \times E_{\text{region}}(x, y) + (1 - \alpha) \times E_{\text{contour}}(x, y) \quad (3)$$

比较图2(b)和图3(c)中的能量分布可以看出,在区域轮廓能量图中,马体区域具有较高的能量,同时马的外轮廓也具有较高的能量,两者的加权和较好保护了目标的特征。

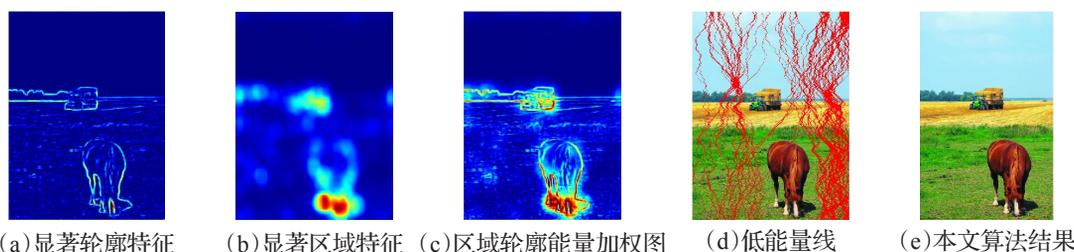


图3 区域轮廓能量图

### 3.2 基于谱残差显著图的图像显示适应

在获得图像的能量分布之后,按照上面的方法能够计算得到图像的低能量线,在图像的缩放中,依次将低能量线删除或复制,就可以达到图像的行列非等比例缩放的目的。具体步骤如下:

- (1)根据式(1),提取图像显著轮廓,得到轮廓能量图  $E_{contour}$ 。
- (2)根据式(2),提取图像显著区域,归一化得到区域能量图  $E_{region}$ 。
- (3)根据式(3),计算图像轮廓区域加权能量  $E$ 。
- (4)利用动态动态规划算法迭代地去除(插值)低能量丝,得到了目标图像  $I'(x,y)_{m' \times n'}$ 。

## 4 实验结果与分析

实验中,设置  $\alpha=0.7$ 。分别进行非等比例缩小与放大的实验,以及参数  $\alpha$  改变时的实验。经典的SC算法及其改进算法<sup>[9]</sup>,都是通过选取低能量线进行图像显示适应的,实验中分别与这两类算法进行对比。

### 4.1 非等比例的图像缩小

图4中是一个示例图,图像高不变,宽压缩到80%,由图4(b)可以看出,抽去的低能量丝主要分布在背景区域,避开了几个人,图4(e)三个人的原有比例没有发生变化。图4(d)中是SC算法的结果,由于

仅考虑梯度能量,人所在图像区域梯度能量较低,在非等比例缩小时,产生了畸变,人的头部与躯干的比例失真。图4(e)为文献[5]的结果,在黑框区域中,汽车的车头发生了变形,车窗与车体比例失真。图4(f)为本文算法结果,可以看到,在红框与黑框区域,本文算法都保护了原有的比例,视觉效果较好。

### 4.2 非等比例的图像放大

图像放大实际上是图像缩小的逆操作,因此在放大时,按照所需要放大的比例,计算目标图像与原始图像的行数及列数差,然后从原图中分别用插值相应行数及列数的低能量线,就可完成图像的放大。图5中是非等比例放大的对比结果,将图2(a)高不变,宽扩展到120%,SC算法选取的低能量线穿越了马的身体,导致图像拉伸后马体变形,同样的情况出现在文献[5]的算法中。而本文算法较好地保护了马区域的轮廓连续,马体特征完整,因此视觉效果较好。

### 4.3 $\alpha$ 参数对算法的影响

图6是  $\alpha$  取不同值时,本文算法得到的不同结果。从图6可以看到,算法的结果主要受显著区域能量分布的影响,但较大的  $\alpha(\alpha>0.8)$  会使算法忽略轮廓能量的分布,从而造成一部分低能量线穿过马体(球体),如图6(a)和图6(b)所示。当  $\alpha$  在[0.4, 0.7]时,低能量线的分布避开了人眼视觉上的显著区域,避免了显著部分的变形,因此,本文最终选择  $\alpha=0.7$ 。

