

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **2**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年2月 第17卷 第2期(总第190期)

目次

综述

内容感知图像缩放技术综述 施美玲,徐丹(157)

图像处理和编码

引入纹理相似性的纺织品图像增强 杨学志,田晓梅,方静,卢洁(169)

保持边缘特征和增强对比度的图像缩放算法 计忠平,方美娥,王毅刚,吴向阳(178)

以图像认证为目的的分形编码数字水印算法 黄晓晴,于盛林(183)

结合运动矢量和像素递归的全局运动估计方法 赵亚湘,刘少强,樊晓平(191)

无缝栅格数据小波金字塔构建 马伯宁,冷志光,汤晓安,匡纲要(197)

图像分析和识别

伪彩色空间完全非结构化道路检测方法 胡晓辉,孙苗强,苏晓许(203)

未知环境下机器人障碍物检测技术 王文格,武凯宾,朱江,段文彬,许重阳(209)

局部 GAC 模型在医学图像分割中的应用 张建伟,方林,陈允杰,詹天明,罗春燕(215)

判别割(Dcut)的图像分割及其快速分割算法 邹小林,陈伟福,冯国灿(222)

改进的遮挡条件下瞳孔检测方法 潘林,魏丽芳,郑炳锟,余轮(229)

木材显微图像的局部水平集分割方法 汪杭军,祁亨年(236)

关键点检测的线要素综合算法 黄志坚,张金芳,徐帆江(241)

GPU 加速的高分辨率 DEM 图像地形特征线提取算法 刘洲俊,胡包钢(249)

改进 GVF 的自动 Snakes 模型 周亚男,程熙,骆剑承,沈占锋,胡晓东(256)

曲波变换用于磨粒图像不变矩的提取 张云强,张培林,任国全,王国德,徐超,李兵(263)

图像理解和计算机视觉

深度图像中基于轮廓曲线和局部区域特征的3维物体识别 吴莉婷,张宇,杨一平,田原(269)

机载 LiDAR 数据的 LZD 航带平差 王丽英,宋伟东(279)

计算机图形学

基于 Z 曲线的瓦片地图服务空间索引 聂云峰,周文生,舒坚,许虎(286)

虚拟现实和增强现实

GPU 加速的台风可视化方法 秦绪佳,张勤锋,陈坚,郑红波,徐晓刚(293)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 2 期

2012 年 2 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa.ac.cn
电话:010-68407995 010-82614429
网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 2 February 2012

Contents

Review

Survey on content-aware image resizing techniques Shi Meiling, Xu Dan (157)

Image Processing and Coding

Enhancement of textile image with texture similarity Yang Xuezhi, Tian Xiaomei, Fang Jing, Lu Jie (169)

Edge-preserving and contrast-enhancement image scaling Ji Zhongping, Fang Mei'e, Wang Yigang, Wu Xiangyang (178)

Watermarking method on fractal coding for image authentication Huang Xiaoqing, Yu Shenglin (183)

Global motion estimation method with motion vectors and pixel recursion Zhao Yaxiang, Liu Shaoqiang, Fan Xiaoping (191)

Seamless wavelet pyramid construction for raster data Ma Boning, Leng Zhiguang, Tang Xiao'an, Kuang Gangyao (197)

Image Analysis and Recognition

Completely unstructured road detection for pseudo-color space Hu Xiaohui, Sun Miaoqiang, Su Xiaoxu (203)

Obstacle detection for robot in unknown environment
..... Wang Wenge, Wu Kaibin, Zhu Jiang, Duan Wenbin, Xu Chongyang (209)

Application of local GAC model for medical image segmentation
..... Zhang Jianwei, Fang Lin, Chen Yunjie, Zhan Tianming, Luo Chunyan (215)

Fast image segmentations of Deut Zou Xiaolin, Chen Weifu, Feng Guocan (222)

Improved method for the pupil measurement under occlusion Pan Lin, Wei Lifang, Zheng Bingkun, Yu Lun (229)

Segmentation method of wood microscopic image based on local level set Wang Hangjun, Qi Hengnian (236)

Algorithm of line generalization with key point detection Huang Zhijian, Zhang Jinfang, Xu Fanjiang (241)

