

多重光照色差下图像平滑美化处理算法

周毅敏 李光耀

(同济大学电子与信息工程学院 上海 201804)

摘 要 夜间多重光照下采集的图像存在色差,采用白平衡偏差补偿方法实现夜间多重光照下图像的平滑美化处理,以提高图像的成像质量。传统的图像平滑算法采用循环跟踪像素点特征提取算法,出现白平衡偏差时图像的色差补偿效果不好。提出一种基于白平衡偏差补偿的夜间多重光照下的色差图像平滑算法。首先进行图像特征采集和自适应均衡预处理,对夜间多重光照下的色差图像进行白平衡偏差补偿,然后采用图像盲去卷积算法进行图像平滑,通过目标特征模型在空间上的相似度函数来确定图像光照色差的特征权值,沿梯度方向求得图像边缘信息,再通过特征聚类对夜间多重光照色差图像自动划分目标空间,最大程度地对夜间多重光照下的色差图像的细节特征进行平滑美化。仿真结果表明,采用该算法进行白平衡偏差补偿的夜间多重光照色差下的图像平滑美化处理方法具有较好的图像平滑性能,计算开销较小,图像的细节特征平滑效果最佳,其优于传统算法。

关键词 白平衡,偏差补偿,图像平滑,美化处理

中图法分类号 TP391.41

文献标识码 A

DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.10.054

Image Smoothing Beautification Processing Algorithm in Multi-illumination Color Difference

ZHOU Yi-min LI Guang-yao

(College of Electronics and Information, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract The images collected in night with multiple relighting have color difference, and white balance deviation compensation method is used to realize image smoothing beautification processing and improve the image quality. The traditional method uses circular tracking pixel point feature extraction algorithm, and the color difference compensation effect is not good when the image has white balance deviation. A color differential image smoothing algorithm with multiple relighting was proposed based on white balance deviation compensation. Firstly, image feature extraction and adaptive equalization pre-processing are carried out, white balance color deviation compensation is taken for the image, image blind deconvolution algorithm is taken for image smoothing, and the similarity function of target feature model is used to determine the image color difference feature weigh. Along the gradient direction, the information of image edge is obtained, the feature clustering is used to classify the target space automatically, and the detail features of image are smoothed and beautified to a large extent. The simulation results show that the algorithm can compensate balance deviation, and the image smoothing beautification processing are optimized. It has good image smoothing performance, calculation overhead is less, the detail features smoothing effect of image is the best, and its performance is better than the traditional algorithm.

Keywords White balance, Deviation compensation, Image smoothing, Beautification processing

夜间采集的图像受到各种颜色光线的作用时图像色差失衡,而夜间多重光照下的色差图像的采集和美化处理是数字图像处理的关键技术,广泛运用于机器视觉与视频监控等工程领域。由于复杂自然灯光环境与拍摄场景角度等因素的影响,会产生夜间多重光照下的色差图像,夜间多重光照下的色差图像受到颜色与纹理特征的影响,一定程度上难免受到外界环境干扰,产生颜色与纹理特征的偏移,因此需要对夜间多重光照下的色差图像进行图像平滑处理。由于图像的色差,不能对图像目标的细节特征进行有效区分和定位,而采用白平衡偏差补偿和平滑处理方法,利用夜间多重光照下色差图

像的相似度特征进行白平衡弥补,可以优化图像的成像性能,展现夜景图像的细节特征。通过研究图像的白平衡偏差补偿方法,实现对夜间多重光照下图像的平滑美化处理,提高图像的成像质量,相关的算法研究受到人们的关注。

在受外界干扰的环境中,夜间多重光照下的色差图像细节展现和美化处理比较困难,基于视觉特征的图像美化方法对外界环境与周围颜色差异比较敏感,由于视觉特征随成像设备运动方向及角度等因素而变,因此目标特征模型不是固定不变的,需要实时更新目标数学模型以适应环境的变化。传统方法中,处理夜间多重光照下色差图像的图像平滑算法

到稿日期:2015-10-23 返修日期:2015-12-18

周毅敏(1980—),男,博士生,主要研究方向为图像处理、机器学习、图形学;李光耀(1965—),男,博士,博士生导师,主要研究方向为虚拟现实与仿真、图形学、图像处理。

