

# 基于卡通提取的自然图像分割

郭娟,何坤,周激流

(四川大学 计算机学院,四川 成都 610065)

**摘要:**传统图像分割方法中基于边缘的水平集图像分割对纹理丰富的自然图像存在过分割和欠分割现象。自然图像含有丰富纹理,为了抑制纹理对图像分割的影响,文中结合 ROF 的保边模型和 Y. Meyer 的保纹理模型,将图像分解为卡通分量与纹理分量之和,根据纹理的像素变化特性将其表示为一个函数梯度的散度,建立了保边卡通提取的数学模型。结合对象轮廓与卡通分量边缘之间的关系,运用固定点迭代算法提取图像的卡通分量,并对卡通分量运用基于水平集的曲线演化实现自然图像分割。实验结果表明:该算法提取的卡通分量继承传统全变分算法优点,实现了纹理区域近似常数表示,模糊了对象内部的弱边缘,保护了对象轮廓,在一定程度上抑制了纹理对图像分割的影响。

**关键词:**图像分割;卡通分量;纹理分量;保边;水平集

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)02-0012-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.02.003

## Natural Image Segmentation Based on Cartoon Component Extracting

GUO Juan, HE Kun, ZHOU Ji-liu

(College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The traditional edge based level set image segmentation may be over- or under segmentation for nature scene, rich in texture. To suppress the texture on the influence of the image segmentation, propose a new model for natural image segmentation, which follows results of R. O. F. edge-preserving model and Y. Meyer texture-preserving model, using it to extract images to cartoon component and texture component. According to the pixel variation characteristics of texture in the spatial domain, express texture as the divergence of function gradient and build a new cartoon-extracting model in the image domain. In addition, design diverse equation for the model by fixed point iteration algorithm, and the convergence condition by the relationship between the contour of the object and the edge of cartoon component. The experimental results show that the cartoon component extraction algorithm inherits the advantages of traditional total variation algorithm, implementing the approximated constant expression for the texture region, retaining the object contour, blurring weak edges inside the object, to a certain extent, suppressing the effect of texture on segmentation algorithm.

**Key words:** image segmentation; cartoon component; texture component; edge preserving; level set

## 1 概述

图像分割技术是把图像中感兴趣区域分离出来,为高层次的图像分析打下基础<sup>[1-2]</sup>。自然图像含有丰富纹理,这是影响图像分割准确性的主要因素<sup>[3-4]</sup>。CV 图像分割是基于 Mumford-Shah 模型<sup>[5]</sup>提出的一种常见的图像分割算法。该算法假设在图像区域  $\Omega$  内存在一条连续的对象轮廓闭曲线  $C$ ,对闭曲线内外区域  $\Omega/C$  依特征运用分段光滑函数对图像进行逼近。高斯平滑是最简单的分段逼近处理,Chan-Vese 提出的无边界的活动分割模型<sup>[6-7]</sup>对待分割图像运用高斯

窗口函数进行平滑。高斯平滑利用邻域相似性对区域进行各向同性的点扩散处理<sup>[8]</sup>,忽略了闭曲线内外区域的边缘特征,致使区域内的边缘模糊<sup>[9]</sup>,影响分割效果。

图像的视觉特征通过纹理和边缘表征出来。根据图像内容的“能量”集中性,对图像运用固定核函数进行正交变换<sup>[10]</sup>,实现图像的稀疏表示,将低于阈值的变换系数置为 0,从而达到抑制纹理的目的。如果正交变换的阈值选取太大,纹理抑制呈现方块效应,反之残余纹理较多。为了弥补这一现象,根据纹理的尺度

收稿日期:2015-05-06

修回日期:2015-08-09

网络出版时间:2016-01-26

基金项目:四川省科技支撑项目(2013SF0157)

作者简介:郭娟(1990-),女,硕士研究生,研究方向为数字图像处理;何坤,副教授,研究方向为模式识别、数字图像处理、图像水印;周激流,教授,博士生导师,研究方向为图像处理、人脸识别、无线网络、分数阶微积分、计算机智能。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160126.1517.014.html>

