

8-7-2020

## Dark Color Image Segmentation Method Integrated MRF & Retinex

Yongchun Miao

*School of Computer Information Engineering, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;*

Cheng Yan

*School of Computer Information Engineering, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;*

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.

---

## Dark Color Image Segmentation Method Integrated MRF & Retinex

### Abstract

**Abstract:** Given the interference from noise, poor quality and low identification of the night images, it is difficult to segment them by traditional color image segmentation method. Therefore, *a novel dark color image segmentation method integrated MRF&Retinex was proposed. The -LPG-PCA filtering model was built to filter out noise of an image. The recovery function of the denoised image was constructed, before converting RGB color space to HSV color space, and the MRF & Retinex model was built for image enhancement and color correction operation. The denoised and enhanced color image was segmented by the MRF&FCM clustering method.* The experimental results show that the algorithm can effectively enhance night images, eliminate noise as well as improve the peak signal noise ratio, and can achieve desirable results in dark color image segmentation.

### Keywords

dark color image segmentation, MRF, retinex, -LPG-PCA, FCM clustering

### Recommended Citation

Miao Yongchun, Cheng Yan. Dark Color Image Segmentation Method Integrated MRF & Retinex[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(10): 2387-2394.

## 融合 MRF&amp;Retinex 的暗原色彩图分割

苗永春, 程艳

(江西师范大学计算机信息工程学院, 南昌 330022)

**摘要:** 针对传统彩色图像分割方法对分割夜间图像易受噪声干扰、图像质量差、图像可辨识度低等问题的影响, 提出一种新的融合 MRF&Retinex 的暗原色彩图分割方法。建立 *e-LPG-PCA* 滤波模型, 对图像进行平滑处理; 对降噪后的图像构造优化的颜色恢复函数, 将 RGB 颜色空间转换为 HSV 颜色空间, 建立 MRF&Retinex 模型, 对图像进行增强运算和颜色校正; 利用 MRF&FCM 聚类方法进行图像分割。实验结果表明: 该算法可以有效地增强夜间彩色图像, 抑制噪声, 提高图像的峰值信噪比, 而且能够更好地实现夜间彩色图像的分割。

**关键词:** 暗原色彩图像分割; MRF; Retinex; *e-LPG-PCA*; FCM 聚类

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 10-2387-08

## Dark Color Image Segmentation Method Integrated MRF &amp; Retinex

Miao Yongchun, Cheng Yan

(School of Computer Information Engineering, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

**Abstract:** Given the interference from noise, poor quality and low identification of the night images, it is difficult to segment them by traditional color image segmentation method. Therefore, a novel dark color image segmentation method integrated MRF&Retinex was proposed. The *e-LPG-PCA* filtering model was built to filter out noise of an image. The recovery function of the denoised image was constructed, before converting RGB color space to HSV color space, and the MRF & Retinex model was built for image enhancement and color correction operation. The denoised and enhanced color image was segmented by the MRF&FCM clustering method. The experimental results show that the algorithm can effectively enhance night images, eliminate noise as well as improve the peak signal noise ratio, and can achieve desirable results in dark color image segmentation.

**Keywords:** dark color image segmentation; MRF; retinex; *e-LPG-PCA*; FCM clustering

## 引言

图像分割是图像处理和计算机视觉的一个经典难题, 是图像分析的关键一步, 也是模式识别的重要组件。因此, 图像分割结果直接影响到图

像分析的质量和模式识别的结果。近年来, 随着采集彩色图像的硬件设备日益广泛普及, 从彩色图像中提取的特征信息比灰度图像更丰富, 彩色图像分割技术的优越性日益突出, 已广泛用于生物学、遥感图像分析、工业产品检测等领域。

目前, 彩色图像分割算法有多种, 当前经典的有 JSEG<sup>[1]</sup>, Mean Shift<sup>[2]</sup>和 CTM<sup>[3]</sup>等算法。为了提高算法性能和获得更好的分割结果, 新的研究成果不断被提出, 如: Geng<sup>[4]</sup>等人提出一种基于 JSEG 的彩色图像分割算法, 主要利用 JSEG 计算



收稿日期: 2015-06-07 修回日期: 2015-07-24;  
基金项目: 国家自然科学基金项目(61262080); 江西省科技支撑计划重点项目(20151BBE50121);  
作者简介: 苗永春(1990-), 女, 安徽亳州, 硕士生, 研究方向为计算机图形学, 图形图像处理与模式识别; 程艳(1976-), 女, 江西婺源, 博士, 教授, 研究方向为数据挖掘、虚拟学习社区。

