

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **11**
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11月 第17卷 第11期(总第199期)

目次

综述

数字图像合成技术综述 吴昊, 徐丹(1333)

图像处理和编码

基于群稀疏的结构化字典学习 郭景峰, 李贤(1347)

SSIM 度量虚拟视点绘制失真的深度图帧内编码 喻莉, 张军涛, 邓慧萍, 向森, 周鹏, 左雯, 王宁(1353)

统计量移位的鲁棒无损图像信息隐藏 李晓博, 周诠(1359)

伪造图像典型篡改操作的检测 左菊仙, 刘本永(1367)

图像分析和识别

融合灰度和 SURF 特征的红外目标跟踪 范新南, 丁朋华, 刘俊定, 张学武(1376)

海面温度栅格图的锋面提取与矢量化 崔雪森, 周为峰, 王栋, 张胜茂(1384)

交通场景中车辆的运动检测与阴影消除 王彬, 冯远静, 郭海峰, 张贵军(1391)

基于随机点积图的图像标注改善算法 孙登第, 罗斌, 郭玉堂(1400)

图像理解和计算机视觉

有监督子空间建模和稀疏表示的场景分类 段菲, 章毓晋(1409)

对立色 LBP 模型的目标跟踪 张炯, 宁纪锋, 颜永丰, 于伟(1418)

计算机图形学

联合骨架与边界特征的平面形状分解…………… 蒋建国, 周丹凤, 郝世杰, 郭艳蓉, 詹曙(1425)

屏幕空间自适应的地形 Tessellation 绘制…………… 张兵强, 张立民, 艾祖亮, 张建廷(1431)

遥感图像处理

SAR 图像稀疏优化滤波…………… 杨萌, 张弓(1439)

分段线性动态矩匹配条带去除…………… 秦雁, 邓孺孺, 何颖清, 陈蕾, 陈启东(1444)

基于 Harris 角点和 SIFT 描述符的高分辨率遥感影像匹配算法…………… 陈梦婷, 闫冬梅, 王刚(1453)

第八届图像图形技术与应用学术会议征文通知…………… (1460)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 11 期

2012 年 11 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:010-64807995 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

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTXFZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)11-1391-09

论文引用格式: 王彬,冯远静,郭海峰,张贵军. 交通场景中车辆的运动检测与阴影消除[J]. 中国图象图形学报,2012,17(11):1391-1399.

交通场景中车辆的运动检测与阴影消除

王彬, 冯远静, 郭海峰, 张贵军

浙江工业大学信息处理与自动化研究所, 杭州 310023

摘要: 提出一种算法框架实现对交通场景中运动车辆的分割。首先,提出一种基于颜色空间的浮动气球模型,用以解决监控场景的自适应背景建模问题,该方法解决了基于参数模型的背景建模方法无法检测驻留物体的问题,并可有效适应监控场景中的光照变化以实现自适应更新;其次,针对通过背景建模和背景差分得到的运动前景区域包含运动车辆阴影问题,提出一种新的阴影检测算法,该算法采用多特征融合的方法实现了对运动车辆的分割。实验结果分析表明,与其他方法相比,该算法框架在背景建模和阴影检测方法具有较好的效果。

关键词: 浮动气球模型; 背景建模; 运动检测; 阴影检测

Adaptive background updating and shadow detection in traffic scenes

Wang Bin, Feng Yuanjing, Guo Haifeng, Zhang Guijun

Institute of Information Processing and Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China

Abstract: In this paper, we present a real-time background modeling framework for moving vehicle segmentation in traffic surveillance scenes. First, we propose a new adaptive background modeling method called Balloon Model established in the color space, which fixes the error of non-moving objects in the parameter models; second, an effective shadow detection approach is developed to detect shadows in traffic scenes, which adopts feature fusion method to achieve the segmentation of vehicles. Compared to the other methods, this technique achieves a higher accuracy and is faster.