和方向性,设计不同中心频率和方向的 Gabor 滤波器函数集<sup>[11]</sup>,利用 Gabor 滤波器函数集与图像进行卷积,得到不同尺度和方向的纹理特征集合。根据图像纹理的统计分布特性对对象内外区域进行对半监督性学习,统计分析纹理分布密度<sup>[12-13]</sup>,挖掘其统计参数,从而抑制纹理对曲线演化的影响。

传统活动轮廓分割算法对已知封闭曲线进行演化,例如 snake 算子和水平集方法<sup>[14-15]</sup>。在这种模型下,图像被划分成两部分(即对象和背景),通过能量函数对图像进行逼近。传统活动轮廓分割算法对二值图像和卡通图像分割效果较好,对纹理丰富的自然图像存在过分割和欠分割现象,而自然图像目标和背景中纹理丰富。为了抑制纹理对图像分割的影响,文中在 Y. Meyer 的纹理保留模型<sup>[16]</sup>上将图像表示为卡通分量和纹理分量,根据纹理在空间域像素的变化特性,将纹理表示为函数梯度的散度。以 ROF<sup>[17]</sup> 的保边模型为基石,以卡通分量梯度幅度为变量,建立了新的图像域上保边卡通提取的数学模型。

文中基于邻域像素的相关性设计了卡通分量的离散迭代函数,结合对象轮廓与卡通分量边缘之间的关系设计了迭代收敛函数,运用固定点迭代算法从自然图像中提取相应的卡通分量,对卡通分量运用基于水平集的曲线演化实现自然图像分割。

实验结果表明:该算法提取的卡通分量继承传统全变分算法的优点,实现了纹理区域近似常数表示,模糊了对象内部的弱边缘,保护了对象轮廓,在一定程度上抑制了纹理对图像分割的影响,弥补了传统活动轮廓分割算法对自然图像分割的不足。

## 2 图像的卡通分量提取

### 2.1 卡通分量模型

CV 模型是根据 Mumford - Shah 模型提出的一种基于区域的活动轮廓模型,即曲线演化<sup>[6]</sup>。Mumford - Shah 模型的基本思想是为了一幅给定的图像  $I(x, y)$  找到一组  $(u, C)$ , 其中  $u$  是  $I(x, y)$  的分段光滑近似图像,  $C$  表示光滑的封闭曲线。Mumford - Shah 能量泛函的一般形式可以写作<sup>[5]</sup>:

$$(u, C) = \arg \min_{u, C} \left\{ \int_{\Omega \setminus C} |\nabla u(x, y)|^2 dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} |I(x, y) - u(x, y)|^2 dx dy + \gamma |C| \right\} \quad (1)$$

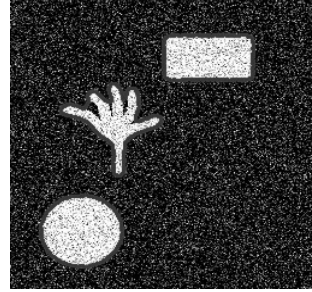
CV 算法对卡通图像分割效果较好,对纹理丰富的自然图像存在过分割和欠分割现象,见图 1。

为了抑制纹理对自然图像分割的影响,文中根据 Y. Meyer 的保纹理模型,将自然图像  $I(x, y)$  表示为卡通分量  $u(x, y)$  和纹理分量  $v(x, y)$ <sup>[16]</sup>,即:

$$I(x, y) = u(x, y) + v(x, y) \quad (2)$$

式中,  $u(x, y)$  是图像分段光滑的简化逼近,由均匀区域和突变的边界构成;  $v(x, y)$  表示区域内部重复的图案细节。

图像纹理在空间上表现为像素变化,但变化缓慢且变化幅度较小,所以纹理分量包含大量的弱边缘。



(a) 二值图像



(b) 自然图像

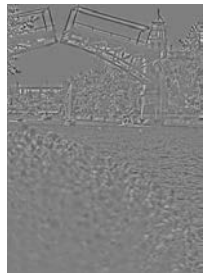
图 1 CV 算法对图像的分割  
自然图像的卡通纹理分解见图 2。



(a) 场景图像



(b) 卡通分量



(c) 纹理分量

图 2 自然图像的卡通纹理分解

根据纹理的像素变化特性,将纹理表示为一个振动函数  $f(x, y)$  梯度的散度<sup>[18]</sup>:

$$v(x, y) = \operatorname{div} \left( \frac{\nabla f}{|\nabla f|} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{f_x}{|\nabla f|} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{f_y}{|\nabla f|} \right) \quad (3)$$