High resolution DEM topographic feature line extraction algorithm using GPU Liu Zhoujun, Hu Baogang (249)

Automatic snakes model based on modified GVF Zhou Yanan, Cheng Xi, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, Hu Xiaodong (256)

Invariant moment extraction by curvelet transform for wear particle images
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Ren Guoquan, Wang Guode, Xu Chao, Li Bing (263)

Image Understanding and Computer Vision

Three-dimensional free-form object recognition based on contour curve and local surface patches in range images
..... Wu Liting, Zhang Yu, Yang Yiping, Tian Yuan (269)

Least Z-difference strip adjustment of airborne LiDAR data Wang Liying, Song Weidong (279)

Computer Graphics

Spatial index for tile map service based on Z curve Nie Yunfeng, Zhou Wensheng, Shu Jian, Xu Hu (286)

Virtual Reality and Augmented Reality

GPU accelerated typhoon visualization method Qin Xujia, Zhang Qinfeng, Chen Jian, Zheng Hongbo, Xu Xiaogang (293)

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)02-0203-06

论文引用格式: 胡晓辉, 孙苗强, 苏晓许. 伪彩色空间完全非结构化道路检测方法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(2): 203-208

伪彩色空间完全非结构化道路检测方法

胡晓辉, 孙苗强, 苏晓许

兰州交通大学电子与信息工程学院, 兰州 730070

摘要: 完全非结构化道路检测是智能车辆自主行驶所面临的关键技术难题, 解决该问题可以增强智能车辆的环境适应能力。以实时道路图像的真彩色信息为研究对象, 提出一种三次样条曲线模型和分块子区生长模型相结合的完全非结构化道路检测算法。该算法运用三次样条曲线插值实现了真彩色空间到伪彩色空间的映射, 采用主次伪色调和纹理信息相结合的子区生长方法, 实现了完全非结构化道路检测。实地图像测试和对比试验表明, 该算法对道路区域检测准确性高, 对受到阴影、水迹等影响的道路区域具有较强抗干扰能力, 实时性好。

关键词: 非结构化道路检测; 三次样条曲线; 子区生长模型; 图像处理

Completely unstructured road detection for pseudo-color space

Hu Xiaohui, Sun Miaoqiang Su Xiaoxu

School of Electronic & Information Engineering Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Detecting completely unstructured road may improve the adaptability for different environments, which is crucial for intelligent autonomous vehicle driving. In this paper, a road detection algorithm combined with cubic spline curve model and block sub-region growing model (CSCM_BSG) is proposed for true-color information of real-time road images. The algorithm applies the cubic spline interpolation to achieve the pseudo-color mapping at first, and accomplishes road region detection using the sub-region growing method combining the primary and secondary pseudo-hues with textures. The tests and comparative experiments on field images show that the algorithm is not only more accurate and applicable in real-time for road regions, but also has stronger counter-interference capability for shadows, water stains.

Key words: unstructured road detection; cubic spline curve; sub-region growing model; image processing

0 引言

道路检测是智能车辆自主导航系统的关键技术之一。近年来, 随着车辆自动停泊、军用无人侦察、盲人驾驶等系统需求的不断增加, 使得自主导航系统得到了飞速的发展。其中, 如何在各种自然环境下准确识别前方道路是自主导航系统的一个难题^[1]。

实际中的道路分为结构化道路和非结构化道路。结构化道路一般指高速公路等具有明显车道线和边界的道路。由于其结构化程度好, 可以将道路检测简化为车道线检测。而非结构化道路指无明显车道线和路边界不清晰的道路, 又可分为部分非结构化道路(如校园道路、乡村公路等)和完全非结构化道路(如山地环境等)两类, 因受自然环境中阴影、水迹或者坑洼等的影响, 给非结构化道路检测带来困难。目前针对部分非结构化道路检测已有一些

收稿日期: 2011-03-07; 修回日期: 2011-05-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(10661007); 兰州交通大学青蓝工程资助项目; 国家自然科学基金地区科学基金项目(61193009)