Key words: balloon model; adaptive background modeling; moving object detection; shadow detection

0 引言

视频分析技术在智能交通领域的应用越来越广泛。基于自适应背景模型的运动目标检测和目标分割问题是视频分析的基础问题。常见背景模型的建模方法可分为参数模型建模方法和非参数模型建模方法两种,其中混合高斯模型^[1]、核密度估计方法^[2]、线性自回归模型^[3]等属于参数模型建模方法;滑动均值法^[4-5]、VSAM^[6]模型和递归非线性滤波的帧差模型^[7]属于非参数模型方法。参数模型方法能够得到较为准确的背景模型,但其计算复杂

度较大往往不能满足实时性要求,非参数模型法计算较简单,算法直观且易于实现,但其可靠性较差。文献[8]提供了较为全面和详细的关于背景建模方法的综述。参数模型中的混合高斯模型可以解决以一定模态运动的复杂背景,但同时由于其算法原理的特征,它同时会将驻留物体学习为背景。VSAM和滑动均值方法求解过程中使用了帧差法的处理结果,所以当帧差法结果出现运动目标空洞时候会导致错误的出现。且这两类方法都需要将运动图像序列转换到灰度空间进行分析,虽降低了计算复杂度同时也降低了算法的可靠性。为了解决上述问题,提出一种基于颜色空间分析的浮动气球模型来解决

收稿日期:2012-01-13;修回日期:2012-04-17

基金项目:国家自然科学基金项目(50908213);浙江省自然科学基金项目(Y1100891)

第一作者简介:王彬(1985—),男,浙江工业大学模式识别与智能系统专业硕士研究生,研究方向为图像处理与机器视觉,模式识别与机器学习。E-mail:pilgrim_bin@163.com

背景建模问题,该算法解决了运动目标的驻留问题,且基于颜色空间的分析使得其可靠性较高,同时模型所需参数较少且易于求解,具有计算复杂度小的优点,并通过实验和混合高斯模型方法进行比较分析了其对背景的学习能力。

通过自适应背景模型得到的运动前景不但包括了运动目标本身,而且包括了运动物体的阴影,从而影响了对运动目标的类型分析和行为判断,故需要进一步对运动目标进行分割。常见的阴影检测算法可分为 4 种^[9]:参数统计法、非参数统计法、确定性模型法、非确定性模型法。Tian 等人^[10]提出了三色衰减模型(TAM)来描述阴影区域和非阴影区域的光照强度衰减关系。该方法采用普朗克黑体辐射理论(Planck's blackbody irradiance theory)来描述,其参数用相关色温(CCT)初始化,但每当环境光改变的时候或者多光源的情况下,需要重新估计参数。Nadimi 等人^[11]提出一种基于时空反射测试和双色反射模型(spatio-temporal albedo test and dichromatic reflection model)来移除阴影,其前提假设光源主要来源于天空和太阳,所以这种方法对于复杂光源的情况下、车辆间半影或者未知光源位置的情况下效果并不好。文献[12]使用 Markov 随机场模型在单帧图像中自动地检测出阴影,然而该方法在复杂场景中却很难推广。在文献[13]中,一种基于颜色空间计算模型(computational color model)的方法被提出用来区分亮度和色度信息,但复杂的参数选择始终是困扰的问题。当前存在很多基于不同颜色空间的方法,例如 HSV 颜色空间法^[14]、HSI 颜色空间法^[15]、YCrCb 颜色空间法^[16]和 RGB 颜色空间法^[13]。以上算法有着各自的特性,且在各自设定条件下得到相应效果,它们有一个共同的特征:努力寻找一个区别于背景信息的测光特征以区分阴影区域和非阴影区域。然而实际监控场景中光照条件往往复杂多变,算法的适应性存在问题。还有一些方法提取了边缘、梯度和纹理等光照不变性特征,来处理光照复杂且光源复合的场景。采用了这些特征的算法往往就能得到很好的效果,例如 Bevilacqua^[17]提出了一种基于多梯度算子的阴影消除算法来判断最像阴影的区域。在文献[18]中,一种基于纹理分析的方法用来检测含有阴影的运动物体。在文献[19]中,通过检测动态的边缘和静态的边缘特征,来判断运动的物体和静止的背景,然而上述方法往往对噪声是敏感的,经常把道路上的刹车痕当做运动物体。所以,

选择可信的特征来代表运动物体是一个较为重要的问题。在算法研究过程中发现,角点可以作为一个可信的特征来代表运动车辆,同时,角点在阴影区域和刹车痕区域几乎没有,所以针对交通场景提出一种融合颜色和角点特征的多重掩模算法,并通过实验数据分析验证其具有很好的阴影检测效果。