结合图像像素变化特征,以函数梯度的散度表示的纹理具有两个性质:零均值振荡和“能量”有限性。

$$\begin{cases} \int_{\Omega} f(x, y) dx dy = 0, f(x, y) \neq 0 \\ \int_{\Omega} \sqrt{\left( \frac{f_x}{|\nabla f|} \right)^2 + \left( \frac{f_y}{|\nabla f|} \right)^2} dx dy \leq A \end{cases} \quad (4)$$

将式(4)带入式(1)中,得到相应的图像分割模型:

$$(u, C) = \arg \min_{u, C} \left\{ \int_{\Omega \setminus C} |\nabla u(x, y)|^2 dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} (I(x, y) - u(x, y) - \operatorname{div} \left( \frac{\nabla f}{|\nabla f|} \right))^2 dx dy + \gamma |C| \right\} \quad (5)$$

文中将纹理能量有限性作为约束条件,运用拉格朗日乘法,得到无约束的分割模型:

$$(u, C) = \arg \min_{u, C} \left\{ \int_{\Omega \setminus C} |\nabla u(x, y)|^2 dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} (I(x, y) - u(x, y) - \operatorname{div}(\frac{\nabla f}{|\nabla f|}))^2 dx dy + \mu \int_{\Omega} \sqrt{(\frac{f_x}{|\nabla f|})^2 + (\frac{f_y}{|\nabla f|})^2} dx dy + \gamma |C| \right\} \quad (6)$$

式中,第一项表示闭曲线内外区域  $\Omega \setminus C$  卡通分量的结构信息。卡通分量包含对象边界信息,为了从整个图像区域中提取保边卡通分量,文中基于 ROF<sup>[17]</sup> 的保边模型,运用卡通分量梯度的  $l_1$  范式表示该项得到卡通提取的图像分割模型:

$$(u, C) = \arg \min_{u, C} \left\{ \int_{\Omega} |\nabla u(x, y)| dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} (I(x, y) - u(x, y) - \operatorname{div}(\frac{\nabla f}{|\nabla f|}))^2 dx dy + \mu \int_{\Omega} \sqrt{(\frac{f_x}{|\nabla f|})^2 + (\frac{f_y}{|\nabla f|})^2} dx dy + \nu |C| \right\} \quad (7)$$

式中,最后一项表示已知曲线。根据自然图像各个物体形成的光学原理,物体的轮廓通常表现为灰度的不连续。

文中根据物体轮廓属于强边缘这一性质,假设卡通分量的边缘均属于目标对象轮廓,将卡通分量边缘像素点的个数作为轮廓曲线  $C$  的长度:

$$C = \text{number} \{ |\nabla u| \geq T \} \quad (8)$$

将式(8)带入式(7),同时取  $\gamma = 1$  得:

$$u = \arg \min_u \left\{ \int_{\Omega} |\nabla u(x, y)| dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} (I(x, y) - u(x, y) - \operatorname{div}(\frac{\nabla f}{|\nabla f|}))^2 dx dy + \mu \int_{\Omega} \sqrt{(\frac{f_x}{|\nabla f|})^2 + (\frac{f_y}{|\nabla f|})^2} dx dy + \text{number} \{ |\nabla u| \geq T \} \right\} \quad (9)$$