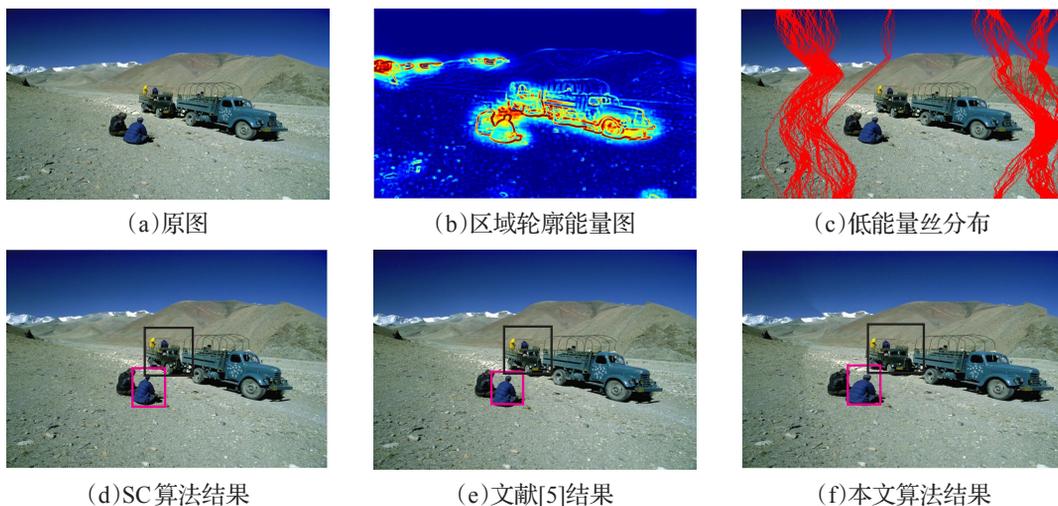


图4 非等比缩小示例



图5 非等比放大示例

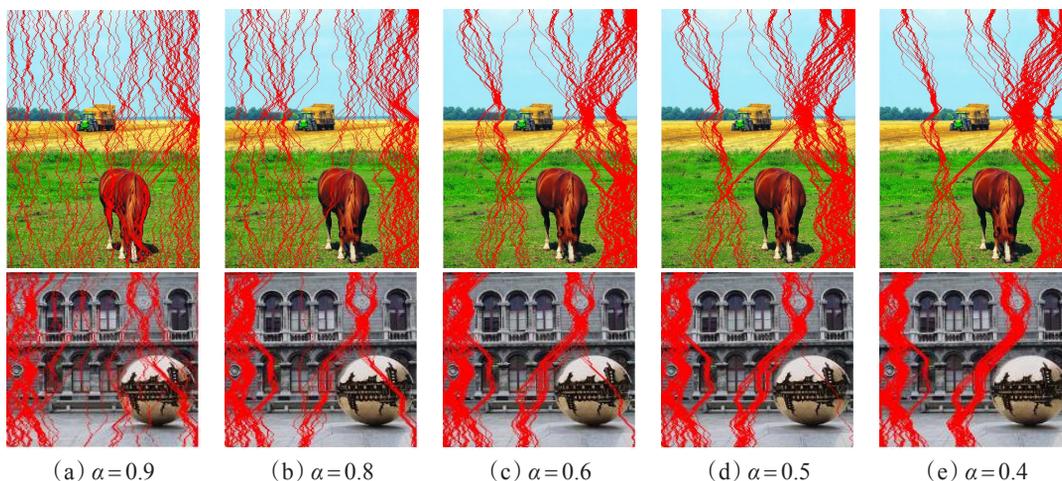
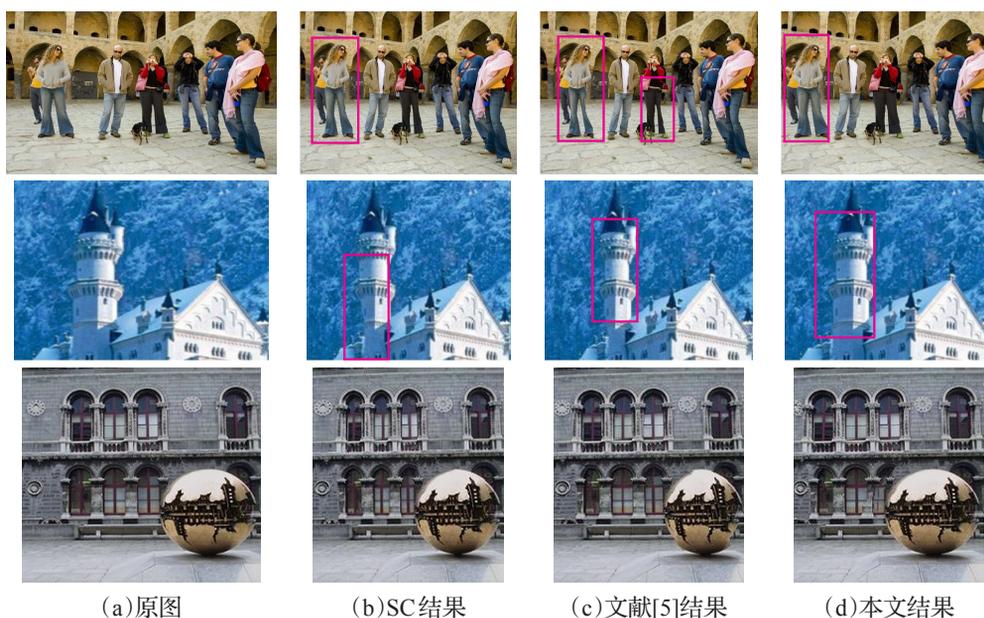
图6  $\alpha$ 不同时,低能量线的分布