第一作者简介: 胡晓辉(1963—), 男, 教授, 2007年于西北工业大学计算机学院获得计算机应用专业博士学位, 主要研究方向为智能分布计算、模式识别, 近年共主持和参与省部级科研项目10余项, 在国内外权威刊物上发表论文30余篇。E-mail: hxh_6302@163.com

研究^[2,4], 针对完全非结构化道路研究较少还没有成熟的方法, 本文研究对象是完全非结构化道路。

目前较为常用的非结构化检测方法是基于道路模型的方法^[5-7]。首先假设非结构化道路具有相对规则的路边, 根据路边形状假设相应的道路模型, 其主要优点是对路面污染、阴影、光照等环境影响不敏感, 但这种方法仅适用于部分非结构化道路, 对于完全非结构化道路假设并不成立。

针对上述问题, 提出一种基于三次样条曲线模型和分块子区生长模型(CSCM_BSG)相结合的完全非结构化道路检测算法。该算法利用了实时彩色道路图像的多种底层基本特征^[8], 具有较高的鲁棒性和较强抗干扰能力, 算法模型可以保证算法的实时性。

1 三次样条曲线插值建模

1.1 定义及构造

函数 $f(x)$ 在区间 $[a, b]$ 中有定义, 给定结点 $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$, 且 $f(x_i) = y_i$, 在区间 $[a, b]$ 内关于 $f(x)$ 的插值函数 $S(x)$ 应满足如下 3 个条件:

- 1) 对于每个子区间 $[x_i, x_{i+1}]$, ($i = 1, 2, \dots, n$), 记 $S(x)$ 在该区间中的函数为 $S_i(x)$, 并且 $S_i(x)$ 是不高于三次的多项式;
- 2) 对于每个结点 x_i , ($i = 0, 1, 2, \dots, n$), 有 $S(x_i) = y_i$;
- 3) $S(x), S'(x), S''(x)$ 分别在插值点处连续, 即对节点 x_i , ($i = 1, 2, \dots, n - 1$), 有 $S_{i-1}(x_i) = S_i(x_i), S'_{i-1}(x_i) = S'_i(x_i), S''_{i-1}(x_i) = S''_i(x_i)$ 。

则称 $S(x)$ 为区间 $[a, b]$ 中具有二阶连续导数的三次样条函数。

令 $m_i = S'(x_i)$, ($i = 0, 1, 2, \dots, n$), 在每个小区间 $[x_i, x_{i+1}]$ 上三次样条插值函数 $S(x)$ 的计算公式为

$$\begin{aligned}
 S(x) = & \left(1 + 2 \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}\right) \left(\frac{x - x_{i+1}}{x_i - x_{i+1}}\right)^2 y_i + \\
 & \left(1 + 2 \frac{x - x_{i+1}}{x_i - x_{i+1}}\right) \left(\frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}\right)^2 y_{i+1} + \\
 & (x - x_i) \left(\frac{x - x_{i+1}}{x_i - x_{i+1}}\right)^2 m_i + \\
 & (x - x_{i+1}) \left(\frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i}\right)^2 m_{i+1} \quad (1)
 \end{aligned}$$

利用条件 3) 并附加边界条件 $S''(x_0) = S''(x_n) = 0$,

可得方程组

$$\begin{cases}
 2m_0 + \alpha_0 m_1 = \beta_0 \\
 (1 - \alpha_i) m_{i-1} + 2m_i + \alpha_i m_{i+1} = \beta_i \\
 (i = 1, 2, \dots, n) \\
 (1 - \alpha_n) m_{n-1} + 2m_n = \beta_n
 \end{cases} \quad (2)$$