式中,曲线长度表示为卡通分量边缘像素的个数( $l_0$  范式),文中运用分步算法将式(9)分解为以下两个子公式:

$$\begin{cases} u = \arg \min_u \left\{ \int_{\Omega} |\nabla u(x, y)| dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_{\Omega} (I(x, y) - u(x, y) - \operatorname{div}(\frac{\nabla f}{|\nabla f|}))^2 dx dy + \mu \int_{\Omega} \sqrt{(\frac{f_x}{|\nabla f|})^2 + (\frac{f_y}{|\nabla f|})^2} dx dy \right\} & (a) \\ u = \arg \min_u \text{number} \{ |\nabla u| \geq T \} & (b) \end{cases} \quad (10)$$

运用全变差分式(10a),得到的拉格朗日方程如下:

$$\begin{cases} u = I - \operatorname{div}(\frac{\nabla f}{|\nabla f|}) + \frac{1}{\lambda} \operatorname{div}(\frac{\nabla u}{|\nabla u|}) & (a) \\ \frac{\mu}{\lambda} \frac{f_x}{|\nabla f|} = \frac{\partial(u - I)}{\partial x} + \frac{\partial^2}{\partial x^2}(\frac{f_x}{|\nabla f|}) + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(\frac{f_y}{|\nabla f|}) & (b) \\ \frac{\mu}{\lambda} \frac{f_y}{|\nabla f|} = \frac{\partial(u - I)}{\partial y} + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y}(\frac{f_x}{|\nabla f|}) + \frac{\partial^2}{\partial y^2}(\frac{f_y}{|\nabla f|}) & (c) \end{cases} \quad (11)$$

## 2.2 数值实现

从图像中提取的卡通分量应该具有如下性质:

(1) 原始图像的平滑、纹理区在卡通分量相应的区域表现为近似常数;

(2) 原始图像的对象轮廓在卡通分量中得以保护,对象内的弱边缘尽量模糊。

卡通分量存在平坦区域,即  $|\nabla u| \rightarrow 0$ , 而式(11)中  $|\nabla u|$  位于分母上。为了避免  $|\nabla u|$  为零引入正参数  $\varepsilon$ , 文中运用  $|\nabla u|_{\varepsilon} = \sqrt{\varepsilon + |\nabla u|^2}$  代替式(11)中的  $|\nabla u|$ ,  $\varepsilon$  足够小,对卡通分量保边性影响不大。

数字图像是二维离散的。为了离散化方程(11a),使用了一个半隐有限差分格式。方程(11a)中  $u$  的离散化表示如下:

$$u(i, j) = \frac{1}{\lambda + \sum_{p \in \Lambda_0} \frac{1}{|\nabla u_p|_{\varepsilon}}} \left\{ \sum_{p \in \Lambda_0} \frac{u(p)}{|\nabla u_p|_{\varepsilon}} + \lambda I(i, j) - \frac{\lambda [f_x(i+1, j) - f_x(i-1, j)]}{2} - \frac{\lambda [f_y(i, j+1) - f_y(i, j-1)]}{2} \right\} \quad (12)$$

其中,  $\Lambda_0$  表示  $(i, j)$  像素的邻域集合  $\{(i, j-1), (i, j+1), (i-1, j), (i+1, j)\}$ 。当  $p = (i+1, j)$  时,  $|\nabla u_p|_{\varepsilon} =$

$$\sqrt{\varepsilon + [u(i+1, j) - u(i, j)]^2 + \left[ \frac{u(i, j+1) - u(i, j-1)}{2} \right]^2}.$$

图像  $I(i, j)$  包含了对象轮廓信息,式(12)计算的卡通分量  $u(i, j)$  包含了图像  $I(i, j)$  像素值,当位于图像的平滑区或纹理区时,  $|\nabla u_p|_{\varepsilon}$  较小,卡通分量  $u(i, j)$  主要由邻域像素加权决定;若像素  $(i, j)$  位于边缘处,  $|\nabla u_p|_{\varepsilon}$  较大,卡通分量  $u(i, j)$  主要依赖图像  $I(i, j)$ , 因此保护了卡通分量对象轮廓。类似的方法用在式(11a)-(11b)中的  $f_x$  和  $f_y$ 。可得:

$$\begin{aligned} f_x(i, j) &= \frac{\lambda |\nabla f|}{(\mu + 2\lambda)} \left\{ \frac{u(i+1, j) - u(i-1, j)}{2} - \frac{I(i+1, j) - I(i-1, j)}{2} + [f_x(i+1, j) + f_x(i-1, j)] + \frac{1}{2} \sum_{p \in \Lambda_0} [f_y(i, j) - f_y(p)] \right\} \end{aligned} \quad (13)$$



$$f_y(i,j) = \frac{\lambda |\nabla f|}{(\mu + 2\lambda)} \left\{ \frac{u(i,j+1) - u(i,j-1)}{2} - \frac{I(i,j+1) - I(i,j-1)}{2} + [f_y(i,j+1) + f_y(i,j-1)] + \frac{1}{2} \sum_{p \in A_0} [f_x(i,j) - f_x(p)] \right\} \quad (14)$$

为了得到式(10a)的最优解,文中通过固定点迭代式(12)可获得卡通分量,第 $n$ 步 $u^n(i,j)$ 迭代表达式为:

$$u^{n+1}(i,j) = \frac{1}{\lambda + \sum_{p \in A_0} \frac{1}{|\nabla u_p^n|_g}} \left\{ \sum_{p \in A_0} \frac{u^n(p)}{|\nabla u_p^n|_g} + \lambda I(i,j) - \frac{\lambda [f_x^n(i+1,j) - f_x^n(i-1,j)]}{2} - \frac{\lambda [f_y^n(i,j+1) - f_y^n(i,j-1)]}{2} \right\} \quad (15)$$

随着迭代次数的增加,卡通分量均趋于常值。为了避免这一问题,文中分析第 $n$ 步卡通分量的梯度 $\nabla u^n(i,j)$ ,采用固定阈值 $T$ 得到该分量边缘点 $c^n(i,j)$ 。若 $|\nabla u^n(i,j)| > T$ ,则 $c^n(i,j) = 1$ ;否则为0:

$$c^n(i,j) = \begin{cases} 1 & |\nabla u^n(i,j)| > T \\ 0 & \text{others} \end{cases} \quad (16)$$

卡通分量 $u^n(i,j)$ 是自然图像分段光滑的逼近分量,它主要包含了自然图像中的强边缘,而对象轮廓曲线属于强边缘,文中将卡通分量边缘像素点个数作为对象轮廓曲线 $C$ 的长度。卡通分量 $u^n(i,j)$ 中对象轮廓长度为:

$$C^n = \sum_{(i,j) \in \Omega} c^n(i,j) \quad (17)$$

每次迭代时,卡通分量中对象轮廓曲线长度逐渐减小,当相邻两次曲线长度相对差不超过2%时,停止迭代。即满足式(18):

$$|C^n - C^{n-1}| \leq 2\% C^n \quad (18)$$

### 3 基于水平集的图像分割

文中运用水平集对初始曲线进行演化从而实现图像分割。水平集曲线演化将二维平面上的曲线演化问题转化成三维空间上的函数演化,水平集函数 $\varphi$ 随时间的演化方程为<sup>[19]</sup>:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \mu \left[ \Delta \varphi - \nabla \cdot \left( \frac{\nabla \varphi}{|\nabla \varphi|} \right) \right] + \lambda \delta(\varphi) \left[ \nabla \cdot (g(u) \frac{\nabla \varphi}{|\nabla \varphi|}) \right] + \nu g(u) \delta(\varphi) \quad (19)$$

其中, $\delta(\varphi)$ 为Dirac函数; $g(u)$ 为边缘定位函数。

当演化曲线位于卡通分量边缘时,此时梯度幅值 $|\nabla u|$ 很大,函数 $g(u)$ 应趋于0,水平集函数停止演化;当曲线位于平滑区和纹理区时,卡通分量梯度变化不大,函数 $g(u)$ 应为趋于1。文中边缘定位函数为:

$$g(u) = \frac{1}{1 + |\nabla u|^2} \quad (20)$$

函数演化终止时,其零水平集对应的曲线为对象轮廓。

### 4 实验结果及分析

为了使卡通分量包含清晰的对象轮廓,在卡通分量提取时引进了参数。文中算法对自然图像运用不同参数 $\lambda$ 提取的卡通分量,如图3所示。

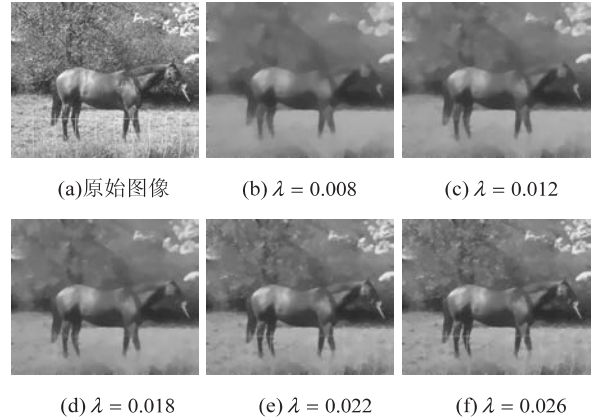


图3 不同 $\lambda$ 提取的卡通分量

当 $\lambda = 0.008$ 时,卡通分量中残余纹理信息较少,但对对象轮廓存在模糊现象,影响分割的准确性;随着 $\lambda$ 逐渐变大,卡通分量的残余纹理信息逐渐增多,对象轮廓保护能力增强;当 $\lambda = 0.026$ 时,轮廓保护较好,但对对象内部存在较多的纹理信息,纹理抑制不充分,导致欠分割或过分割现象。为了提高分割的准确性,文中折中纹理抑制和轮廓保护能力,参数 $\lambda$ 取值为0.02。

文中以固定迭代算法离散计算偏微分方程式(11a),得到相应的卡通分量,以相邻两次卡通分量边缘长度的相对差值作为收敛条件。卡通分量边缘点个数定义为该分量边缘长度,文中将该分量梯度大于阈值点作为边缘点。为了避免早期迭代纹理信息模糊较小,相应卡通分量边缘长度变化较小,导致早收敛。文中采用双阈值计算相邻两次卡通分量边缘长度,其高阈值取为0.52。不同低阈值的卡通分量如图4所示。

低阈值为0.461时,卡通分量对象内部近似平滑,迭代489次才收敛;当取0.484时,卡通分量对象内部平滑性相对于0.461变化不大,只需要迭代231次就收敛,系统运算时间大大减小;如果继续提高低阈值,缩小高低阈值间的差值,卡通分量的纹理信息增加,运算时间降低,当取0.508时仅仅迭代52次,卡通分量



参考文献:

[1] 柯志亨,程荣祥,邓德隽. NS2 仿真实验-多媒体和无线网络通信[M]. 北京:电子工业出版社,2009.

[2] 张简丽,许洪光. 基于 DSR 的路由协议综述[J]. 通信技术,2009,42(1):137-139.

[3] 赵菊敏,张子辰,李灯熬,等. 基于 LEACH 路由协议的多跳节能路由算法[J]. 计算机测量与控制,2014,22(5):1506-1509.

[4] Zhang Dongli, Jiao Wencheng, Zheng Jianling. Research and improvement of DSR protocol in Ad hoc network[C]//Proc of 2010 2nd international conference on industrial and information systems. [s. l.]:[s. n.], 2010:242-244.

[5] 李梅,周继鹏. 基于负载均衡的 DSR 路由协议改进[J]. 计算机应用研究,2011,28(1):256-258.

[6] 沙毅,张婷,陈进,等. 基于流量的 Ad hoc 网络负载均衡路由协议[J]. 东北大学学报:自然科学版,2010,31(3):350-353.

[7] 刘荣,王东,李晓鸿. 移动 Ad Hoc 网络中基于剩余生存时间的链路稳定性路由协议[J]. 计算机工程与科学,2012,34(12):9-15.

[8] 杨东勇,陈晓倩,顾东袁. 一种节能的无线传感器网络路由协议的设计与实现[J]. 计算机工程与科学,2010,32(4):110-113.

[9] 邓亚平,杨佳,胡亚明. 动态分簇的异构传感器网络安全路由协议[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2011,23(3):336-342.

[10] 田敏,刘占军,李云,等. 一种基于节点度数的 Ad Hoc 网络稳定路由协议[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2007,19(5):558-561.

