



JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2013
08
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



北魏



隋



初唐

数字文化遗产研究 P968

综述

尺度不变特征变换算子综述

刘立, 詹茵茵, 罗扬, 刘朝晖, 彭复员 885

图像处理和编码

改进的H.264帧间模式选择算法

任克强, 张旭光, 罗会兰 893

均质雾天下摄像机动态标定的车速估计

宋洪军, 陈阳舟, 郜园园 901

基于人脸五官特征的空域差错掩盖算法

张江鑫, 谢晋, 邝万坤 913

采用圆谐-傅里叶矩的图像区域复制粘贴篡改检测

秦娟, 李峰, 向凌云, 殷蓓蓓 919

图像分析和识别

基于视频感知哈希的视频篡改检测与多粒度定位

朱映映, 文振焜, 杜以华, 邓良太 924

视觉注意模型的道路监控视频关键帧提取

刘云鹏, 张三元, 王仁芳, 张引 933

格拉斯曼流形上的半监督判别分析

姜伟, 陆瑶, 杨炳儒 944

精神疲劳实时监测中多面部特征时序分类模型

陈云华, 张灵, 丁伍洋, 严明玉 953

图像分类中的概率乘积核函数

杨赛, 赵春霞 961

轮廓整体结构约束的壁画图像相似性度量

唐大伟, 鲁东明, 杨冰, 许端清 968

应用色彩空间聚类方法实现道路建模

向宸薇, 王拓, 于舰 976

图像理解和计算机视觉

杂乱背景和摄像机移动下的时空兴趣点检测

刘长红, 陈勇, 王明文 982

形状和颜色混合不变量在图像检索中的应用

公明, 曹伟国, 李华 990

计算机图形学

结合统计分类和边缘特征的最优视图提取

潘翔, 陈敖, 章国栋 1004

医学图像处理

局部熵驱动下的脑MR图像分割与偏移场恢复耦合模型

张建伟, 杨红, 陈允杰, 方林, 詹天明 1011

改进的模糊聚类实质肺结节3维分割

李翠芳, 聂生东, 王远军, 孙希文, 郑斌 1019

遥感图像处理

高光谱海岸带区域分割的活动轮廓模型

王相海, 金弋博 1031

改进的基于非局部均值的极化SAR相干斑抑制

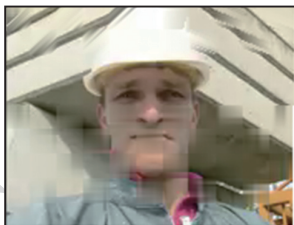
赵忠民, 赵拥军, 牛朝阳 1038

小波变换和稀疏表示相结合的遥感图像融合

刘婷, 程建 1045

《中国图象图形学报》论文摘要写作要求

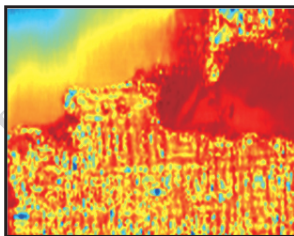
1054



基于人脸五官特征的空域差错掩盖算法 (第913页)



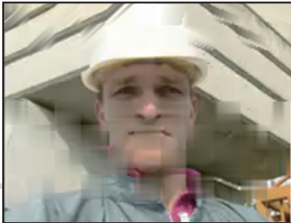
应用色彩空间聚类方法实现道路建模 (第976页)



改进的基于非局部均值的极化SAR相干斑抑制 (第1038页)

CONTENTS

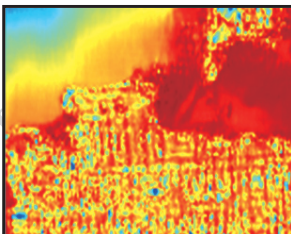
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Spatial error concealment algorithm based on the facial features (P913)



Road modeling using color spatial clustering (P976)



Improved polarimetric SAR speckle filter based on non-local means (P1038)