1 颜色空间浮动气球模型

对运动车辆分割的算法模块主要包括运动检测和阴影检测两部分,两模块紧密配合实现对车辆的分割,算法框架如图 1 所示,其中框图中符号代表各模块间变量传递关系,其意义与下文所述一致。运动检测部分使用自适应背景模型和背景差分实现,其中背景模型即颜色空间浮动气球模型,该模型的实现过程包括气球模型的建立和气球的浮动两部分;阴影检测部分即多重掩模算法,该算法融合了运动检测、角点特征分析和颜色空间特征的检测结果,最终得到车辆的分割区域。

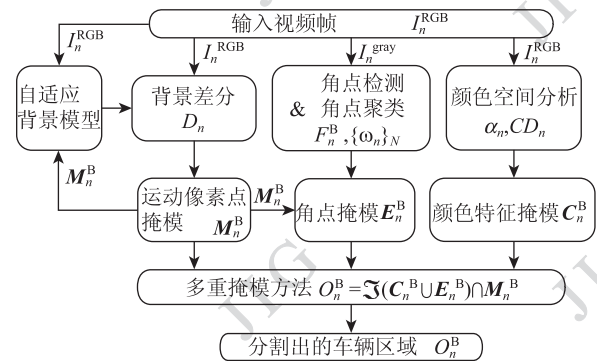


图 1 车辆分割算法框架图

Fig. 1 Algorithm framework of vehicle segmentation

1.1 气球模型的建立

将时间段 $[t_1, t_2]$ 内 N 帧运动图像序列中位于位置 (x, y) 处的像素值 $I_i(x, y)$ 描述为一个在颜色空间内按照一定规律分布的点集 $\chi = \{x_i | x_i = I_i(x, y), i = 1, 2, 3, \dots, N\}$ 。显然点集分布规律和监控场景中背景的情况有关,对于稳定的监控场景(即没有光照突变等特殊情况),点集呈团状分布。设该点集以 (R_0, G_0, B_0) 为中心呈正态分布,根据 3σ 原则可构造为以 (R_0, G_0, B_0) 为中心,以 r 为半径的球体,使得位于球体内部的点值为该位置点的背景像素值,位于球体外的点值为运动前景像素值。参数关系为

$$(x_0, y_0, r) = \Theta(\chi, T) \quad (1)$$

式中, $\Theta(\chi, T)$ 为求解一个球体的球心位置, 使得满足: 点集 χ 中位于球体 $O(x_0, y_0, r)$ 内部的点的个数最大, 且最大值大于 T 。如果求解的球体中心不能满足要求, 则表明点集 $\{x_i\}_N$ 的分布是不稳定的, 由此认为输入的 N 帧初始化运动图像序列中该点有运动物体存在或经过, 应继续输入图像序列直至所有点的浮动气球模型建立。求解点集中心的方法可以使用 K-MEANS 算法或者基于密度的聚类方法求解聚类中心。浮动气球模型建立后在颜色空间的位置如图 2 所示。

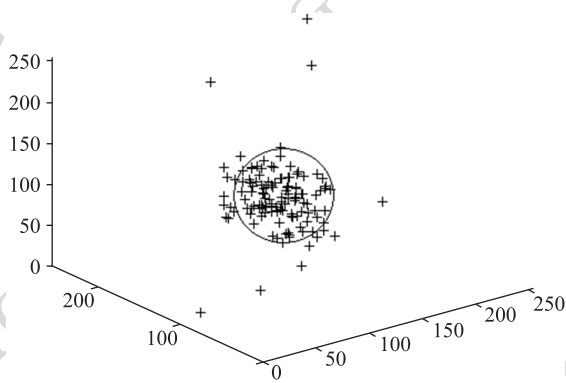


图 2 颜色空间浮动气球模型
Fig. 2 Balloon Model in color space

1.2 气球浮动规则

监控场景中背景的变化主要是光照强度的变化引起的, 而室外监控场景的光源一般为太阳和天空, 光照的变化是一个缓慢变化的过程, 即本文不考虑短时间内光照强度剧变的情况。根据颜色空间浮动气球的建立模型可以得知, 背景跟新的过程可以描述为浮动气球在颜色空间内浮动的过程。则可按如下步骤浮动气球: 首先, 对于输入的运动图像序列, 生成运动前景掩模