采用循环跟踪像素点特征提取算法、时频特征分析方法和小波多层分解方法等^[1,2],在出现白平衡偏差时图像的色差补偿效果不好。对此,相关文献进行了算法的改进设计,其中,文献[3]提出一种基于轮廓特点融合自适应匹配的多重光照图像修复算法来实现对图像的美化处理,采用梯度方向指向性约束方法进行色差平衡过度,提高夜间图像的修复质量;但是该算法对图像 SIFT 种子点的细节先验信息依赖性较大,在先验知识缺乏的情况下,图像的成像效果不好;文献[4]提出一种基于局部二值拟合和平滑滤波的夜间多重光照图像的色差均衡算法,采用二值图像逼近夜间采集的图像的色差部分,通过边缘轮廓分割方法实现图像平滑处理,提高了图像的峰值信噪比,但算法的计算量较大,实时性不好。文献[5]提出一种基于 Harris 角点检测的图像平滑算法,实现对夜间的运动图像的跟踪和平滑处理,提高在光照干扰下夜间运动图像的定位跟踪能力,算法采用旋转尺度变换方法对图像的色差分量进行经验模态分解从而实现图像平滑;但该算法由于在角点检测时无法跟踪单点对焦角点,在单点对焦下采集的图像平滑性能不好。文献[6]提出一种基于小波降噪和小波包分解的夜间光照下的图像美化算法,通过降噪滤波提高图像成像质量,通过小波包分解提取图像细节特征,实现平滑处理。算法的优点是计算简单、实现容易,缺点是对成像信噪比低的图像的处理性能不好^[7,8]。

针对上述问题,本文提出一种基于白平衡偏差补偿的夜间多重光照下的色差图像平滑算法。首先进行图像特征采集和自适应均衡预处理,对夜间多重光照下的色差图像进行白平衡偏差补偿,然后采用图像盲去卷积算法进行图像平滑,实现算法改进。利用仿真实验进行了性能验证,结果展示了本文算法在实现夜间多重光照下的色差图像美化和平滑中的优越性。

1 图像特征采集和自适应均衡预处理

1.1 问题描述和图像采集

在采用数码成像设备进行图像采集和信息处理的过程中,由于离焦、抖动、光学系统误差和白平衡偏差等原因,导致成像设备与物体之间的视觉差异,产生多重色差,定义夜间多重光照下的色差图像为 g' ,使用离散滤波 $\nabla_x = [1, -1]$, $\nabla_y = [1, -1]^T$ 产生图像的高频部分 $y = [\nabla_x g', \nabla_y g']$ 。空间不变多重色差核的能量函数为:

$$\min_{x,k} \lambda \|x \otimes k - y\|_2^2 + \frac{\|x\|_1}{\|x\|_2} + \beta \|k\|_1 \quad (1)$$

满足约束条件: $k > 0$, $\sum_i k_i = 1$ 。其中 x 是未知清晰图像的高频部分, k 是未知的多重色差核(k_i 是相互独立的元素)。

依据图像的边缘轮廓信息在二维邻域中的分布结构,对图像的局部结构点按照一阶泰勒级数展开,能够获取到估算模型的基团。从求解精度及速度双方面考虑,图像从粗尺度到细尺度正则项为 $\|\nabla_x(f \otimes k)\|_a + \|\nabla_y(f \otimes k)\|_a$,其中 ∇_x, ∇_y 分别是图像在 x 方向和 y 方向的偏导数,更新多重色差核 k 中含有两个点以下的基团,如式(2)所示:

$$c_1 = \{i | i \in S\}, c_2 = \{\{i, i'\} | i' \in N_i, i \in S\}, C = c_1 \cup c_2 \quad (2)$$

在成像区域有物体的情况下,夜间多重光照下的色差图像中存在着拖影等干扰因素,影响图像的美化性能,在图像的成像区域的物体动态运动区域内,分别对图像进行前帘同步处理和后帘同步处理,设 R_t 为 t 时刻的图像, R_0 为初始时刻

的图像,观察到夜间多重光照下的色差图像含有噪声和细纹理,将其作为多重色差核矩阵标记信息,其集合用公式描述:

$$L = \{m_i | i \in S\} \quad (3)$$

$$m_i = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, b_{i1}, b_{i2}, b_{i3}, c_{i1}, c_{i2}, c_{i3})^T$$