Review

Summarization of the scale invariant feature transform

Liu Li , Zhan Yinyin, Luo Yang, Liu Chaohui, Peng Fuyuan 885

Image Processing and Coding

Improved inter frame mode selection algorithm for H.264

Ren Keqiang, Zhang Xuguang, Luo Huilan 893

Vehicle velocity estimation based on camera calibration under homogenous fog

Song Hongjun, Chen Yangzhou, Gao Yuanyuan 901

Spatial error concealment algorithm based on the facial features

Zhang Jiangxin, Xie Jin, Kuang Wankun 913

Detection of image region copy-move forgery using radial harmonic Fourier moments

Qin Juan, Li Feng, Xiang Lingyun, Yin Changming 919

Image Analysis and Recognition

Video forgery detection and multi-granularity location based on video perceptual hashing

Zhu Yingying, Wen Zhenkun, Du Yihua, Deng Liangtai 924

Key frame extraction based on the visual attention model for lane surveillance video

Liu Yunpeng, Zhang Sanyuan, Wang Renfang, Zhang Yin 933

Semi-supervised discriminant analysis on Grassmannian manifold

Jiang Wei, Lu Yao, Yang Bingru 944

Time-series classification model based on multiple facial feature for real-time mental fatigue monitoring

Chen Yunhua, Zhang Ling, Ding Wuyang, Yan Mingyu 953

Probability product kernels in image classification

Yang Sai, Zhao Chunxia 961

Similarity metrics between mural images with constraints of the overall structure of contours

Tang Dawei, Lu Dongming, Yang Bing, Xu Duanqing 968

Road modeling using color spatial clustering

Xiang Chenwei, Wang Tuo, Yu Jian 976

Image Understanding and Computer Vision

Spatio-temporal interest point detection in cluttered backgrounds with camera movements

Liu Changhong, Chen Yong, Wang Mingwen 982

Application of combined shape and color invariants to image retrieval

Gong Ming, Cao Weiguo, Li Hua 990

Computer Graphics

Best view selection based on statistical classification and edge features

Pan Xiang, Chen Ao, Zhang Guodong 1004

Medical Image Processing

Brain MR image segmentation and bias correction model based on local entropy

Zhang Jianwei, Yang Hong, Chen Yunjie, Fang Ling, Zhan Tianming 1011

Segmentation of sub-solid pulmonary nodules based on improved fuzzy

C-means clustering

Li Cuifang, Nie Shengdong, Wang Yuanjun, Sun Xiwen, Zheng Bin 1019

Remote Sensing Image Processing

The active contour model for segmentation of coastal hyperspectral remote sensing image

Wang Xianghai, Yin Yibo 1031

Improved polarimetric SAR speckle filter based on non-local means

Zhao Zhongmin, Zhao Yongjun, Niu Chaoyang 1038

Remote sensing image fusion with wavelet transform and sparse representation

Liu Ting, Cheng Jian 1045

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)08-0976-06

论文引用格式: 向宸薇, 王拓, 于舰. 应用色彩空间聚类方法实现道路建模[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(8): 976-981. [DOI:10.11843/jig.20130812]

应用色彩空间聚类方法实现道路建模

向宸薇, 王拓, 于舰

西安交通大学电子与信息工程学院系统所, 西安 710049

摘要: 通过图像对交通事故进行识别、处理, 需要将卷入交通事故的车辆等目标从交通事故场景图像中分离出来, 因此建立准确的道路模型十分重要。传统的道路建模方法大都基于灰度空间, 忽略了图像中的彩色信息, 不适合复杂的交通环境。针对道路像素分布的非参数化特点和后续处理中对彩色信息的需求, 提出一种基于色彩空间聚类的非参数化道路模型, 将道路模型的建立抽象为时间轴上的色彩空间聚类过程。根据颜色变化理论, 设置聚类区间为 RGB 颜色空间中以聚类中心和原点连线为轴的圆柱体, 并通过聚类中心特征值的不同自适应来调整聚类半径。同时, 对于每个像素位置, 根据场景复杂程度和变化频率的不同自适应地选取聚类中心数目, 获得较为准确的背景模型, 在提高检测精度的同时也保证了检测效率。

关键词: 智能交通系统; 道路模型; 颜色变化聚类; RGB 颜色空间; 彩色信息

Road modeling using color spatial clustering

Xiang Chenwei, Wang Tuo, Yu Jian

Systems Engineering Institute, The School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