$$M_i^B(x, y) = \begin{cases} 0 & I_i^{RGB}(x, y) \in O(x_0, y_0, r) \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中, M_i^B 表示第 i 帧的运动前景掩模, $M_i^B(x, y) = 0$ 表示该点在浮动气球内部, 则认为该点像素值被分类为背景, $M_i^B(x, y) = 1$ 表示该点在气球外部, 认为该点是运动前景。然后按照式 (3) 浮动气球中心。

$$(x_{i+1}, y_{i+1}) = \begin{cases} \alpha \cdot (x_{i+1}, y_{i+1}) + \\ (1 - \alpha)(x_i, y_i) & M_i^B(x, y) = 1 \\ (x_i, y_i) & M_i^B(x, y) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中, $\alpha \in (0, 1)$, 数值越大表示浮动强度越大, (x_i, y_i) 代表在第 i 个图像序列中的某点的浮动气球中心。本文中参数 α 取经验值 0.1。

2 阴影检测

多重掩模算法 (MMM) 是本文针对交通场景中的阴影问题提出一种阴影消除算法。算法主要包括颜色亮度信息提取, 角点检测与角点聚类, 混合掩模等过程。

2.1 颜色亮度信息提取

颜色空间亮度信息和色度信息是运动图像序列中运动目标和背景相互区分的重要信息。为区分阴影特征和运动目标区域, 在此需要挖掘二者在颜色空间的差别。在本文算法中二者提取采用颜色空间计算模型^[13]的分析方法。令 $B_n^{RGB}(x, y)$ 代表 $t = n$ 时刻背景帧在位置 (x, y) 的像素值, 该数值是一个 3 维向量代表该点在 RGB 颜色空间中的位置; 令 $I_n^{RGB}(x, y)$ 表示当前帧的像素值, (x, y) 表示像素点的位置。

将 $I_n^{RGB}(x, y)$ 和 $B_n^{RGB}(x, y)$ 的差分定义为两个分量, 一个是亮度分量 ($\alpha_n(x, y)$), 另一个是色度分量 ($CD_n^{RGB}(x, y)$), 这两个分量的意义如图 3 所示。 $\alpha_n(x, y)$ 求解式 (4) 得到。

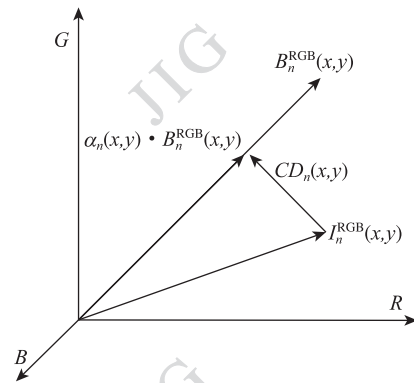


图 3 颜色空间计算模型
Fig. 3 Computational color model

$$\psi(\alpha_n(x, y)) =$$

$$\min(I_n^{RGB}(x, y) - \alpha_n(x, y)B_n^{RGB}(x, y))^2 \quad (4)$$

亮度分量 $\alpha_n(x, y)$ 代表 $B_n^{RGB}(x, y)$ 的期望值的倍数, 在此设定为 $I_n^{RGB}(x, y)$ 在向量 $B_n^{RGB}(x, y)$ 上的摄影和 $B_n^{RGB}(x, y)$ 的比值。显然当 $\alpha_n(x, y)$ 大于 1 时表示给出的 $I_n^{RGB}(x, y)$ 值大于像素对应参考位置 B_n^{RGB}

的值,反之则是小于。色度分量 $CD_n(x,y)$ 被定义为向量 $B_n^{RGB}(x,y)$ 和向量 $I_n^{RGB}(x,y)$ 的正交距离。其计算方法为

$$CD_n(x,y) = \| I_n^{RGB}(x,y) - \alpha_n(x,y) B_n^{RGB}(x,y) \| \quad (5)$$

当前帧和参考背景的查分结果至此被定义为亮度分量 $\alpha_n(x,y)$ 和色度分量 $CD_n(x,y)$, 然后基于这两个分量可得到基于颜色空间特征的二值化掩模

$$C_n^B(x,y) = \begin{cases} 1 & (\alpha_n(x,y) > T_\alpha) \text{ 或} \\ & (CD_n(x,y) > T_{CD}) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中, T_α 和 T_{CD} 是掩模阈值。掩模效果如图 4 所示, 为便于显示, 图 4 中已将掩模像素值翻转。由图 4 可知颜色空间计算模型可以可靠地检测出运动目标颜色和背景相区别明显的部分, 且颜色空间计算模型能够保证得到的二值化掩模 C_n^B 是运动目标的一部分。