<http://www.china-simulation.com>

• 2387 •

图像的 J 值和生成初始的分割区域, 用 Ncut 方法合并小的区域, 该算法克服了 JSEG 算法的复杂度高和区域合并不准确的缺陷; Mahmood<sup>[5]</sup>等人提出了一种自动核磁共振脑组织彩色图像分割方法, 该方法主要结合 Mean Shift、先验空间组织概率图和 FCM 将脑组织分割为白质(WM), 灰质(GM)和脑脊髓液(CSF)三种组织类型, 此算法具有较好的鲁棒性和较高分割精度; 董卓莉<sup>[6]</sup>等人提出一种新的基于两段多组件图的彩色图像分割算法, 该算法有效克服因标签过多和噪声导致的过分分割; 纪则轩<sup>[7]</sup>等人提出一种新的基于无监督 FCM 聚类的彩色图像分割算法, 该算法是用自适应 Gabor 滤波和多项式分割等方法改进的 FCM 聚类方法; Ganesan<sup>[8]</sup>等人提出一种结合 HSV 颜色空间, 直方图均衡化和改进的 FCM 聚类的半自动化卫星图像分割方法, 这些方法对辨识性差、质量低、噪声大的暗原色彩图(如: 夜间图像)分割效果不佳, 但 Retinex 理论可以有效地解决这个问题。近几年, Retinex 理论<sup>[9]</sup>被应用到图像分割中, 它可以有效地增强图像的细节信息。文献[10]提出一种基于多尺度 Retinex 的非均匀校正磁共振图像分割方法, 该算法可以增强图像细节信息, 有效地提高对大脑磁共振(MR) 组织图像分割的准确性; 文献[11]提出一个视网膜血管分割框架, 用 Retinex 对非均匀性血管图像增强和校正, 提高血管活动轮廓分割的精度和效率, 但此方法仍然受噪声干扰, 影响彩色图像分割效果。本文主要针对辨识性差、质量低、噪声大的暗原色彩图像分割进行研究。

为了有效地解决以上问题, 本文提出一种新的融合 MRF&Retinex(Markov Random Field and Retinex)的暗原色彩图分割方法。

(1) 暗原色彩图像分割中引入基于 MRF 和 Retinex 理论的图像增强技术, 避免放大增强后图像中噪声现象, 有效地增强细节信息, 可以提高暗原色图像分割的精度, 使本文研究的彩色图像分割算法可以用于夜间或一定暗色程度的彩色图像;

(2) 对图像  $e$ -LPG-PCA(Extend Local Pixel Grouping and Principal Component Analysis)进行滤波运算, 可以有效地消除图像中的噪声, 因此本文的彩色图像分割方法适合于存在各种程度的噪声图像;

(3) 采用颜色恢复函数进行颜色恢复与校正, 得到增强后新的自然色彩图像, 再用一种新的 MRF&FCM 聚类方法进行聚类分割。

## 1 基本理论

### 1.1 MRF 模型

在一幅  $N \times M$  图像中, 设  $S = \{s_{ij} | i \in [1, N], j \in [1, M]\}$  表示像素的位置。对于  $\forall s \in S$ , 标号场可以定义为  $X = \{x_s | s \in S\}$  来表示图像的像素值集合, 其中  $x_s$  表示在标号场  $X$  上, 状态空间  $\Omega = \{1, 2, \dots, L\}$  下的隐状态随机变量, 即  $x_s \in \Omega$ ,  $L$  表示图像被分割成不同区域的数目。

在  $S$  上, 设  $\sigma = \{\sigma(s) | s \in S\}$  表示通用邻域系统的集合, 其必定满足特性有: ①  $\sigma(s) \subset S$ ; ②  $s \notin \sigma(s)$ ; ③  $\forall s, r \in S, s \in \sigma(r) \Leftrightarrow r \in \sigma(s)$ 。

设  $\Omega = \{\omega = \{\omega_{s_1}, \omega_{s_2}, \dots, \omega_{s_{NM}}\} | \omega_{s_i} \in \sigma, 1 \leq i \leq NM\}$  表示所有可能组态的集合, 标号场  $X$  是关于通用邻域  $\sigma$  的 MRF, 必定满足的条件:

$$\textcircled{1} p(X = \omega) \geq 0, \forall \omega \in \Omega;$$

$$\textcircled{2} p(X_s = x_s | X_r = x_r, r \neq s, \forall r \in \sigma(s)) = p(X_s = x_s | X_r = x_r, \forall r \in \sigma(s))$$

其中,  $p(\cdot)$  指标号场的先验概率;  $p(\cdot | \cdot)$  表示邻域标号的局部相互作用关系的条件概率。

在实际应用中, 我们很难确定两个条件的概率值。Hammersley-Clifford<sup>[12]</sup>定理给出了 MRF 与 Gibbs 分布的等价关系, 用 Gibbs 分布解决 MRF 中的概率分布的难题。在图像处理中, 用能量函数来求解先验概率, 则通用邻域系统  $\sigma$  的 Gibbs 分布求定义在  $\Omega$  上的概率来测度  $p$ , 即:

$$p(\omega) = [\exp(-U(\omega)/T)] / Z \quad (1)$$

其中,  $Z$  是一个归一化常数,  $T$  为一个温度常数,  $U(\omega) = \sum_{c \in C} V_c(\omega)$  表示能量函数,  $C$  指邻域