Abstract: It is very important to create the background model for image processing. Traditional modeling methods typically use only the gray space, ignoring information from the color space. They do not apply to the complex transportation system. In order to obtain dynamic vehicle information and colored road information for further analysis, we propose a non-parametric road modeling approach based on color spatial clustering in this article. The approach is developed according to the characteristics of pixel distribution in traffic scenes. The modeling process is abstracted as a color spatial clustering process in the time axis. According to the color distortion theory, we define a cluster interval as a cylinder whose axis is the attachment of the clustering center and the origin in color space. Meanwhile, for each pixel the clustering center number is selected adaptively according to the scene's complexity and change frequency. In this way, the precision improves and the detection is efficient.

Key words: intelligent transportation system (ITS); roads modeling; color distortion clustering; RGB color space; color information

0 引言

近年来, 随着汽车数量的快速增加, 道路交通问题日益严峻, 交通事故频繁发生。如何对道路状态

进行实时监控, 及时、有效检测和识别道路交通事故, 进而快速处理交通事故成为智能交通系统亟待解决的问题之一。基于计算机视觉的智能处理技术, 对道路上发生的交通事故提供了一种实时、准确和高效的检测、识别方法。该方法通过建立道路模

收稿日期: 2012-08-29; 修回日期: 2013-01-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61071217)

第一作者简介: 向宸薇 (1988—), 女, 西安交通大学系统工程专业在读硕士研究生, 主要研究方向为计算机图像处理。E-mail: 874956549@qq.com

型,滤掉通过视频采集得到的交通事故图像背景,得到作为前景的车辆信息并对其进行处理与分析,进而发现交通事故。而建立道路模型是该方法的基础,建模过程要充分考虑交通场景的特殊性和复杂性,例如天气、光照和道路两旁树木以及建筑等因素。本文旨在提出一种彩色空间下的道路建模方法,以更好地对复杂的道路进行准确有效的建模。

1 传统道路建模方法

在交通场景中,将固定不动的道路等设施视为背景,而车辆、人等移动的目标视为前景。道路模型即为背景模型,当前道路模型的建立大都基于传统背景建模方法,常见的有均值法、中值法、高斯模型法、贝叶斯模型法以及它们的改进算法。

1) 均值法 通过对多帧图像求取平均值的方法来得到道路模型,这是目前来说最为简单的道路建模方法。该方法模型简单,计算量小,适合简单场景的目标检测。然而由于构建道路模型时前景目标也参与了运算,因此得到的道路模型精度较差。

2) 中值法 又称时域中值滤波法,它是建立在对 N 帧图像进行中值滤波的基础之上。对于采集到的连续多帧图像来说,考虑到其中背景像素占主导地位,于是在一段时间之内,对每个像素按照其灰度值进行排序,其中值就可以认为能够代表该像素对应背景灰度值。在道路模型建立之后,同均值法一样,也需要根据某种策略对模型进行不断更新。

3) 高斯模型法 基于高斯分布的建模方法最早由 Wren 等人^[1]提出。视频图像中每个像素位置在时域的分布形式都可以用高斯模型来表示^[2],采用这种方法进行建模称之为高斯背景建模,其核心是如何选择合适的高斯模型来描述像素在时域的统计分布特征^[3]。高斯模型法的发展经历了单高斯背景建模、混合高斯背景建模以及自适应混合高斯背景建模等几个标志性阶段。其中混合高斯背景建模的方法是现在最常用,效果最好的背景建模方法之一。

4) 贝叶斯模型法 贝叶斯背景建模方法于2003年由 Li 等人^[4]提出。该方法在利用背景差分 and 帧间差分检测得到图像中所有运动像素的基础之上,通过选择合适的特征向量并利用贝叶斯决策准则来实现前景目标和背景目标的分类。其中静态背景对象由颜色特征来描述,而动态背景对象由颜色

共生特征来描述,前景对象则是通过融合静态像素与动态像素的分类结果进行提取,同时,采用自适应学习策略来应对背景的渐变和突变。具体来讲,贝叶斯背景建模方法分为变化检测、变化分类、运动目标分割和模型更新4个阶段。