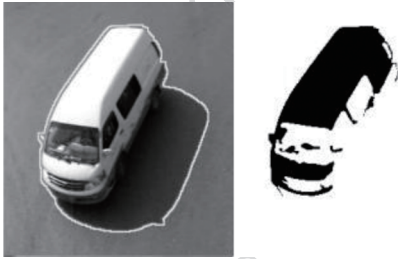


图 4 颜色空间计算模型掩模效果

Fig. 4 The result of computational color model

2.2 角点检测

角点特征是光照不变性的特征, 对于同一场景, 角点检测结果往往和光照条件无关。且角点分布和车辆的形状结构密切相关, 在车辆的前防护板, 车辆各个部件的连接处往往呈现带状或聚合状分布, 在文献[20]中用来作为车辆的跟踪特征以解决车辆间相互遮挡问题。本文算法采用角点特征作为运动车辆的可靠特征, 即将角点特征分布密集的区域分类为运动车辆。

在该模块中, 采用 FAST^[21] 角点检测算子来提取视频流中的角点特征。通过角点检测环节可以生成角点掩模 F_n^B , 该掩模是和原图同尺寸的二值化掩模, 令 $F_n^B(x,y) = 1$ 表示一个角点坐落在位置 (x,y) 处, 角点检测结果如图 5 (a) 所示, 角点在图 5 中标注为白色亮点。

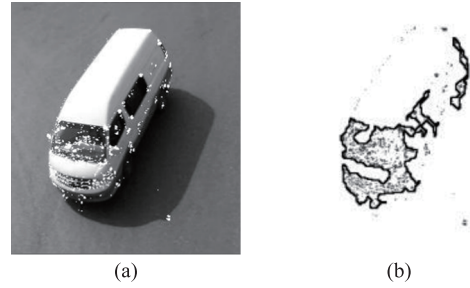


图 5 角点检测和角点掩模效果

Fig. 5 Corner detection and corner mask

2.3 角点聚类

角点特征的分布一般有如下特点: 角点特征在车灯、防护杠、车窗和车体的连接区域分布较广, 并且一般呈聚合状或者带状分布, 因此可将角点的分布问题转换为点集聚类问题。角点检测环节得到的掩模 F_n^B 可以看作是角点集, 由于点集的分布呈带状或团状分布, 故可用最小距离聚类算法进行模式聚类。采用欧氏距离作为相似性测度指标, 聚类结果用二值化掩模 E_n^B 表示, 聚类结果如图 5 (b) 所示。

$$E_n^B(x,y) = \begin{cases} 0 & (x,y) \in \{\omega_n\}_N \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

$E_n^B(x,y) = 1$ 表示点 (x,y) 位于类 ω_i 的紧支边界内部。

2.4 混合掩模

经过上述环节的处理, 得到了 3 个二值化掩模: M_n^B 、 C_n^B 和 E_n^B 。 M_n^B 表示运动像素点掩模, 即是所有运动像素点的位置; C_n^B 是通过颜色空间计算模型得到的掩模, 即是用颜色信息得到的前景和背景相差较大的区域; E_n^B 是使用角点检测和角点聚类方法得到的掩模, 它表示位于半影或者本影中的运动车辆区域。

将上述 3 个运动掩模模板 (M_n^B 、 C_n^B 和 E_n^B) 进行融合得到运动车辆区域的过程在此称为混合掩模方法。在此, 定义运动车辆区域掩模为 O_n^B , $O_n^B = 1$ 表示该区域为车辆区域, $O_n^B = 0$ 表示该区域为背景区域或者阴影区域。其计算方法为

$$O_n^B = \mathfrak{I}(C_n^B \cup E_n^B) \cap M_n^B \quad (8)$$

式中, 函数 $\mathfrak{I}(B^B)$ 表示计算给定的二值化掩模 B^B 的凸包 (convex hull)。在此, 定义一个平面点集的凸包为包含这些点集的面积最小的凸多边形, 本文采用文献[22]中快速凸包运算方法。凸包运算边界可能越过实际运动像素点掩模区域故需要作与运