系统  $\sigma$  中包含基团的集合,  $V_c(\omega)$  表示在基团  $c$  上的势函数, 只依赖于  $\sigma(s)$  的值,  $s \in c$ 。在 MRF 中, 邻域系统  $\sigma(s)$  的 MRF 标号场  $X$  的局部相互作用关系的条件概率可以表示为:

$$p(x_s | x_r) = [\exp(-\sum_{c \in C} V_c(x_s | x_r)) / T] / Z_s \quad (2)$$

## 1.2 Retinex 理论

在 Retinex 理论中, 将一幅图像表示为由反射分量  $R(i, j)$  和照度分量  $I(i, j)$  的乘积, 即:

$$G(i, j) = R(i, j) \times I(i, j) \quad (3)$$

其中  $(i, j)$  为像素空间的坐标, 反射分量决定物体的本质特性, 照度分量决定像素的动态范围。Retinex 的原理是剔除原图中环境光照的干扰, 计算物体的反射分量, 得到不受非均衡光照的影响的图像。一般 Retinex 算法求解图像的反射分量时, 将(3)式转换到对数域:

$$\log R(i, j) = \log G(i, j) - \log \tilde{I}(i, j) \quad (4)$$

其中,  $\log \tilde{I}(i, j)$  表示照度分量的估计值。本文用高斯滤波函数形式的中心环绕函数  $F(i, j)$  与亮度图像的卷积运算估计照度分量:

$$\tilde{I}(i, j) = G(i, j) \times F(i, j) \quad (5)$$

$$F(i, j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{i^2 + j^2}{2\sigma^2}\right) \quad (6)$$

## 2 本文暗原色彩图分割算法描述

本文暗原色彩图分割问题可概括为: 当分割图像为可辨识度差、质量低、噪声大的暗原色彩图像时, 如何有效地增强图像细节信息, 复原图像自然颜色, 以及滤波去噪声, 更佳地分割出感兴趣区域的图像。

本文彩色图像分割算法的主要思想为: 首先建立  $e$ -LPG-PCA 滤波模型, 对原图像进行滤波运算和降噪平滑处理; 然后对降噪后的图像构造优化的颜色恢复函数, 并将 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间, 建立 MRF&Retinex 模型增强和校正图像; 最后, 利用 MRF&FCM 聚类算法分割图像。本文图像分割算法整体流程如图 1 所示。

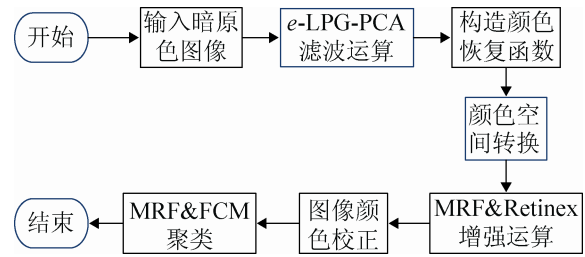


图 1 算法总体流程图

本算法涉及到  $e$ -LPG-PCA 滤波运算、图像颜色空间转换、MRF&Retinex 增强运算及 MRF&FCM 聚类四个关键步骤。

### 2.1 $e$ -LPG-PCA 滤波运算

原图像中存在噪声时, 噪声易干扰图像分割, 导致分割效果不理想。考虑到空间的局部约束, 本文选用 LPG-PCA 滤波运算, 抑制噪声干扰, 避免图像增强运算的同时噪音被放大。

LPG-PCA 滤波运算的原理: 一幅  $N \times M$  含噪声图像表示成  $G_a = G + A$ ,  $G$  指原图像,  $A$  指噪声。包含  $m$  个  $g_k^a$  样本用向量表示为  $G_k^a$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , 则图像向量可表示为  $G_a = [(G_1^a)^T, \dots, (G_n^a)^T]^T$ 。  $G_k^a$  的均值为  $\mu_k = (1/m) \sum_{i=1}^m G_k^a(i)$ , 使  $G_k^a$  集中于  $\bar{G}_k^a = G_k^a - \mu_k$ , 于是可以得到  $\bar{G}_a = \bar{G} + A$ 。在训练区域  $L \times L (L > K)$  中, 求出  $\bar{G}_a$  的协方差矩阵  $\Gamma_{g_a}$  与 PCA 变换矩阵  $\eta_g$ , 记为:

$$\Gamma_{g_a} = \Phi_g A_g \Phi_g^T \quad (7)$$

$$\eta_g = \Phi_g^T \quad (8)$$

式中:  $A_g$  指对角特征值矩阵,  $\Phi_g$  指正交矩阵。将  $\bar{G}_a$  区域转换为  $\bar{X}_a$ , 则  $\bar{X}_a = \eta_g \bar{G}_a = \eta_g \bar{G} + \eta_g A = \bar{X} + A_x$ , 由于  $\bar{X}$  与  $A_x$  不相关, 则  $\bar{X}_a$  的协方差矩阵可表示为:

$$\Gamma_{x_a} = (1/m) \bar{X}_a \bar{X}_a^T = \Gamma_x + \Gamma_{A_x} \quad (9)$$