由于交通场景的特殊性和复杂性,传统背景建模的方法都有所不足。均值法和中值法精确度和对环境变化的适应性较差;适应混合高斯建模方法,需要假设背景像素来自一个已知的分布,这不符合交通道路系统背景像素分布的非参数化特点;贝叶斯建模方法虽然是基于彩色空间进行的,然而在背景与前景颜色接近时,精确度较低,而这一情况在交通场景下经常出现,会造成漏检视频图像中的车辆的情况。

针对传统建模方法在道路背景建模上的不足,借鉴聚类的思想^[5],提出了在彩色空间下一种新的背景建模方法,将背景建模抽象为时间轴上的色彩空间聚类过程,称之为基于色彩空间聚类(CSC)的道路建模方法。

传统背景建模方法建立的道路模型一般使用一幅不断更新的道路灰度图像进行描述,使用当前图像与背景图像进行差分得到前景车辆。而 CSC 使用每个像素点的多个聚类中心来描述背景模型,并且借助颜色变化规律与亮度变化规律,通过聚类的方法在彩色空间下判断图像中的像素点是前景还是道路背景。

2 基于色彩空间聚类的道路模型

从统计的角度来看,道路某一位置的像素颜色值一段时间内总是在一个区间内波动^[6],由此可以对道路上的像素进行聚类分析,形成若干数据簇,簇内对象彼此相似,簇间对象彼此相异,每个簇代表了道路模型的一种可能性。于是,按照何种规则对道路上的点进行聚类,是背景模型准确与否的关键。

将颜色变化规律与亮度变化规律共同作为背景建模的聚类准则^[7]。文献[8]通过实验证实,在 RGB 颜色空间中,随着光照变化,彩色模板上大多数像素的 RGB 值都是沿通过原点的轴线方向拉伸变化的。因此,如果物体颜色的变化是由光照变化所造成的,物体的颜色变化应当遵循颜色变化规律与亮度变化规律。而当物体移动和被遮挡时,导致图像上原物体所在位置的像素发生变化,这种变化

与光照变化联系甚微,因此,该位置上像素的颜色变化不会遵循颜色变化规律。同理可知,在交通场景中,当光照发生改变时,道路图像中某一像素点颜色值的变化情况也遵循颜色变化规律与亮度变化规律,而当移动的车辆出现,被车辆遮挡部分的道路像素变化是不会遵循该规律的。

2.1 颜色变化规律与亮度变化规律

在 RGB 彩色空间中,阴影和高光等的光照变化会一定程度上改变物体本身的颜色^[9-10],于是需要创建一种模型可以将颜色和亮度分开分析。通过实验观察到,随着时间的推移,光照发生变化,图像中所取样的像素值大多沿通过原点的轴线方向进行拉伸^[11-12]。

设 $\mathbf{c}_k = [R_k, G_k, B_k]^T$ 为一个像素点的代码字, I_k 为 $\mathbf{c}_k$ 的亮度,定义其变化区间为以该点和原点连线为轴的圆柱体, Δ_c 为颜色变化半径。如图 1 所示,如果当前视频图像的某一像素 $\mathbf{x}_i = [R, G, B]^T$ 到 $\mathbf{c}_k$ 与原点的连线的距离 ΔC 小于颜色变化半径 Δ_c ,可以认为该像素点满足颜色变化规律, ΔC 即为该像素点的颜色变化值。需要说明的是,当 I_k 大于某上限值时,需要对 Δ_c 的值进行修正;而当 I_k 小于某下限值时,认为该点几乎没有可见的颜色信息,不能使用颜色变化规律。某像素点 $\mathbf{x}_i$ 与 $\mathbf{c}_k$ 的颜色变化值 ΔC 为

$$\Delta C = \sqrt{\|\mathbf{x}_i\|^2 - a^2} \quad (1)$$

$$a^2 = \|\mathbf{x}_i\|^2 \cos^2 \theta = \frac{\langle \mathbf{x}_i, \mathbf{c}_k \rangle^2}{\|\mathbf{c}_k\|^2} \quad (2)$$