算确保分割区域在运动掩模内部。至此,得到 O_n^B 即为车辆区域分割结果。

3 实验结果及分析

采用两类有代表性的运动图像序列来测试该算法:一类是背景波动复杂的,且有运动物体驻留的情况,不失一般性取视频“Mr. Beans Holiday”中一段运动图像序列用作测试,该段图像序列中含有随风波动

的菜花地,以检验算法对复杂背景的学习能力和对驻留物体的检测能力;另一类是含有阴影干扰的情况,表 1 中所罗列运动图像序列含有不同的光照条件,并在阴影尺寸、监控环境光变化程度、车辆运动速度等方面具有不同的特征,以同时测试浮动气球模型对光照变化的学习能力和多重掩模算法对阴影的检测能力。两类运动图像序列都在该算法框架内测试,算法仿真使用 MATLAB2009b 在 PC 机(Windows XP SP3, CPU Intel T6670, 2 G DDRII)实现。

表 1 测试使用运动图像序列
Table 1 The sequences of image motion for test

	Highway I ^[21]	Highway II ^[21]	Jiebai Overpass	Hangbai Overpass	Genxin Overpass
运动图像序列长度	440	500	1 200	2 600	3 500
图像尺寸	320 × 240	320 × 240	420 × 320	200 × 250	310 × 300
阴影尺寸	较大	较小	很大	中等	中等
光照条件	较稳定	较稳定	较稳定	中等	变化较大(多云)
车辆速度/(pixel/s)	30 ~ 35	8 ~ 15	15 ~ 30	5 ~ 15	10 ~ 20

3.1 混合高斯模型和浮动气球模型的对比

基于参数模型的自适应背景建模方法优于一般的非参数模型方法,而其中混合高斯模型背景建模方法是对多模态背景特征学习能力较为优秀的一种算法^[8],故采用混合高斯模型和浮动气球模型做对比。混合高斯模型^[1]采用期望最大算法^[23](EM)求解模型参数。

先采用第 1 类图像序列测试浮动气球模型对背景的学习能力。图 6 分两列分别标记为 GMM 列和 CSB 列。在 GMM 列中从左到右依次是:原图灰度图、混合高斯模型模拟背景灰度图、差分结果图;CSB 列从左到右依次是:原图、浮动气球模型模拟背景图、运动前景掩模。

从测试结果中可得出如下评价:1) 基于混合高斯模型(GMM)的背景建模方法可以很好地描述以一定模态震动的背景^[24],这对于运动较快的物体是效果显著的,但是当出现运动目标驻留现象时,就会将驻留物体学习为背景,从而出现背景建模的错误;浮动气球模型不但可以解决以一定模态变化的背景,而且可以检测出驻留物体。2) 混合高斯模型的背景建模方法计算量比较大,此结论可从其数学原理求解过程得出,浮动气球的背景建模方法在建立初始背景的时会有一定的计算量,而在背景模型建立后的背景更新环节计算简单,且气球模型在颜色

空间内展开分析提高了算法可靠性。

该图像序列背景是不断摇摆的菜花地,属于背景较复杂的情况,对于监控场景背景比较稳定的情况,如车辆周围只有车辆的半影区域时,浮动气球模型的表现会相对较好(如图 7)。当交通监控场景中含有大量强阴影时,该算法可有效检测运动区域(如图 8)。运动区域同时包含了运动车辆的阴影,需要进一步对运动目标进行分割,此即阴影检测环节需要解决的问题。

3.2 阴影检测算法效果分析

表 1 中,highway I 和 highway II 是较常用的阴影检测的基准运动图像序列(<http://cvrr. ucsd. edu/aton/shadow>),通过对该二组图像序列的测试结果可以和已有的诸多方法进行对比;Jiebai Overpass、Hangbai Overpass、Genxin Overpass 是本文作者和实验室相关人员在杭州延安路解百天桥、延安路杭百天桥和艮山西路艮新天桥采集得到。图像序列 Highway I 结果如图 9 所示,红色斑块部分表示使用上述方法得到的运动车辆掩模位置。