对变换后的均值图像  $\bar{X}_a$ , 采用线性最小均方差估计方法进行降噪, 其计算公式为:

$$\bar{X}_l = \omega_l \cdot \bar{X}_a^l \quad (10)$$

式中:  $\bar{X}_l$  指  $\bar{X}$  的第  $l$  行;  $\omega_l$  为降噪收缩系数;  $\bar{X}_a^l$

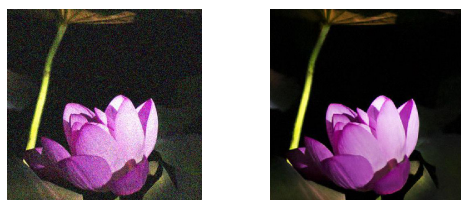
指  $\bar{X}_a$  的第  $l$  行。在均值区域中，取  $\omega_l$  的值为 0，图像  $\bar{X}_a^l$  中的噪声将被全部去除。最终，通过 PCA 变换矩阵得到降噪后的图像矩阵为：

$$\hat{G} = \eta_g^T \hat{X} \quad (11)$$

式中： $\hat{X}$  指由式(10)求出的全部  $\bar{X}_l$  构成的矩阵， $\eta_g^T$  指由式(8)计算出的 PCA 变换矩阵  $\eta_g$  的转置。

通过 LPG-PCA 滤波运算可以对灰度图像降噪。本文结合 LPG-PCA 原理和 RGB 模型，扩展到对彩色图像降噪，则将这个降噪过程称为  $e$ -LPG-PCA 滤波运算。

本文主要将每个  $k \times k$  变量区域对应扩展到  $R, G, B$  三个分量，生成一个  $k \times k \times 3$  的变量区域。在  $k \times k \times 3$  窗口内，以噪声点为中心的全部像素点构成一个向量，即： $G = [g_1, g_2, \dots, g_m]^T$ ， $m = 3k^2$ ，对噪声图像  $G_a = G + A$ ，其噪声矢量化为  $G_a = [G_1^a, G_2^a, \dots, G_m^a]^T$ ，在  $L \times L \times 3 (L > K)$  训练块中，通过训练区域，用式(7)和(8)分别计算  $G_a$  的协方差矩阵和 PCA 变换矩阵，再用 PCA 算法滤波去噪，实验结果如图 2 所示。通过图 2 的(a)与(b)对比得出，经过  $e$ -LPG-PCA 滤波运算后，图像中噪声点被有效消除。



(a) 噪声图像 (b)  $e$ -LPG-PCA 滤波图像

图 2 噪声图像及  $e$ -LPG-PCA 滤波图像

## 2.2 颜色空间转换

一般采集到的彩色图像是以 RGB 颜色空间表示，是一种不均匀的颜色空间，图像增强运算会因各颜色通道的不均衡导致图像颜色失真。HSV<sup>[13]</sup>(Hue Saturation Value)颜色空间是一种均匀的颜色空间，能直观地反映出人类视觉期望值。所以本文的彩图分割方法采用 HSV 颜色空间。由

RGB 模型转到 HSV 模型，HSV 模型的亮度分量  $G_V(i, j)$ 、色调分量  $G_H(i, j)$  和饱和度分量  $G_S(i, j)$  分别为：

$$G_V(i, j) = \max(R, G, B)$$

$$G_S(i, j) = \begin{cases} \frac{G_V(i, j) - \min(R, G, B)}{G_V(i, j)} & G_V(i, j) \neq 0 \\ 0 & G_V(i, j) = 0 \end{cases}$$

$$G_H(i, j) = \begin{cases} 60(G-B)/[G_V(i, j) - \min(R, G, B)], G_V(i, j) = R \\ 120 + 60(B-R)/[G_V(i, j) - \min(R, G, B)], G_V(i, j) = G \\ 240 + 60(R-G)/[G_V(i, j) - \min(R, G, B)], G_V(i, j) = B \end{cases}$$

其中： $G_V(i, j) \in [0, 1]$ ， $G_S(i, j) \in [0, 1]$ ， $G_H(i, j) \in [0, 360]$ 。如果  $G_H(i, j) < 0$ ，则  $G_H(i, j) = G_H(i, j) + 360$ 。为了避免产生颜色失真的现象，需构造优化的颜色恢复函数对颜色保真。该函数计算每个像素的颜色比重权值：

$$W_k(i, j) = \log(1 + \alpha G_k(i, j)) / \sum_{k=1}^3 G_k(i, j) + \beta + 1 \quad (12)$$

其中： $k$  表示 RGB 颜色通道； $\alpha$  用来调节色彩亮度分量； $\beta$  用来调节图像处理后色彩的比重。

## 2.3 MRF&Retinex 增强运算

暗原色图像质量差，尤其远景物体的可辨识度比较低，在 Retinex 增强时会缺失有效边缘信息，影响分割效果。本文利用 MRF 模型的保边特性和 Retinex 图像增强原理，对暗原色彩图进行 MRF&Retinex 增强运算。

MRF 模型用于保持边缘轮廓信息，平滑轮廓。根据贝叶斯法则，采用最大化的后验概率构建最小化的后验能量函数，估计图像的反射分量  $R(i, j)$ 。 $R_{ij}^*$  的贝叶斯风险记为(为便于书写分别用  $G_{ij}$ ， $R_{ij}$ ， $I_{ij}$  代替  $G(i, j)$ ， $R(i, j)$ ， $I(i, j)$ ):

$$\varphi(R_{ij}^*) = 1 - \int_{R_{ij}, \|R_{ij}^* - R_{ij}\| < \delta} p(R_{ij} | G_{ij}, I_{ij}) dR_{ij} \quad (13)$$