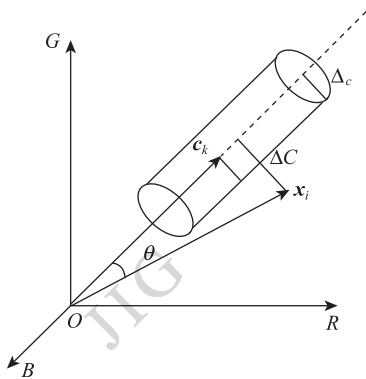


图 1 颜色变化区间示意图

Fig. 1 The schematic diagram of color distortion

亮度变化规律是将当前视频图像的某一像素的亮度值 I_i 与代码字 $\mathbf{c}_k$ 的亮度 I_k 差的绝对值 ΔI 作为亮度变化值,当 ΔI 小于亮度变化半径 Δ_l 时,则该像素点满足该类的亮度变化规律。某像素点与 $\mathbf{c}_k$ 的

亮度变化值为

$$\Delta I = |I_i - I_k| \quad (3)$$

定义

$$\Delta_l = \alpha \cdot I_k \quad (4)$$

$$\Delta_c = \tan \Delta_\theta \cdot I_k \approx \Delta_\theta \cdot I_k \quad (5)$$

式中, α 和 Δ_θ 为变化常量,通常取值 $\alpha = 0.03$, $\Delta_\theta = 0.06$ 。

2.2 算法设计

将颜色变化和亮度变化作为聚类准则^[13],在聚类过程中,设视频序列在时刻 t 的背景模型为 $\mathbf{X}_b^t$,代码字 $\mathbf{c}_k$ 作为 $\mathbf{X}_b^t$ 中某一像素位置处的第 k 个聚类中心。如果某类的聚类中心亮度 I_k 在 $[I_1, I_2]$ 内,则当像素点 $\mathbf{x}_i$ 同时满足与聚类中心的颜色变化规律和亮度变化规律时,即

$$\Delta I \leq \Delta_l \quad (6)$$

$$\Delta C \leq \Delta_c \quad (7)$$

可以认定此像素点属于该类,其中 I_1 可以认为是图像最大亮度的 $1/10$, I_2 为一个较大亮度值。如果该聚类中心亮度 I_k 小于 I_1 ,则令 I_k 等于 I_1 ,且对该像素亮度值进行亮度变化检测,如果满足亮度变化规律,则认为该像素属于该类。如果 I_k 大于 I_2 ,则需要对亮度变化半径进行参数修正,如果像素点同时满足修正后的颜色变化规律以及亮度变化规律,则该像素点属于该类。

设 ω 为子类的权重,根据视频图像的变化对权重 ω 进行更新, ω 决定了该子类属于背景或前景,从而进行准确有效地建模。

$$c_{k,t+1}(x,y) = (1 - \alpha)c_{k,t}(x,y) + \alpha v_{t+1}(x,y) \quad (8)$$

$$\omega_{k,t+1} = (1 - \alpha)\omega_{k,t} + \alpha \quad (9)$$

式中, $c_{k,t+1}(x,y)$ 为像素 (x,y) 处第 k 个子类更新后的聚类中心, $c_{k,t}(x,y)$ 为像素 (x,y) 处第 k 个子类更新前的聚类中心; $v_{t+1}(x,y)$ 为不变区域 v_{t+1} 中像素 (x,y) 处像素值, α 为学习速率, ω_k 为第 k 个子类的最终权重; $\omega_{k,t+1}$ 为第 k 个子类更新后的权重; $\omega_{k,t}$ 为第 k 个子类更新前的权重。

$$\omega_{k,t+1} = (1 - \omega_0)\omega_{k,t} \quad (10)$$

$$N = \arg \min_n \left(\sum_{k=1}^n \omega_k > T_n \right) \quad (11)$$

式中, T_n 为衡量阈值。

在此基础之上,算法设计如下:

1) 初始化

对每个像素点设置下列参数,聚类中心 $\mathbf{c}$, 亮度变化半径 Δ_l 和颜色变化半径 Δ_c , 子类权重 ω , 最大

子类数 M 。

2) 建立模型

取视频图像序列第1帧作为初始背景模型,将该帧中每个像素位置的颜色向量 $\mathbf{v}$ 作为其第1个聚类中心 $\mathbf{c}_1$,同时设置该类的权重 $\omega_1 = 1$ 。