[11] 王鲁光,贾智平,李新. AODV 和 AOMDV 路由协议性能分析与比较[J]. 计算机应用,2010,30(3):740-744.

[12] 李向丽,李超超. 基于小世界理论和 QoS 支持的 DSR 协议[J]. 传感器与微系统,2014,33(2):43-46.

[13] Ahmad S, Awand I. Performance analysis of DSR & extended DSR protocols[C]//Proceedings of IEEE military communications conference. [s. l.]:IEEE,2007.

[14] 叶海滨,张华熊,马汉杰,等. 基于 NS2 的能量模型的研究[J]. 工业控制计算机,2013,26(1):77-79.

[15] 朱睿,吕秋冬,张连芳. 基于 DSR 协议的区域路由研究[J]. 微计算机信息,2007,23(3-3):114-116.

[16] 王英,黄群,李云,等. 一种新的协作的路由协议: C-DSR[J]. 计算机应用研究,2013,30(7):2148-2150.

[17] Tamilarasi M, Palanuivelu T G. A strategy to reduce the control packet load of MANETs with bidirectional links using DSR[J]. International Journal of Network Management, 2008, 18(4):365-376.

[18] Gupta A. MIKBIT-Modified DSR for MANET[C]//Proc of IEEE 4th international conference on internet multimedia services architecture and application. [s. l.]:IEEE,2010.

+++++

(上接第 16 页)

for level set based image segmentation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(2):621-630.

[9] Brown E S, Chan T F, Bresson X. Completely convex formulation of the chan-veese image segmentation model[J]. International Journal of Computer Vision, 2012, 98(9):103-121.

[10] Malgouyres F. Mathematical analysis of a model which combines total variation and wavelet for image restoration[J]. Journal of Information Processes, 2002, 2(1):1-10.

[11] Sandberg B, Chan T, Vese L. A level-set and gabor-based active contour algorithms for segmenting textured images[R]. [s. l.]:[s. n.], 2002.

[12] Tran K A, Vo N Q, Nguyen T T, et al. Gaussian mixture model based on hidden Markov random field for color image segmentation[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2014, 280:189-197.

[13] 刘丽,匡纲要. 图像纹理特征提取方法综述[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(4):622-635.

[14] Zheng Qiang, Dong Enqing, Cao Zhulou, et al. Active contour model driven by linear speed function for local segmentation with robust initialization and applications in MR brain images[J]. Signal Processing, 2014, 97(4):117-133.

[15] Liu Lixiong, Zhang Qi, Wu Min, et al. Adaptive segmentation of magnetic resonance images with intensity in-homogeneity using level set method[J]. Magnetic Resonance Imaging, 2013, 31(4):567-574.


[16] Meyer Y. Oscillating patterns in image processing and nonlinear evolution equations[J]. University Lecture Series, 2002, 22:21-28.

[17] Rudin L I, Osher S, Fattemi E. Nonlinear total variation based noise removal algorithms[J]. Physica D, 1992, 60:259-268.

[18] Vese L A, Osher S J. Modeling textures with total variation minimization and oscillating patterns in image processing[J]. Journal of Scientific Computing, 2003, 19(1-3):553-572.

[19] Li Chunming, Xu Chenyang, Gui Changfeng, et al. Level set evolution without re-initialization: a new variational formulation[C]//Proceedings of the 2005 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition. [s. l.]:IEEE Computer Society, 2005:430-436.

# 基于卡通提取的自然图像分割

作者：[郭娟](#)，[何坤](#)，[周激流](#)，[GUO Juan](#)，[HE Kun](#)，[ZHOU Ji-liu](#)  
作者单位：[四川大学 计算机学院, 四川 成都, 610065](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)  
英文刊名：  
年，卷(期)：2016 (2)

引用本文格式：[郭娟](#). [何坤](#). [周激流](#). [GUO Juan](#). [HE Kun](#). [ZHOU Ji-liu](#) [基于卡通提取的自然图像分割](#) [期刊论文] - [计算机技术与发展](#) 2016 (2)