式中, $\alpha_0 = 1, \alpha_i = \frac{h_{i-1}}{h_{i-1} + h_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$,

$$\alpha_n = 0, \beta_0 = \frac{3}{h_0(y_1 - y_0)},$$

$$\beta_i = 3 \left(\frac{1 - \alpha_i}{h_{i-1}} (y_i - y_{i-1}) + \frac{\alpha_i}{h_i} (y_{i+1} - y_i) \right), \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

$$\beta_n = \frac{3}{h_{n-1}} (y_n - y_{n-1}),$$

$$h_i = x_{i+1} - x_i \quad (i = 0, 1, \dots, n - 1).$$

对方程组求解, 可导出递推公式:

$$m_i = a_i m_{i+1} + b_i \quad (3)$$

式中, $a_i = \frac{-\alpha_i}{2 + (1 - \alpha_i)a_{i-1}}, b_i = \frac{\beta_i - (1 - \alpha_i)b_{i-1}}{2 + (1 - \alpha_i)a_{i-1}}$

$$(i = 0, 1, \dots, n - 1), a_0 = -\frac{\alpha_0}{2}, b_0 = \frac{\beta_0}{2}.$$

令 $m_{n+1} = 0$, 求解 m_n, m_{n-1}, \dots, m_0 将所给参数 $x_i, y_i, m_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 代入 $S(x)$ 即得三次样条插值函数。

1.2 考虑相互反射和阴影的伪彩色映射

分割所基于的一个思路是: 自然环境中代表单调物体表面的像素只在局部范围内有一些小的差别, 这种理论在受到相互反射和阴影影响的彩色信号中同样适用^[9]。

1) 阴影减少像素的亮度, 但不影响色调;

2) 相互反射在一定程度上增加像素的亮度并在局部范围内改变色调。

根据这一思想, 提出结合三次样条插值模型的伪彩色映射方法。选取符合人体视觉的 HSV 空间模型, 利用 H (色度) 和 S (饱和度) 通道的三次样条插值结果, 根据插值函数极小值点选取阈值^[10], 得到分割区域矩阵 $H_i, S_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 利用 $L_i = 4H_i + S_i + 1 (L_i$ 代表映射后的伪彩色矩阵) 实现真彩色到伪彩色空间映射。

实时彩色图像各空间直方图包络线“毛刺”较多, 为了避免出现伪阈值点, 可以先对空间包络线进行适当的平滑处理。然后再进行三次样条插值处理。

图1为一幅实时道路图像的三次样条插值的 S 空间直方图包络线及阈值点。

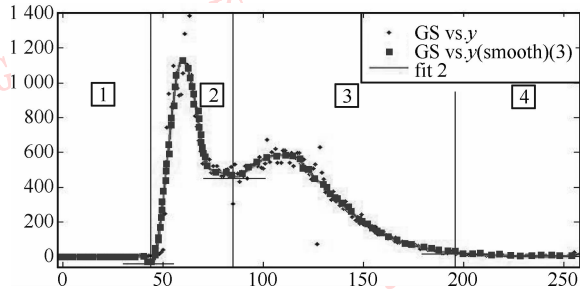


图1 S 空间直方图包络线三次样条插值拟合结果

Fig.1 S histogram's cubic spline interpolation fitting results

图1中(GS vs, y)是原始图像 S 空间直方图的包络散点图;(GS vs, y (smooth))是平滑处理后的包络散点图(采用局部加权散点图(Loess)平滑数据,步长($span = 0.1$));(fit 2)为平滑后三次样条插值包络线。图中1、2、3、4分别代表分割后的4个区域。

2 伪彩色子区生长模型

实时图像道路区域和非道路区域在像素点上区分度小、相似性大,因此并不需要对每个像素都进行判断。模拟人对道路理解的模式,针对文献[11]的快速前景分割思想,提出以伪彩色空间划分子区域,利用主、辅色调和纹理信息结合的子区生长模型,相对于基于像素的区域生长算法,该模型计算量小,而且利用同一目标区域其邻域特征基本一致的特点,对整幅图像的子区域扫描一遍就可完成分割,不需反复迭代。

2.1 子区内特征提取

首先把伪彩色图像划分成多个大小为 $n \times n$ 的子区域,进行区域内特征提取:

1)区域内彩色特征 对伪彩色空间直方图统计得到子区域的主、辅色调及色调种类。

2)区域内纹理特征 采用Carson等人^[12]提出的一种图像纹理表示方法,用极性(polarity)、各向异性(anisotropy)和对比度(contrast)3个参数表示子区域的纹理(p, a, c)。极性是指一个领域内所有像素点在同一方向梯度向量值所占的比重,通过极性值确定了像素的领域窗口,再利用像素的二阶动差矩阵 SMM (second moment matrix)来计算各向异性和对比度这两个纹理特征。