3) 模型更新

(1) 对采集到的连续两帧图像 f_i, f_{i+1} 进行差分,得到其中的不变区域 v_{i+1} ,对不变区域中的每个像素,计算当前像素向量和已存在聚类中心的变化差异 D ,并选取其中的最小值 $D_{\min}$ 以及所对应的子类编号 k 。如果 $D_{\min}$ 满足由颜色变化规律和亮度变化规律共同组成的聚类准则,表明当前像素属于子类 k ,那么按照式(8)(9)对子类的参数进行更新。

(2) 如果 $D_{\min}$ 不满足聚类准则,表明当前像素不属于任何一个已存在的子类,如果当前子类个数小于设定的最大子类数,则添加新的子类,聚类中心设为当前像素特征向量,权重初始化为一个较小的值 ω_0 ; 否则,用当前像素特征向量替换已存在聚类中心中权重最小的像素,将其权重初始化为一个较小的值 ω_0 。然后,按照式(10)对其他子类权重衰减。

4) 道路的检测

对每个像素位置,根据权重 ω 对已存在的子类由大到小进行排序,并按照式(11)选择符合条件的前 N 个子类作为背景模型的合理描述。即如果当前像素属于前 N 个子类,则可以认为其为道路背景像素,否则为前景像素。

重复上述过程,实现对建立的道路模型的不断更新,即可得到每一时刻的真实道路模型。

3 实验结果与分析

3.1 实验环境

硬件环境:实验计算机 CPU 型号为 Core 2 Duo E7200,主频为 2.53 GHz。

软件环境:实验使用的图像来自于一段交通场景视频,其分辨率为 640×480 。

3.2 实验结果

实验建立的模型分别为色彩空间聚类道路模型,传统背景建模中的贝叶斯方法、混合高斯方法以及改进的混合高斯方法,使用4种方法对同一段视频进行了实验作为对比,实验部分结果图像如图2所示。

图2(b)为使用无参数贝叶斯方法建立道路模型后提取的前景二值化后的结果,图2(c)为使用混合高斯方法建立道路模型后提取的前景二值化后的结果,图2(d)为文献[14]提出的混合高斯模型和帧间差分相融合的自适应背景建模方法提取的前景二值化后的结果,图2(e)为使用本文方法建立的道路模型而提取的前景二值化后的结果,图2(f)为使用本文方法建立的道路模型而提取的前景原图(这些结果都未使用形态学方法对结果进行处理)。

通过实验结果可以直观看出,通过无参数贝叶斯方法得到的前景发生缺失,为随后将进行的目标检测造成了阻碍。原因是当视频中出现颜色与道路颜色相近的运动目标时,通过贝叶斯模型几乎无法将其检测出来(实验中漏检了4个运动目标前景)。混合高斯方法得到的结果,其效果有明显提升,检测出来的运动目标相对完整,但运动目标阴影与运动目标本身无法进行有效分割,导致运动目标大量细节丢失,为随后运动目标的检测带来障碍^[15]。改进的混合高斯在提高了算法速度的同时考虑到了光照变化对背景建模的影响,得到的前景运动目标也更加清晰,但仍未解决运动目标阴影与运动目标分割困难的问题。

而基于色彩空间聚类的建模方法检测出的前景非常完整,实验中未出现漏检前景目标的情况,运动目标与运动目标阴影也能很容易地区分开来。这是因为本文方法中,目标阴影符合道路背景像素的颜色变化和亮度变化规律(相当于道路像素光照发生变化),因此被认定为背景。但阴影边缘依旧被保留下来,实验提取到的前景结果在保留阴影形状的同时也将运动目标贴近阴影一侧的细节保留了下来。

整体而言,本文方法能够建立彩色道路背景模型,由此获得有效的运动目标前景信息。

4 结 论

为了建立非参数化、可以连续更新的彩色空间下的交通系统道路模型,将背景建模抽象为时间轴上的色彩空间聚类过程,提出了基于色彩空间聚类的道路建模方法。实验结果表明,通过本文方法建立的道路模型能够用于对交通场景背景的过滤,获得有效的前景车辆信息。