对于夜间多重光照下的色差图像的采集,采用电子稳像方法进行防抖动处理,更新多重色差核 k ,利用 TV 正则化方法恢复清晰图像,得到运动在夜间多重光照下的色差图像的目标函数运动幅度特征点 i 的邻域,用 N_i 定义为:

$$N_i = \{i' \in S | [dist(i, i')]^2 \leq r, i \neq i'\} \quad (4)$$

其中,成像设备在等量运动幅度的光照色差区间 i 和 i' 间的 Euclidean 距离用 $dist(i, i')$ 来描述, r 为一个常量。利用邻域内像素点的空间邻近度,滤波器公式表示为:

$$R_i = \frac{1}{\gamma_i} \sum_{j \in \Omega} g_j d(\|i - j\|_2) l(\|g_i - g_j\|_1) \quad (5)$$

根据以上阐述分析可知,采用上述建模的算法分析夜间多重光照下的色差图像的梯度幅度信息的关键是确定信息随机场的能量函数,由此实现图像的采集和预处理。

1.2 图像色差的自适应均衡预处理

本文主要讨论夜间多重光照下的色差图像的平滑问题,通过对多重光照下的色差进行平滑处理实现图像美化。图像的多重色差可以采用自适应均衡方法进行降噪处理,减少图像中的噪点,自适应均衡过程是通过清晰图像与多重色差核进行卷积,再加上噪声,进行插值运算,即:

$$g = k \otimes f + n \quad (6)$$

求出图像尺度在 (x, y, σ) 处的色差核的先验知识,根据窗口区域的多重色差核的单尺度特性,图像的色差均衡能量函数包括似然能量及先验能量两个部分,表示为:

$$H_1: U(t) = V(t) + \alpha(t)W(t) \quad (7)$$

$$H_0: U(t) = V(t)$$

其中, $V(t)$ 表示加入图像的稀疏先验系数; $W(t)$ 表示非高斯统计值; $\alpha(t)$ 表示多重色差核的能量; H_1 表示存在白平衡偏差,在图像去噪中,规定其正则项为 $\psi(f) = \|\nabla f\|_2^2$,为了提高多重色差核估计的准确性,引入图像的预处理,采用最小最大检测法进行图像滤波,利用双边滤波器和冲击滤波器对夜间多重光照下的色差图像进行预处理,采用最大似然比检测^[9],得到图像色差的自适应均衡判别函数为:

$$\Lambda(U) = \frac{p(U(t) | H_1)}{p(U(t) | H_0)} \geq \eta \quad (8)$$

文中采用快速迭代收缩阈值算法估计出多重色差核,采用对数似然比检测得到输出的均衡锁光结果为:

$$LRT(U) = \ln \Lambda(U) \leq \ln \eta \quad (9)$$

其中, $LRT(U)$ 为对数似然比,上述处理取得了很好的图像平滑和恢复效果。其中,图像色差的自适应均衡处理的框图描述如图 1 所示。

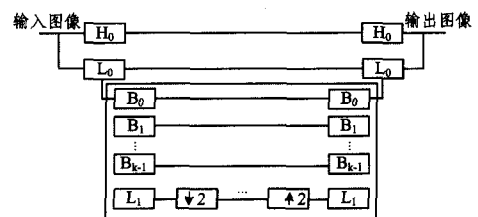


图 1 图像色差的自适应均衡处理的框图描述

基于上述分析,图像色差的自适应均衡处理的关键实现技术描述为:

(1)初始化。基于纹理分区的数学形态学分割搜索的多重曝光形状特征,基于逻辑自映射的变尺度直觉模糊集方法进行建筑区的高亮线条标定。首先进行控制参数的初始化,计算每个特征点的初始值和兴趣值,接着产生一个相似性度量矩阵,选出初始最优解集作为测试样本集合。

(2)按照在搜索区域内随机初始化夜间多重光照下的色差图像阴影区域和亮度区域的个体位置,找出最佳位置。

(3)计算各个特征点的相关信息,通过对特征点中心距离的估计,在待美化图像中找到一对匹配点进行色差均衡,在迭代过程中找到适应度最小的个体作为样本本体,通过变尺度动态收缩搜索剔除错误匹配点,形成最优形态学分割模型,实现图像自适应均衡处理。

2 白平衡偏差补偿及图像平滑算法实现

2.1 白平衡偏差补偿算法的提出和设计

本文在上述图像自适应均衡预处理的基础上进行平滑处理,提出一种基于白平衡偏差补偿的夜间多重光照下的色差图像平滑美化处理算法。首先进行图像特征采集和自适应均衡预处理,对夜间多重光照下的色差图像进行白平衡偏差补偿,再采用图像盲去卷积算法进行图像平滑,美化图像。