其中： $R_{ij}^*$  为估计  $R_{ij}$  的代价； $\delta$  为  $R_{ij}^*$  与  $R_{ij}$  之间距离的阈值； $G_{ij}$ ， $R_{ij}$ ， $I_{ij}$  分别表示亮度图像、其反射分量和照度分量。由贝叶斯定理得：

$$p(R_{ij} | G_{ij}, I_{ij}) \propto p(G_{ij}, I_{ij} | R_{ij}) p(R_{ij}) \quad (14)$$

其中： $p(R_{ij})$  指先验概率； $p(G_{ij}, I_{ij} | R_{ij})$  指  $R_{ij}$  对于

$G_{ij}, I_{ij}$  似然函数。  $p(R_{ij} | G_{ij}, I_{ij})$  是 MRF 的后验分布。由(13)和(14)式可知, 最小化贝叶斯风险估计等价于最大化的后验概率, 即:

$$R_{ij}^* = \arg \max_{(i,j) \in X} \{p(G_{ij}, I_{ij} | R_{ij})p(R_{ij})\}$$

式中:  $X$  指图像的像素点集合。

由公式(1) (2)可得:  $p(R_{ij}) \propto \exp(-U(R_{ij}))$  和  $p(G_{ij}, I_{ij} | R_{ij}) \propto \exp(-U(G_{ij}, I_{ij} | R_{ij}))$ , 其中,  $U(R_{ij})$  为先验能量函数,  $U(G_{ij}, I_{ij} | R_{ij})$  为先验的能量。对公式(14)取对数, 将最大后验概率转为寻找最小化的后验能量函数来求解图像的反射分量:

$$R_{ij}^* = \arg \min_{(i,j) \in X} \{U(G_{ij}, I_{ij} | R_{ij})\}$$

$$U(R_{ij} | G_{ij}, I_{ij}) = U(G_{ij}, I_{ij} | R_{ij}) + U(R_{ij}) \quad (15)$$

$$U(G_{ij}, I_{ij} | R_{ij}) = \sum_{(i,j) \in X} \frac{(\log R_{ij} - \log G_{ij})^2 + (\log R_{ij} - \log I_{ij})^2}{2\sigma^2} \quad (16)$$

$$U(R_{ij}) = \sum_{\substack{(i,j) \in X \\ (k,l) \in Y}} (\log R_{ij} - \log R_{i+k,j+l})^2 \quad (17)$$

其中:  $X$  指像素点集合;  $Y$  为  $(i,j)$  的邻域像素集合。

结合求出的反射分量  $R_{ij}$ 、图像的色调分量  $G_H(i,j)$  和饱和度分量  $G_S(i,j)$  将图像从 HSV 颜色空间转换到 RGB 颜色空间, 恢复原图颜色的反射图像为:

$$R'(i,j) = W_k(i,j)R_{RGB}(i,j)$$

式中:  $R_{RGB}(i,j)$  为 RGB 颜色空间图像;  $W_k(i,j)$  为公式(12)计算出的原图像的颜色恢复比重。  $R'(i,j)$  表示增强后的图像, 实验结果见图 3。由图 3 的(a)和(b)对比可知, 经过 MRF& Retinex 增强运算, 图像的轮廓更加清晰, 增强场景物体的可辨率, 便于图像的有效分割。



(a) 降噪后的图像 (b) MRF&Retinex 增强图像

图 3 降噪后的图像及 MRF&Retinex 增强图像

## 2.4 MRF&FCM 聚类分割算法

在聚类分割算法中, FCM 聚类分割算法是经典图像分割算法之一<sup>[5-7]</sup>。但当 FCM 聚类算法用于分割图像中存在局部邻域约束时, 分割效果不理想。为了解决这个问题, 应用 MRF&FCM 聚类算法进行彩图分割。MRF&FCM 聚类是在 FCM 中引入空间局部约束信息, 且确保不过度依赖相关参数。

在以第  $i$  个像素为中心的局部区域内, 用 MRF 模型的局部概率  $p_{ik}$  优化 FCM 算法的模糊因子, 需考虑局部区域所有像素的位置及特征取值信息:

$$F_{ik} = \sum_{\substack{j \in N_i \\ j \neq i}} (1 - P_{jk}) D_{jk,i} \quad (18)$$

式中:  $N_i$  为像素  $i$  邻域像素集合;  $(1 - P_{jk})$  指像素  $j$  不属于第  $k$  簇类的先验概率;  $D_{jk,i}$  指在簇类  $k$  上像素  $j$  与  $i$  的模糊距离, 记为:

$$D_{jk,i} = \frac{1}{d_{ij} + 1} (1 - \mu_{jk})^m \|x_j - v_k\|^2 \quad (19)$$

其中:  $d_{ij}$  为像素  $j$  与  $i$  之间的欧式距离;  $\mu_{jk}$  表示像素  $j$  对簇类  $k$  的隶属度;  $x_j$  为像素  $j$  的分量值;  $v_k$  指簇  $k$  的中心。为使隶属度函数兼顾了聚类的模糊性和图像信息的随机性, 强化局部邻域约束, 则用局部概率优化隶属度函数:

$$\mu_{ik}^* = \frac{\mu_{ik} P_{ik}}{\sum_{k=1}^c \mu_{ik} P_{ik}} \quad (20)$$

MRF&FCM 聚类中新的目标函数为:

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^c [\mu_{ik}^m \|x_i - v_k\|^2 + G_{ik}] \quad (21)$$

满足的约束条件为:

$$0 \leq \mu_{ik} \leq 1, \sum_{k=1}^c \mu_{ik} = 1, 0 \leq \sum_{k=1}^c \mu_{ik} \leq N$$

采用拉格朗日算子对目标函数  $J_m$  松弛后求极值, 得出隶属度和簇类中心的计算公式:

$$\mu_{ik} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{1}{\|x_i - v_k\|^2 + G_{ik}} \right)^{\frac{1}{m-1}}} \quad (22)$$

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_{ik}^m x_i}{\sum_{i=1}^N \mu_{ik}^m} \quad (23)$$

### 3 实验结果与分析

实验的硬件环境为 Intel(R) CPU @2.10GHz, 内存 2G, 实验平台 MATLAB2012b for Win7。为了验证本文算法对图像分割的有效性, 将其与文献[14]和文献[15]提出基于聚类的分割算法进行实验对比。实验中, 选择的 3 幅图像均为 128×128 尺寸, jpg 格式的夜间场景彩图, 如图 4(a)~(c)所示, 设置模糊参数  $m=3$ , 势函数  $a=0.3$ ,  $\beta=1$  (以其他文献为参考, 多次实验得到的最佳参数), 对应文献的参数都为文献默认值。为了从分割结果中观察到最佳簇数目和图像增强效果, 则用不同

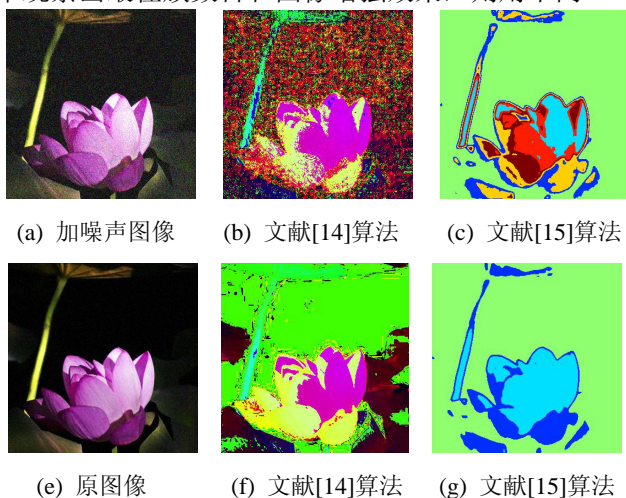


图 5 三种算法对 Lotus 加噪声图和原图分割结果比较

从图 5(b)、(f)分割结果对比得出, 文献[14]算法受到噪声干扰, 分割的图像中含有很多分割碎片; 图 5(g)分割的结果比图 5(b)、(c)、(f)在分割区域上更均匀一致, 主要是文献[15]算法有抑制噪声干扰功能, 比文献[14]算法效果好, 但因图像质量差, 辨识性低, 产生了部分细节信息缺失; 本文算法对噪声图像分割出三张图像, 即最佳聚类数为 3, 如图 5(d)所示, 对原图像分割出两张图像, 即最佳聚类数为 2, 如图 5(h)所示。图

的分割结果显示方式。

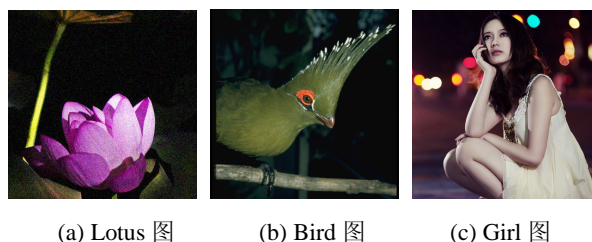
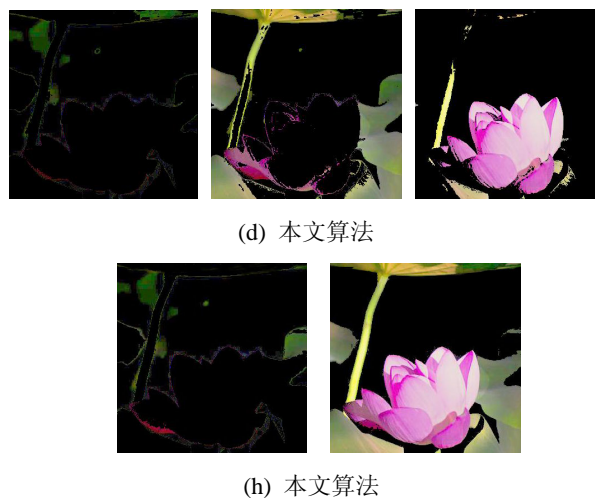