未来的工作中,可以考虑在该算法中加入物体

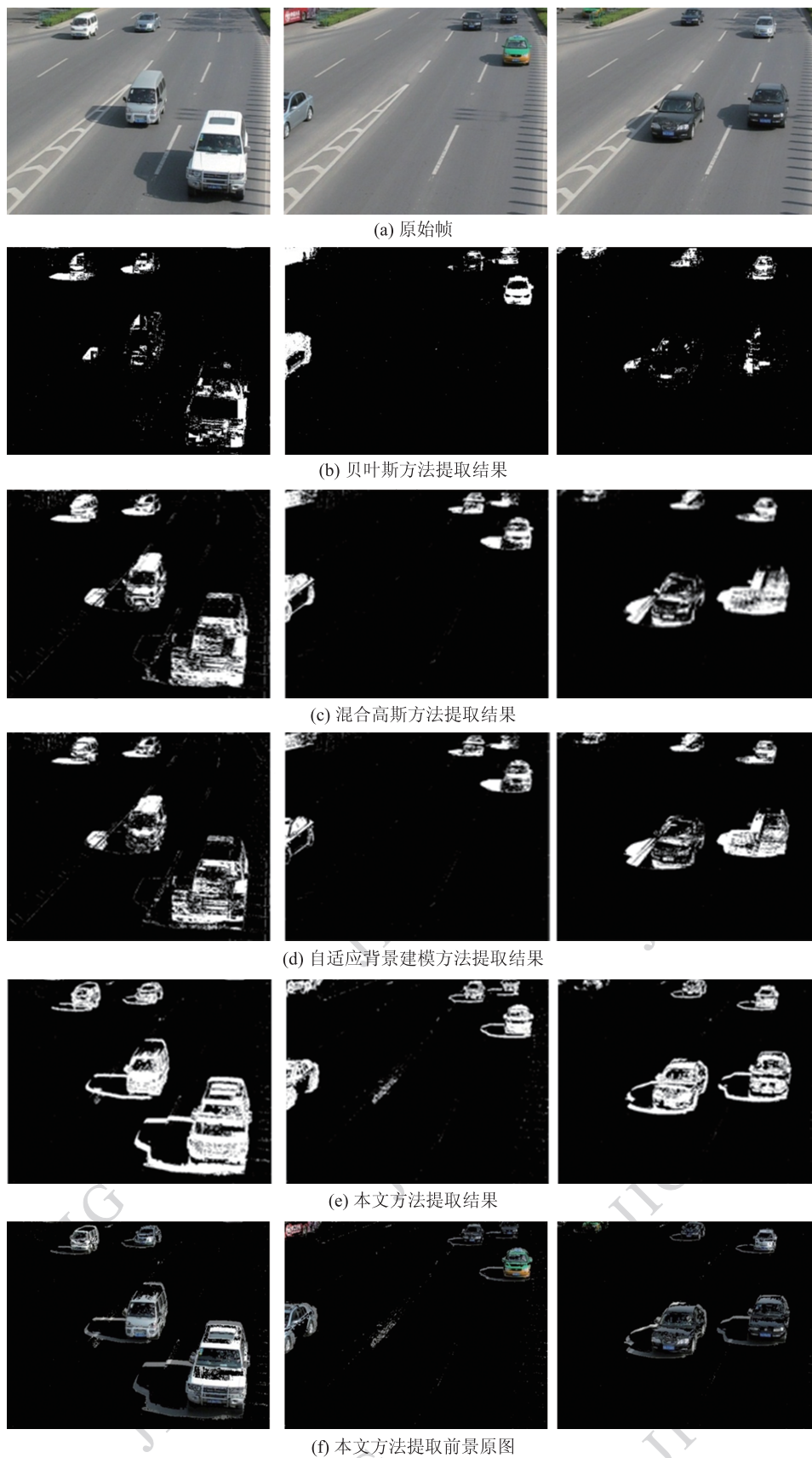


图2 实验部分结果

Fig. 2 Part of the experimental results

和道路背景的空间结构信息^[16],从而提高前景目标的完整性以及算法的执行效率。同时,使用该算法时,考虑加入形态学处理,以提高算法效果。未来可以将该算法融入到车辆检测与车型识别的算法中,形成完整的车辆检测与车型识别的算法体系。