在对目标区域和候选区域的特征进行选择时,以目标特征模型在空间上的相似度函数来确定目标模型特征权值,最后根据相似函数的最大值获取当前跟踪目标区域。相似度函数可以定义为两个特征系数的乘积,白平衡偏差补偿的数学表达式如下:

$$\rho_{\text{esc}} = \Delta \cdot \rho(\hat{p}_u(y), \hat{q}_u) \cdot \rho(\hat{p}_u(y), \hat{q}_u) \quad (10)$$

其中, Δ 表示白平衡敏感系数,范围属于 $(0, 1)$, ρ 表示巴氏系数。从式(10)容易看出,目标特征的相似度系数与巴氏系数大小成正比,且相似度越高,对细节特征的跟踪效果越好。

采用白平衡偏差补偿快速迭代收缩阈值算法,沿梯度方向求得图像边缘信息,得到尺度平移平面上 (a, b_m) 点处的白平衡偏差补偿相位加权为:

$$L(a, b_m) = \log\left(\frac{|V| |V_m \cap V_n|}{|V_m| |V_n|}\right) \quad (11)$$

其中, λ 是正则化参数, $TV(f) = \sum_i \sqrt{(\Delta_i^h f)^2 + (\Delta_i^v f)^2}$, Δ_i^h , Δ_i^v 为二阶累积泰勒展开,对图像做纹理特征提取,即:

$$L(a, b_m) = \sum_{V_m \in P^{\text{res}}} \sum_{V_n \in P^{\text{true}}} \frac{|V_m \cap V_n|}{|V|} \log\left(\frac{|V| |V_m \cap V_n|}{|V_m| |V_n|}\right) \quad (12)$$

即 $\Delta_i^h = f_i - f_j$, $\Delta_i^v = f_i - f_k$, f_j, f_k 分别表示白平衡偏差补偿迭代式 f_i 左边和上边的夜间多重光照下的色差图像一阶领域像素灰度值。对于一幅灰度夜间多重光照下的色差图像 $g(x, y)$, 进行 $M-1$ 次传递迭代,得到尺度为 M 的夜间多重光照下的色差图像的细节纹理特征:

$$d_{i+1} = 2F(x_{i+1} + \frac{1}{2}, y_i + 2) \quad (13)$$

根据上述方法,将图像的亮点模型进行一阶泰勒展开^[10],基于多权值相似均衡得到多重光照色差下图像的位置、尺度、主方向等信息,图像灰度像素 c 由下式求得:

$$c = \sum_j^m P(z(k)/m_j(k), z^{k-1}) P(m_j(k)/z^{k-1}) = \sum_j^m \Lambda_j(k) \bar{c}_j \quad (14)$$

对夜间多重光照下色差图像的二维或者三维像素特征进行 LPNTI 积分,利用颜色与纹理构建夜间多重光照下色差图像的特征匹配模型,多重光照色差图像辨识模型为:

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n (1 - (1 - u_{ik})^{1/\alpha})^m (x_k + \beta \bar{x}_k)}{(1 + \beta) \sum_{k=1}^n (1 - (1 - u_{ik})^{1/\alpha})^m} \quad (15)$$

其中, u_{ik} 为小波阈值, β 为程控分离系数, x_k 为模糊均值,由此实现了图像的白平衡偏差补偿,进而实现了图像美化处理。

2.2 图像平滑算法实现步骤

根据上述算法设计,归纳出本文设计的多重光照色差下图像平滑美化处理算法步骤:以目标特征模型在空间上的相似度函数确定图像光照色差的特征权值,沿梯度方向求得图像边缘信息,通过特征聚类对夜间多重光照色差图像自动划分目标空间,剔除错误匹配点,进行图像降噪提纯,以最大程度地对夜间多重光照下色差图像的细节特征进行平滑美化。该算法具体流程如下:

(1)根据获取到的夜间多重光照下的色差图像序号帧,利用颜色与纹理构建夜间多重光照下的色差图像的空间特征分布跟踪模型;对分析出的低频信号进行快速模糊方法边缘检测,得到低频部分的轮廓线图像,得到邻接区域 (w, w') 之间的先验分布, $B_w(y_w)$ 表示区域 w 的置信度。