图 4 3 幅夜间场景彩色图像

#### 3.1 实验与结果分析

**实验 1** 为验证本文算法的有效性, 对图 4(a)进行人工噪声处理, 加入均值为 0, 方差为 0.09 的高斯白噪声干扰, 得到图 5(a)。对含噪声的图 5(a)和原图像 5(e)分别用文献[14]算法、文献[15]算法以及本文算法进行分割对比实验, 实验结果如图 5 所示。



5(d), (h)分割效果比图 5(b), (f)和(c), (g)都好, 因本文算法用  $e$ -LPG-PCA 滤波运算和 MRF&Retinex 图像增强运算, 再通过改进的 MRF&FCM 聚类方法进行分割, 解决了文献[14]和文献[15]的不足, 得到更接近理想的分割结果。

**实验 2** 选用图 4(b)和(c)两幅真实夜间场景的彩色图像进行实验, 在不同噪声干扰和夜色影响的情况下, 定量评估本文算法的有效性。实验结果如图 6 和 7 所示。



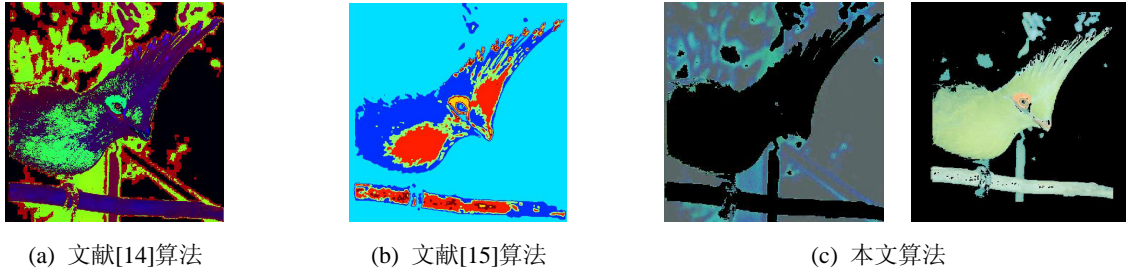


图 6 文献[14-15]算法与本文算法 Bird 图像分割结果比较

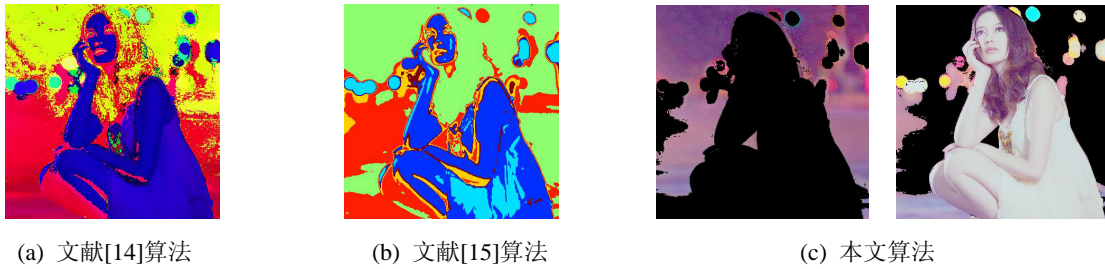


图 7 文献[14-15]算法与本文算法 Girl 图像分割结果比较

由图 6(a)和图 7(a)可知, 由于文献[14]算法受噪声干扰和夜色影响, 分割图像中存在许多颗粒状的区域, 使分割结果不显著; 从图 6(b)和图 7(b)得知, 文献[15]算法能有效的抑制噪声干扰, 相比于文献[14]算法, 分割效果较好, 但受夜色的影响, 暗原色的远景没被准确识别出来, 导致误分割。从图 6(c)和图 7(c)得知, 本文算法最佳聚类数为 2, 对夜间彩色图像进行降噪处理和增强运算, 分割时图像受噪声干扰小, 以及减弱暗原色的影响, 与文献[14]和[15]算法相比, 分割效果比较理想。

### 3.2 性能分析

在相同的硬件和软件环境下进行实验, 通过夜间彩色图像分割的错误率和峰值信噪比评估图像分割的性能。

图像分割错误率是用来评估图像分割质量的指标之一, 是理想图像分割与算法分割图像之间的对比。图像分割错误率定义为:

$$E = \rho_{\text{ideal}} - \rho_{\text{real}} / \rho_{\text{ideal}} \quad (24)$$

式中,  $\rho_{\text{ideal}}$  指原图像像素点总数;  $\rho_{\text{real}}$  指分割后图像像素点总数。

图像分割质量也易受噪音影响, 一幅  $m \times n$  的

图像的峰值信噪比定义为:

$$\text{PSNR} = \frac{255 \times 255}{mn \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\psi(i, j) - \psi'(i, j))^2} \quad (25)$$

式中,  $\psi(i, j)$  为原图像的灰度值;  $\psi'(i, j)$  为去噪后的图像灰度值。

通过式(24)计算图像分割错误率, 表 1 为文献[14-15]与本文算法分割结果错误率比较。由表 1 可以看出, 本文算法比文献[14-15]算法图像分割错误率低。由此可以得出本文算法的分割最理想。