图7 非等比缩放示例

#### 4.4 对比实验

图7是一组将图像非等比压缩(高不变宽压缩到80%)对比实验,第一列为原图,第二列为SC算法结果,第三列为文献[5]结果,第四列为本文结果。在单个目标的城堡图像,和多个目标的人群合影的图像,宽高比的非等比例改变,都没有导致显著目标的畸变(见红框区域)。在最后一行中,与SC算法和文献[5]的算法相比,本文算法的结果中,球形的原始比例得到了很好的保护,取得更好的视觉效果。这是因为显著轮廓特征和显著区域特征的结合,有利于保护目标的连续性,避免了重要物体在优化求解中的变形,因而能够较好地保持其形状。

#### 5 结论

本文提出了一种基于图像区域与轮廓特征感知

的图像显示适应算法,通过结合区域与轮廓特征,既突出图像中的视觉敏感区域,又保护了目标轮廓的连续。实验结果表明,本文方法在进行图像适应显示时,能够很好地保持图像的重要信息内容,可有效地抵抗图像的畸变。进一步,将本文方法推广到视频处理,实现面向视频的显示适应技术也是未来的研究方向。

#### 参考文献:

- [1] Chen L Q, Xie X, Fan X, et al. A visual attention model for adapting images on small displays[J]. Multimedia Systems, 2003, 9(4): 353-364.
- [2] Wang Y, Li H Q, Liu Z K, et al. Attention information based spatial adaptation framework for browsing videos via mobile devices[J]. Advances in Multimedia Information Processing, 2006, 4621: 788-797.

(下转248页)

目。然而在数目确定的前提下,最优解集合一般是不惟一的,因此,可以在上述研究基础上,进一步研究下列双层目标规划问题:(1)如何使选址个数最少,并在此前提下,使所有选址点的最大服务半径最小。(2)如果不同的点建仓费用不同,如何选择,才能使选址个数最少,并在此前提下,使建仓所需费用最少。(3)如果考虑货物运费,如何按照各点的需求选址,才能使选址个数最少,并在此前提下,使总运费最少。这些问题虽然更复杂一些,但是,有了本文研究的结果,便有了内层目标规划的最优解算法,剩下的问题便是如何在内层目标的最优解(集合)中寻找外层目标的最优解。限于篇幅,本文就不在此介绍了。