(2)通过特征聚类对图像成像区域的运动目标与候选图像自动划分成像空间,进一步将滤波后的断面高频信息中适当的阈值与低频信息叠加,将归一化后的白平衡偏差补偿加权系数 $u_{mn} = \frac{L_{mn}}{L-1}$ 和 $L = \max(L_{mn})$ 作为 G 变换, L 为色差图像的灰度级, u_{mn} 为图像中像素点 (m, n) 相对于特定灰度级的隶属度,由此计算目标候选区域特征模型。

(3)然后,根据目标特征模型计算目标与候选区域像素权重,并对两个自适应权值进行融合均衡处理。

(4)对夜间多重光照下的色差图像 g 进行预处理,先使用双边滤波器处理 g ;利用目标特征模型相似函数计算目标与候选区域权值的相关系数。

(5)最后,若目标与候选区域符合相关条件,对 g' 应用导数滤波器,产生 g' 的高频图像 y ,结束跟踪,否则自适应更新权值,并选择目标特征模型迭代更新。由此实现了白平衡偏差补偿夜间多重光照下色差图像的平滑美化处理。

3 仿真实验与结果分析

为了测试本文算法在实现夜间多重光照下的色差图像平滑处理的性能,进行仿真实验。实验的硬件环境为:CPU: Intel Core i3-370, 主频 2.93GHz, 内存 2GB。本实验基于 Eclipse 和 Weka 平台开发,用 VC++ 语言实现算法代码编辑和加载。在 Windows 窗口下直接运行主程序,在代码中,调用了 TableEst 中的 receive 等函数进行图像采集和预处理。仿真实验中,采用白平衡偏差补偿方法,以 5×5 的局部区域为单位进行图像的网格化分层,对两幅多重色差图像网格的每个局部区域的像素进行时域采样,设定阈值 $\epsilon = 1.0$,图像采集的分辨率为 1280×1024 pixel,焦距为 50mm 定焦,光圈值设定为 14,原始图像的采集结果如图 2 所示。



图2 夜间多重光照下色差图像原始采样结果

从图2可见,原始采集的图像受到夜色中的各种光照作用,导致白平衡出现偏差,光照色差明显,导致图像成像质量不好,出现拖影和抖振,需要对图像进行美化处理。采用本文方法进行特征提取,用变尺度动态收缩搜索剔除错误匹配点,通过特征聚类对图像成像区域的运动目标与美化部分自动划分成像空间,得到3个色差颜色通道下的特征聚类结果,如图3所示。

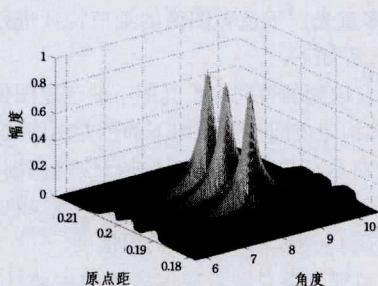


图3 3个色差颜色通道下的特征聚类结果

在3个色差颜色通道下分别计算灰度均值和标准差,根据计算得到的多重色差核(大小为 15×15 ,方向为45度的运动多重色差核)进行图像美化处理。结合图3给出的结果,通过特征聚类对夜间多重光照色差图像自动划分目标空间,最大程度地对夜间多重光照下色差图像的细节特征进行平滑美化,得到美化结果如图4(a)所示,为了对比性能,给出采用传统方法进行图像美化的结果,如图4(b)所示。



(a)本文方法



(b)文献[3]的方法

图4 图像平滑美化处理仿真结果和对比

从图4可见,本文算法具有较好的图像白平衡偏差补偿

和平滑性能,对图像的美化处理效果较好。而采用文献[3]的轮廓特点融合自适应匹配方法得到的图像过于光滑,丢失了部分图像细节,导致图像的光照投影出现重影和失真,而本文方法能够恢复出更多的细节,图像平滑性能较好,展示了本文算法的优越性。为了定量分析性能,以峰值信噪比 PSNR 为对比量,得到分析结果如图5所示。从图5可见,本文算法在降低计算开销的同时提高了峰值信噪比,图像的输出信噪比 PSNR 值最高,表明夜间多重光照下色差图像中平滑的细节特征含量最多,美化处理效果最好,展示了本文算法的优越性。