图像像素 SMM 定义为

$$SMM_{\sigma}(x, y) = w_{\sigma}(x, y) (\nabla G) (\nabla G)^T \quad (4)$$

式中 $w_{\sigma}(x, y)$ 是方差为 σ^2 的高斯平滑核;图像梯度

$$\nabla G = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix}, G_x, G_y \text{ 分别表示伪彩色空间分别沿 } x \text{ 方向}$$

和 y 方向的梯度。 σ 是像素的高斯窗口宽度参数,图像像素纹理(p, a, c)与 σ 有关,而 σ 的值要根据极性 P 来确定。方法如下:取 $\sigma = k/2, k = 0, 1, \dots$,连续计算多个 P_k ,当某个 k 满足 $p_k - p_{k-1} \leq 2\%$ 时,由该 k 值确定 σ 。极性定义如下:

$$P_{\sigma} = \frac{|C_+ - C_-|}{C_+ + C_-} \quad (5)$$

式中 C_+ 和 C_- 分别定义为

$$C_+ = \sum_{x, y \in \Omega} w_{\sigma}(x, y) [\nabla G \cdot \mathbf{n}]_+ \quad (6)$$

$$C_- = \sum_{x, y \in \Omega} w_{\sigma}(x, y) [\nabla G \cdot \mathbf{n}]_- \quad (7)$$

式中, Ω 表示像素高斯窗口邻域; \mathbf{n} 是与 Φ 正交的单位向量, Φ 是 SMM_{σ} 的主特征向量,表示梯度向量(G_x, G_y)最相一致的方向; $[\cdot]_+$ 和 $[\cdot]_-$ 分别表示向量乘积为非负向量和负向量; C_+ 和 C_- 分别表示 $w_{\sigma}(x, y)$ 窗口中有多少梯度向量处于“正方向”和“负方向”。

σ 确定后,计算 $SMM_{\sigma}(x, y)$ 的特征值,分别用 λ_1, λ_2 ($\lambda_1 \geq \lambda_2$)表示,对比度和各向异性分别定义为

$$con = 2 \sqrt{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (8)$$

$$ani = 1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (9)$$

2.2 子区生长过程

设定区域特征数组 R_i ,伪彩色空间的区域特征包括:区域内色调种类;主、辅伪色调值;以及区域主、辅伪色调纹理值(p, a, c)^[13-14]。

生长准则如下:

准则1 如果所选区域与其邻域的颜色数量相同且主、辅伪色调值完全相同,则直接生长;

准则2 如果邻域只有一种颜色且为所选区域的主颜色,则直接生长;

准则3 如果颜色数量不同,而主、辅伪色调相同,则按照区域的主、辅伪色调纹理均值进行相似性生长;

准则4 不满足以上条件的子区域应该是道路边缘区域。处理方法:对边缘子区域进行像素级的归并,与主辅色调相同的像素归为道路区域,其余归为非道路区域,直到所有边缘区域处理完成,结束。

3 实验结果与分析

实地拍摄多幅山地彩色图像,借助 matlab7.0 和 C++ 编程语言实现提出的检测算法仿真,仿真平台为 Inter(R) CPU T2300 1.66 GHz,0.99 GB 内存,并采用实地图像测试和实验数据对本算法进行了评估。