### 参考文献:

- [1] Rakas J, Dusan T, Taehyung K. Multi-objective modeling for determining location of undesirable facilities[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2004, 9(2): 125-138.
- [2] 李安宇, 杨丰梅. 垃圾填埋场选址问题的模糊数学模型研究[J]. 运筹与管理, 2007, 16(5).
- [3] 田立新, 崔晓红, 徐伟军. 配送中心选址研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(33): 14825-14826.
- [4] 翁东风, 费奇. 基于图层叠加的多目标选址模型[J]. 系统工程理论与实践, 2004(10).
- [5] Hansen P, Peeters D, Thisse J F. Constrained location and the Weber-Rawls problem[J]. Ann Discrete Math, 1981, 59: 147-166.
- [6] 郭强. 对 Floyd 算法的两点注记[J]. 运筹与管理, 2001, 10(1): 36-38.
- [7] Oded B, Zvi D. A note on the location of an obnoxious facility on a network[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 120(1): 215-217.
- [8] Waiel F, El-Wahed A, Mahmoud A. A hybrid fuzzy-goal programming approach to multiple objective decision making problems[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 119(1): 71-85.
- [9] Mohamed R H. The relationship between goal programming and fuzzy programming[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, 89(2): 215-222.
- [10] 吴坚, 史忠科. 基于遗传算法的配送中心选址问题[J]. 华南理工大学学报, 2004, 32(6).
- [11] 黎青松, 袁庆达. 一个结合库存策略的物流选址模型[J]. 西南交通大学学报, 2000, 35(6).
- [12] 郭强, 孙浩. 运筹学原理与算法讲义[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2009.
- [13] 马良. 多目标平面选址问题的模拟退火方法[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(3).
- [14] 翁东风. 军队工程建设决策模型研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [15] Hansen P, Peeters D, Thisse J F. Constrained location and the Weber-Rawls problem[J]. Ann Discrete Math, 1981, 59: 147-166.
- [16] 郭强. 对 Floyd 算法的两点注记[J]. 运筹与管理, 2001, 10(1): 36-38.
- [17] Oded B, Zvi D. A note on the location of an obnoxious facility on a network[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 120(1): 215-217.
- [18] Waiel F, El-Wahed A, Mahmoud A. A hybrid fuzzy-goal programming approach to multiple objective decision making problems[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 119(1): 71-85.
- [19] Mohamed R H. The relationship between goal programming and fuzzy programming[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1997, 89(2): 215-222.
- [20] 吴坚, 史忠科. 基于遗传算法的配送中心选址问题[J]. 华南理工大学学报, 2004, 32(6).
- [21] 黎青松, 袁庆达. 一个结合库存策略的物流选址模型[J]. 西南交通大学学报, 2000, 35(6).
- [22] 郭强, 孙浩. 运筹学原理与算法讲义[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2009.
- [23] 马良. 多目标平面选址问题的模拟退火方法[J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(3).
- [24] 翁东风. 军队工程建设决策模型研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.

(上接 186 页)

- [3] Deselaers T, Dreu P, Ney H, Pan, zoom, scan—time-coherent, trained automatic video cropping[C]//Proc of the Int'l Conf on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage: IEEE Press, 2008: 1-8.
- [4] Avidan S, Shamir A. Seam carving for content-aware image resizing[J]. ACM Trans on Graph, 2007, 26(3): 267-276.
- [5] Rubinstein M, Shamir A, Avidan S. Improved seam carving for video retargeting[J]. ACM Trans on Graph, 2008, 27(3): 1-9.
- [6] Rubinstein M, Shamir A, Avidan S. Multi-operator media retargeting[J]. ACM Trans on Graph, 2009, 28(3): 1-11.
- [7] 梁云, 苏卓, 罗笑南, 等. 基于 Hot-Target 图和特征边缘保持的图像收缩方法[J]. 软件学报, 2010, 21(5): 1-12.
- [8] 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): 19-30.
- [9] 周艳, 刘圣军, 金小刚, 等. 基于测地距离的多边形网格模型约束变形[J]. 软件学报, 2007, 18(6): 1543-1552.
- [10] Ma Y F, Zhang H J. Contrast-based image attention analysis by using fuzzy growing[C]//ACM Multimedia. New York: ACM Press, 2003: 374-381.
- [11] 张鹏, 王润生. 基于视点转移和视区追踪的图像显著区域检测[J]. 软件学报, 2004, 15(6): 891-898.
- [12] Itti L, Koth 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.
- [13] Harel J, Koch C, Perona P. Graph-based visual saliency[C]//Proc of the NIPS, 2006.
- [14] 杜晓凤, 李翠华. 基于复合感受野的轮廓检测[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(7): 1630-1634.
- [15] Hou X D, Zhang L. Saliency detection: a spectral residual approach[C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition(CVPR07), 2007: 1-8.