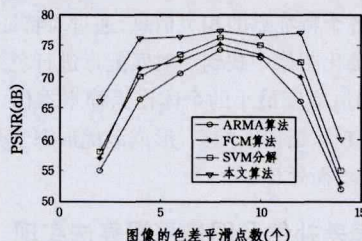


图5 夜间多重光照下色差图像的平滑美化处理性能对比

最后以计算开销为指标,得到不同算法的计算开销对比结果,如表1所列。从表中结果可见随着待美化图像码书尺寸的增大,图像美化处理的计算开销增大,在相同码书尺寸下,本文算法的计算开销较小,展示了本文算法的优越性。

表1 两种算法的计算开销比较

码书尺寸	计算开销(s)			
	本文算法	文献[3]	文献[6]	文献[8]
455	5.20	10.58	12.83	15.49
789	6.39	12.69	15.31	16.25
1024	10.36	14.36	16.28	20.50

结束语 在采用数码相机进行图像采集和数字处理的过程中,由于离焦、衍射、光学系统和白平衡偏差等原因,导致了成像设备与物体之间的视觉差异,产生了多重色差。利用夜间多重光照下色差图像的相似度特征进行白平衡弥补,可以优化图像的成像性能,展现夜景图像的细节特征。通过研究图像的白平衡偏差补偿方法,实现对夜间多重光照下图像的平滑美化处理,提高了图像的成像质量。本文提出一种基于白平衡偏差补偿的夜间多重光照下色差图像平滑算法,通过特征聚类对夜间多重光照色差图像自动划分目标空间,最大程度地对夜间多重光照下色差图像的细节特征进行平滑美化,实现算法改进。仿真结果表明,本文算法具有较好的图像平滑和美化性能,输出信噪比 PSNR 值较高,计算开销较小,性能优越。

参考文献

- [1] Li Peng-wei, Ge Wen-ying, Liu Guo-ying. Shadow detection method based on shadow probability model for remote sensing images[J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(2): 510-514(in Chinese)
李鹏伟,葛文英,刘国英.基于阴影概率模型的遥感影像阴影检测方法[J].计算机应用,2015,35(2):510-514
- [2] He Gao-jin, Xiong Wei, Chen Luo, et al. An MPI-based Parallel Pyramid Building Algorithm for Large-scale RS Image[J]. Geo-Information Science, 2015, 17(5): 515-522(in Chinese)
赫高进,熊伟,陈萃,等.基于MPI的大规模遥感影像金字塔并行构建方法[J].地球信息科学学报,2015,17(5):515-522

- [3] Zhang S Q, Chen L, Xiong W. Research on performances of parallel programming models based on chip multi-processor[C]// 2012 IEEE International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering (OMEE). 2012; 632-635
- [4] Wang S. CyberGIS: Blueprint for integrated and scalable geospatial software ecosystems[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2013, 27(11): 2119-2121
- [5] Porwal S, Katiyar S K. Performance evaluation of various resampling techniques on IRS imagery[C]// 2014 Seventh International Conference on Contemporary Computing (IC3). IEEE, 2014; 489-494
- [6] Cai Zi-xing, Peng Meng, Yu Ling-li. Adaptive Incremental Principal Component Analysis Visual Tracking Method Based on Temporal Characteristics[J]. JEIT, 2015, 37(11): 2571-2577 (in Chinese)
蔡自兴, 彭梦, 余伶俐. 基于时序特性的自适应增量主成分分析的视觉跟踪[J]. 电子与信息学报, 2015, 37(11): 2571-2577
- [7] Xu Miao-zhong, Cong Ming, Wan Li-juan, et al. A Methodology of Image Segmentation for High Resolution Remote Sensing Image Based on Visual System and Markov Random Field[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2015, 44(2): 198-205 (in Chinese)
- 许妙忠, 丛铭, 万丽娟, 等. 视觉感受与 Markov 随机场相结合的高分辨率遥感影像分割法[J]. 测绘学报, 2015, 44(2): 198-205
- [8] Zhang Wei, Xiong Wei-li, Xu Bao-guo. Multi-model Combination Modeling Based on Just-in-time Learning Using Gaussian Process Regression[J]. Information and Control, 2015, 44(4): 487-492, 498 (in Chinese)
张伟, 熊伟丽, 徐保国. 基于实时学习的高斯过程回归多模型融合建模[J]. 信息与控制, 2015, 44(4): 487-492, 498
- [9] Rasmussen C E, Williams C K I. Gaussian processes for machine learning[M]. Cambridge, MA, US: The MIT Press, 2006
- [10] Jiang Jian-guo, Jin Yu-long, Qi Mei-bin, et al. Moving Target Detection in Natural Scene Based on Sparse Representation of Residuals[J]. Chinese Journal of Electronics, 2015, 43(9): 1738-1744 (in Chinese)
蒋建国, 金玉龙, 齐美彬, 等. 基于稀疏表达残差的自然场景运动目标检测[J]. 电子学报, 2015, 43(9): 1738-1744
- [11] Zhou Yu-gu, Wang Ping, Gao Yin-hui. Remote Sensing Image Classification with Bag-of-visual-words Model[J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2015, 29(5): 71-77 (in Chinese)
周宇谷, 王平, 高颖慧. 基于视觉词袋模型的遥感图像分类方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2015, 29(5): 71-77