图像采集设备为 OLYMPUS IMAGING CORP. C70Z/C7000Z 数码相机,图像尺寸 210 × 280。

实验检测了 4 种自然情况下山地图像,如图 2 所示。

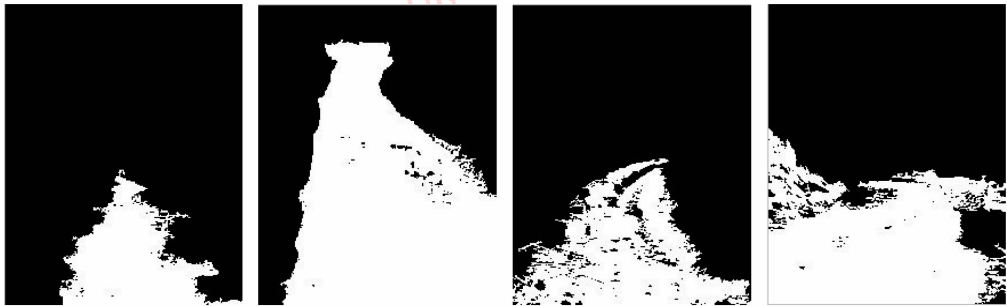
通过实验对比选取道路图像底部中心 10 × 10 区域作为区域生长初始条件。

图 3 展示了对上述图像的检测效果。



(a) 边界退化常规道路图像 (b) 存在大片水迹干扰的道路图像 (c) 存在路边阴影干扰的弯道图像 (d) 周边与道路区别度很小的更复杂的弯道道路图像

图 2 实地采集部分山地图像
Fig.2 Mountain images collected field



(a) LAB色差聚类检测方法^[15]



(b) 本文算法

图 3 部分道路检测结果
Fig.3 Detecting results of roads in Fig.2

从检测结果可以看出:两种方法对以上山地图像检测效果均较为理想。对于存在水迹干扰的山地图2(b), CSCM_BSG方法能够将大面积水迹区域有效屏蔽,道路边界清晰可靠,LAB色差聚类方法则存在部分杂点,且边缘不连续;图2(c)弯道道路区域严重受到路边杂草及阴影的干扰,道路情况复杂。本文的方法把图像底部严重阴影区域已有效去除,道路区域大范围平整,检测结果符合人的主观感知,弯道中心部分草丛未被有效屏蔽,LAB色差聚类方法检测出的道路边界基本清晰,但是区域内存在大量杂点,道路区域不连续;对于路况更加复杂的山地图像图2(d),可以看到周边山坡和道路区域区分度极小,对于完全采用图像处理技术检测是一种挑战。CSCM_BSG方法仍能够检测出清晰可靠的道路边界,能够更好地屏蔽山坡非道路区域,错误率低,而LAB色差聚类检测方法将山坡区域误认为道路,导致出现较大错误区域,不符合实际路况。

另外,采用平均道路匹配率和平均误检测率作为评价准则,对算法进行评估。

$$amr = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{B_i} \quad (10)$$

$$aedr = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i + D_i}{E_i} \quad (11)$$

式中, amr 表示平均道路匹配率, $aedr$ 表示平均误检测率, A_i 表示分割第*i*幅图像后正确道路区域的像素数, B_i 表示第*i*幅图像的道路区域像素总数, C_i 表示第*i*幅图像道路区域误检测像素数, D_i 表示第*i*幅图像非道路区域误检测像素数, E_i 表示第*i*幅图像的像素总数, n 表示图像总数(本文 $n=50$)。

表1—3分别对比两种算法在各种环境下的平均道路匹配率、平均误检测率和平均运行时间。

表1 平均道路匹配率

Table 1 Average rate of road matching

算法	场景			
	(a)	(b)	(c)	(d)
LAB 色差聚类	98.31	98.91	90.49	85.62
本文	98.79	99.31	94.72	95.79

可以看出,大多数情况下 CSCM_BSG方法的平均匹配率比LAB色差聚类方法高。在严重受到杂

草和阴影影响的山地图像中,匹配率较低,这是因为道路中心存在大面积的杂草覆盖,主辅色调很难区分。而且可以明显看出,本文算法由于采用伪彩色子区生长机制,相对于采用像素级生长的LAB色差聚类方法运行时间短,能更广泛地运用在智能车辆自主导航系统中,满足实时性要求。

表2 平均误检测率

Table 2 Average rate of road detecting errorly

算法	场景			
	(a)	(b)	(c)	(d)
LAB 色差聚类	0.41	0.59	2.68	3.89
本文	0.29	0.31	1.03	0.87

表3 平均运行时间

Table 3 Average running time

算法	场景			
	(a)	(b)	(c)	(d)
LAB 色差聚类	0.954	3.844	4.172	1.328
本文	0.625	0.641	1.141	0.656