参考文献 (References)

- [1] Piccardi M. Background subtraction techniques: a review [C] // Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. The Hague, Netherlands: IEEE, 2004: 3099-3104. [DOI:10.1109/ICSMC.2004.1400815.]
- [2] Friedman N, Russell S. Image segmentation in video sequences: a probabilistic approach [C] // Proceedings of 13th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1997:175-181.
- [3] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 27 (5): 827-832. [DOI:10.1109/CVPR.1999.784637.]
- [4] Li L Y, Huang W M, Gu I Y H, et al. Foreground object detection from videos containing complex background [C] // Proceedings of the 11th ACM International Conference on Multimedia. Berkeley, CA, USA: ACM, 2003: 2-10. [DOI: 10.1145/957013.957017.]
- [5] Takahashi N, Lwasaki M, Kunieda T, et al. Image retrieval using spatial intensity features [J]. Signal Processing: Image Communication, 2000, 16: 45-57. [DOI: 10.1016/S0923-5965 (00) 00029-1.]
- [6] Fung G S K, Yung N H C, Pang G K H, et al. Towards detection of moving cast shadows for visual traffic surveillance [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Tucson, USA, 2001, 4: 2505-2510. [DOI: 10.1109/ICSMC.2001.972934.]
- [7] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, et al. Detecting objects, shadows and ghosts in video streams by exploiting color and motion information [C] // Proceedings of the 11th International Conference on Image Analysis and Processing. Palermo, Italy, 2001: 360-365. [DOI:10.1109/ICIAP.2001.957036.]
- [8] Kim K, Chalidabhongse T H, Harwood D, et al. Background modeling and subtraction by codebook construction [C] // Proceedings of International Conference on Image Processing. Singapore: IEEE, 2004: 3061-3064.
- [9] Prati A, Mikic I, Trivedi M M, et al. Detecting moving shadows: algorithms and evaluation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25 (7): 918-923. [DOI:10.1109/TPAMI.2003.1206520.]
- [10] Bevilacqua A. Effective shadow detection in traffic monitoring applications [J]. Journal of WSCG, 2003, 11 (1): 57-64.
- [11] Jia L H, Zou J H. Improved background subtraction based on novel thresholding approach [J]. Acta Automatica Sinica. 2009, 35 (4): 394-400. [贾立好, 邹建华. 基于新的阈值化方法的背景减法改进 [J]. 自动化学报, 2009, 35 (4): 394-400.]
- [12] Qin Z. Shadow detection of moving vehicles based on texture constancy in gradient direction [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2008, 36 (10): 43-46. [秦钟. 基于梯度方向恒定性的运动车辆阴影检测 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2008, 36 (10): 43-46.]
- [13] Salvador E, Cavallaro A, Ebrahimi T. Shadow identification and classification using invariant color models [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Salt Lake, USA: IEEE, 2001, 3: 1545-1548. [DOI: 10.1109/ICASSP.2001.941227]
- [14] Liu X, Liu H, Qiang Z P, et al. Adaptive background modeling based on mixture gaussian model and frame subtraction [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13 (4): 729-734. [刘鑫, 刘辉, 强振平, 等. 混合高斯模型和帧间差分相融合的自适应背景模型 [J]. 中国图象图形学报, 2008, 13 (4): 729-734.]
- [15] Tang M, Zhu G, Wang Y. A new cast shadow discrimination method for vehicles through edge detection [C] // Proceedings of Signal Processing, the 8th International Conference. Beijing: IEEE, 2006, 16-20. [DOI: 10.1109/ICOSP.2006.345656]
- [16] Liu L P, Xu J M, Wen H Y, et al. A new vehicle shadow handler based on texture invariance [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2005, 29: 1005-1008. [刘利频, 徐建闽, 温惠英, 等. 基于纹理不变性的车辆阴影处理方法 [J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2005, 29: 1005-1008.]