(上接第 265 页)

个维度挖掘相似项目。实验结果证明, 与传统的基于项目的协同过滤算法相比, 本文提出的基于多层次项目相似度计算的协同过滤算法能够提高推荐的准确率和召回率, 并降低 MAE 值。但是, 提出的算法在算法效率(如时间复杂度)上较传统算法并没有较大提高, 需要进一步优化。

参考文献

- [1] Xu Hai-ling, Wu Xiao, Li Xiao-dong, et al. Comparison Study of Internet Recommendation System[J]. Journal of Software, 2009, 20(2): 350-362 (in Chinese)
许海玲, 吴潇, 李晓东, 等. 互联网推荐系统比较研究[J]. 软件学报, 2009, 20(2): 350-362
- [2] Linden G, Smith B, York J. Amazon. com recommendations: Item-to-item collaborative filtering[J]. Internet Computing, IEEE, 2003, 7(1): 76-80
- [3] Sarwar B, Karypis G, Konstan J, et al. Item-based collaborative filtering recommendation algorithms[C]// Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web. ACM, 2001: 285-295
- [4] Deng Ai-lin, Zhu Yang-yong, Shi Bo-le. A Collaborative Filtering Recommendation Algorithm Based on Item Rating Prediction[J]. Journal of Software, 2003, 14(9): 1621-1628 (in Chinese)
邓爱林, 朱扬勇, 施伯乐. 基于项目评分预测的协同过滤推荐算法[J]. 软件学报, 2003, 14(9): 1621-1628
- [5] Sun Guang-ming, Wang Shuo. Novel collaborative filtering algorithm based on interest degree of item[J]. Application Research of Computers, 2013, 30(12): 3618-3621 (in Chinese)
孙光明, 王硕. 基于项目兴趣度的协同过滤新算法[J]. 计算机应用研究, 2013, 30(12): 3618-3621
- [6] Wang Wei-ping, Wang Jin-hui. Hybrid Recommendation Method Based on Tag and Collaborative Filtering[J]. Computer Engineering, 2011, 37(14): 34-35 (in Chinese)
王卫平, 王金辉. 基于 Tag 和协同过滤的混合推荐方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(14): 34-35
- [7] Xu Zhi-hong, Wang Bao-ying. Collaborative filtering algorithm based on item complex similarity[J]. Application Research of Computers, 2014, 31(2): 398-400 (in Chinese)
许智宏, 王宝莹. 基于项目综合相似度的协同过滤算法[J]. 计算机应用研究, 2014, 31(2): 398-400
- [8] Wang Bing-yi, Liu Yang, Nie Chang-xin. Personalized Recommendation Algorithm Based on Three-dimensional User Interest Modeling[J]. Computer Engineering, 2015, 41(1): 65-70 (in Chinese)
王冰怡, 刘杨, 聂长新. 基于用户兴趣三维建模的个性化推荐算法[J]. 计算机工程, 2015, 41(1): 65-70
- [9] Fang Jun-ming. Development and Challenge for Cognitive Psychology of Information process[J]. Psychological Science, 1998, 21(6): 481-484 (in Chinese)
方俊明. 信息加工认知心理学的发展和面临的挑战[J]. 心理科学, 1998, 21(6): 481-484
- [10] Lathia N, Hailes S, Capra L, et al. Temporal diversity in recommender systems[C]// Proceedings of the 33rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval. ACM, 2010: 210-217
- [11] <http://kddcup.yahoo.com/datasets.php#>
- [12] Zhao Liang, Hu Nai-jing, Zhang Shou-zhi. Algorithm Design for Personalization Recommendation System[J]. Journal of Computer Research and Development, 2002, 39(8): 986-991 (in Chinese)
赵亮, 胡乃静, 张守志. 个性化推荐算法设计[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(8): 986-991