4 结论

目前针对完全非结构化道路检测还没有成熟的检测方法,用以往部分非结构化道路模型匹配方法错误率高、适应性差。与之相比提出的三次样条曲线模型和分块子区生长模型相结合的完全非结构化道路检测算法(CSCM_BSG)不依赖于道路形状和假设,算法适应性强。实验结果和对比实验分析表明,本文算法具有较高鲁棒性和较强抗干扰能力,检测结果符合人的主观感受,实时性较好。但对于存在较大干扰的道路检测效果仍不理想,在以后的研究工作中,将进一步改进,同时在算法鲁棒性和实时性上还有待提高。

参考文献(References)

- [1] Miguel A S, Franeiseo J R, Luis M, et al. A color vision-based lane tracking system for autonomous driving on unmarked roads [J]. Autonomous Robots, 2004, 16: 95-116.
- [2] Jeong H, Oh Y, Park J H. Vision-based adaptive and recursive tracking of unpaved roads [J]. Pattern Recognition Letters, 2002, 23(13): 73-82.

- [3] Hao Z H. Research on Detecting Technology of Complex Environment Road [D]. Nanjing: Nanjing University of Science. 2009. [郝志帅. 复杂环境道路检测技术研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2009.]
- [4] Li D J, Chai Y, Yin H P, et al. Method of road recognition based on color image edge detection [J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44 (28): 177-179. [李大杰, 柴毅, 尹宏鹏, 等. 一种基于彩色图像边缘检测的道路检测方法 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44 (28): 177-179.]
- [5] Lu J Y, Yang M. Vision-based real-time road detection in urban traffic [J]. SPIE Real-Time Imaging VI, Nasser Kehtarnavaz, 2002, 46 (66): 75-82.
- [6] Wang Y, Shen D G, Teoh E K. Lane detection and tracking using B-Snake [J]. Image Vision Compute, 2004, 22 (4): 269-280.
- [7] Zhang Y Y, Gu X D, Wang Y Y. Unstructured-lane detection based on trapezoidal model and SVM [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46 (15): 138-141. [张玉颖, 顾晓东, 汪源源. 基于梯形模型和支撑向量机的非结构化道路检测 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (15): 138-141.]
- [8] Ya C, Cheng S, Yuan C. Image classification using color, texture and regions [J]. Image and Vision Computing, 2003, 21 (9): 759-776.
- [9] Bajcsy R, Lee S W, Leonardis A. Detection of diffuse and specular interface reflections by color image segmentation [J]. Int. J. of Computer Vision, 1996, 17: 241-272.
- [10] Feng T, Fang J N, Liu Q Z. Image segmentation based on histogram simulation by use of trigonometric series [J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12 (10): 1849-1852. [冯涛, 方建安, 刘其真. 基于三角级数的直方图拟合多目标图像分割 [J]. 中国图象图形学报, 2007, 12 (10): 1849-1852.]
- [11] Mu Y D, Zhou B F. A fast object extraction method based on color and texture information [J]. Chinese Journal of Computers, 2009, 32 (10): 2252-2259. [穆亚东, 周秉锋. 基于颜色和纹理信息的快速前景提取方法 [J]. 计算机学报, 2009, 32 (10): 2252-2259.]
- [12] Carson C, Belongie S, Greenspan H, et al. Recognition of images in large databases using color and texture [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24 (8): 1026-1038.
- [13] Finlayson D, Hordley S, Drew M S. Removing shadows from images using retinex [J]. Proceedings of Tenth Color Imaging Conference, 2002, 2 (9): 359-323.
- [14] Tang L, Zhao C X, Wang H N, et al. Shadow removal for road surface images based on anisotropic diffusion retinex [J]. 2008, 13 (2): 264-268. [唐磊, 赵春霞, 王鸿南, 等. 基于各向异性 Retinex 的路面图像阴影消除 [J]. 计算机图象图形学报 2008, 13 (2): 264-268.]
- [15] Li D J. Applications of Color Image Information Extraction and Analysis in Road recognition [D]. Chongqing: Chongqing University, 2008. [李大杰. 彩色图像信息的提取与分析在道路检测中的应用 [D]. 重庆: 重庆大学, 2008.]