表 1 文献[14-15]与本文算法图像分割错误率

噪声图像	文献[14]算法	文献[15]算法	本文算法
G(0,0.02)	0.381 3	0.231 2	0.080 9
G(0,0.04)	0.381 6	0.231 0	0.100 1
G(0,0.06)	0.381 4	0.231 8	0.099 0
G(0,0.08)	0.382 2	0.232 1	0.099 8

在噪声干扰一致情况下进行实验, 表 2 表示文献[14]、文献[15]算法与本文算法分别用公式(25)计算 PSNR 值对比。从表 2 得知, 本文算法的峰值信噪比相比于文献[14]和文献[15]算法有显著的提高, 所以本文算法受噪音干扰和暗原色的影响下, 图像分割效果较理想。

表 2 文献[14-15]与本文算法分割结果的峰值信噪比

图像	文献[14]算法	文献[15]算法	本文算法
Lotus 图	6.889 2	21.809 3	32.826 5
Bird 图	13.683 9	22.161 2	28.982 0
Girl 图	9.236 5	20.246 1	31.160 2

## 4 结论

将 Retinex 理论、FCM 聚类算法与马尔科夫随机场模型(MRF)相结合,提出一种新的融合 MRF&Retinex 的暗原色彩图分割方法。本文算法建立  $e$ -LPG-PCA 滤波模型,去除图像中的噪声,再利用 MRF&Retinex 算法对暗原色图像增强,以及 MRF&FCM 聚类算法分割图像,所以待分割夜间彩色图像噪声干扰小,轮廓清晰,可辨识性高,得到了更好的分割结果。实验结果与分析表明了该算法的有效性,以及具有较好的性能。本文主要针对暗原色图像进行研究,也可以将该方法拓展到一般彩色图像分割,即将图像亮度满足一定阈值的图像,跳过图像增强处理,直接对其进行分割。

## 参考文献:

- [1] Deng Y, Manjunath B.S. Unsupervised Segmentation of Color-texture Regions in Images and Video [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (S0162-8828), 2001, 23(8): 800-810.
- [2] Comaniciu D, Meer P. Mean Shift: a Robust Approach toward Feature Space Analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (S0162- 8828), 2002, 24(5): 603-619.
- [3] Allen Y Y, John Wright, Yi Ma, *et al.* Unsupervised Segmentation of Natural Images via Lossy Data Compression [J]. Computer Vision and Image Understanding (S1077-3142), 2008, 110(2): 212-225.
- [4] Geng Y Z, Chen J, Wang L. A Novel Color Image Segmentation Algorithm based on JSEG and Normalized Cuts [C]// 2013 6th International Congress on Image and Signal Processing (CISP). USA: IEEE, 2013, 1: 550-554.
- [5] Mahmood Q, Chodorowski A, Persson M. Automated MRI Brain Tissue Segmentation based on Mean Shift and Fuzzy C-means using a Prior Tissue Probability Maps [J]. IRBM (S1959-0318), 2015, 36(3): 185-196.
- [6] 董卓莉, 李磊, 张德贤. 基于两段多组件图割的非监督彩色图像分割算法 [J]. 自动化学报, 2014 (6): 1223-1232.
- [7] 纪则轩, 潘瑜, 陈强, 等. 无监督模糊 C 均值聚类自然图像分割算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011 (5): 773-783.
- [8] Ganesan P, Rajini V. Value based Semi-automatic Segmentation of Satellite Images using HSV Color Space, Histogram Equalization and Modified FCM Clustering Algorithm [C]// 2013 International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy (ICGCE). USA: IEEE, 2013: 77-82.
- [9] 占必超, 吴一全, 纪守新. 基于平稳小波变换和 Retinex 的红外图像增强方法 [J]. 光学学报, 2010 (10): 2788-2793.
- [10] Chao W H, Lai H Y, Shih Y Y I, *et al.* Correction of Inhomogeneous Magnetic Resonance Images using Multiscale Retinex for Segmentation Accuracy Improvement [J]. Biomedical Signal Processing and Control (S1746-8094), 2012, 7(2): 129-140.
- [11] Zhao Y, Liu Y, Wu X, *et al.* Retinal Vessel Segmentation: An Efficient Graph Cut Approach with Retinex and Local Phase [J]. PLoS ONE (S1932-6203), 2015, 10(4): e0122332.
- [12] Besag J. Spatial Interaction and the Statistical Analysis of Lattice Systems [J]. Journal of the Royal Statistical Society (S0172-7397), 1974, 36(2): 192-236.
- [13] 秦绪佳, 王慧玲, 杜轶诚, 等. HSV 色彩空间的 Retinex 结构光图像增强算法 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013 (4): 488-493.
- [14] 赵泉华, 李玉, 何晓军. 结合几何划分技术和最大期望值/最大边缘概率算法的彩色图像分割 [J]. 中国图象图形学报, 2013 (10): 1270-1278.
- [15] Dante M V, Francisco J G F, Alberto J R S. A Fuzzy Clustering Algorithm with Spatial Robust Estimation Constraint for Noisy Color Image Segmentation [J]. Pattern Recognition Letters (S0167-8655), 2013, 34(4): 400-413.