其他运动图像序列的处理效果在此不一一列出,代表性地,选择若干图像序列帧处理结果在此以说明多重掩模算法的过程:图 10(a) 表示图像序列原图,黄色边框包围区域表示最初的运动掩模(M_n^B)区域;图 10(b) 中代表颜色空间分析模型得到的运动目标

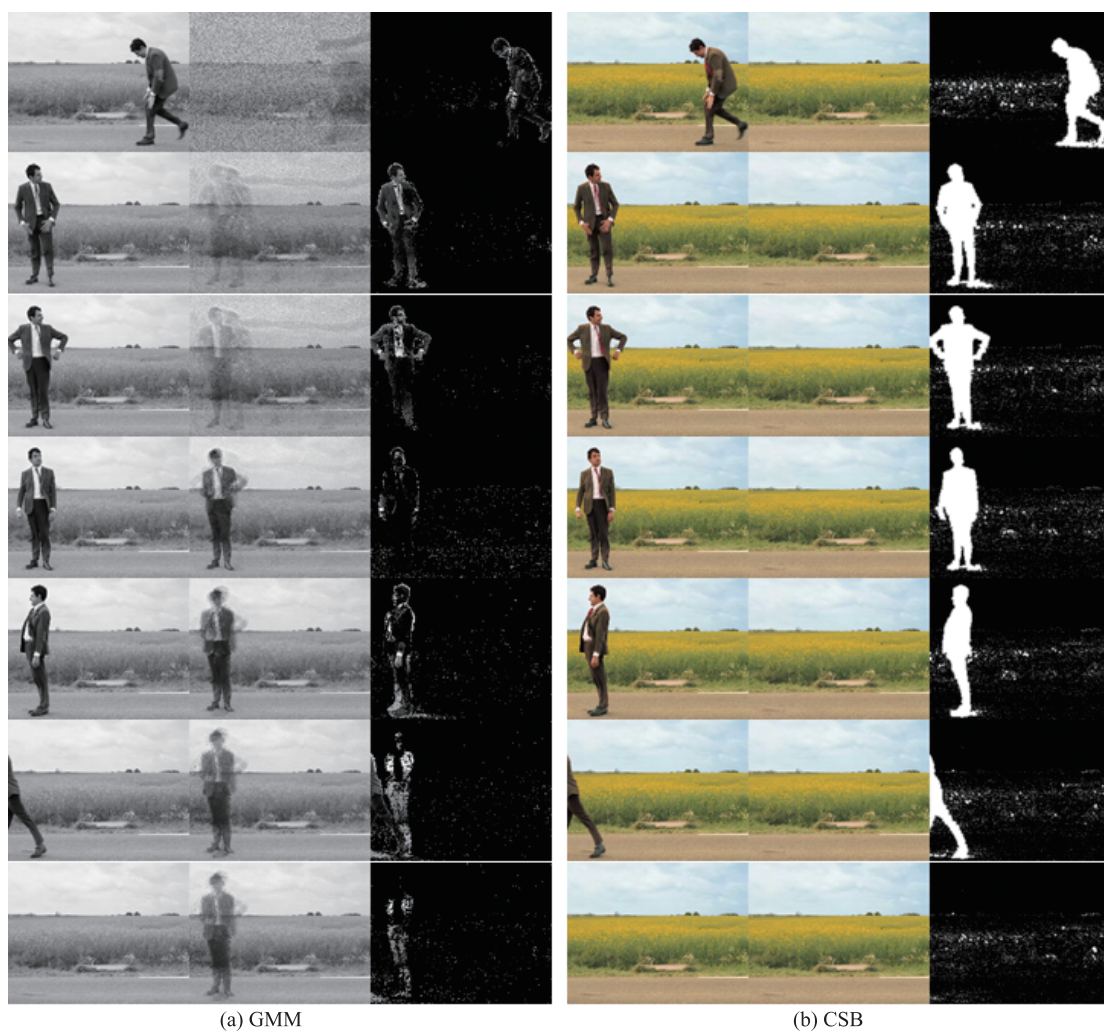


图6 随风摇动菜花地背景下运动检测结果(Been)
 Fig. 6 The result of moving pixel detection in waving cauliflower scene (Bean)



图7 背景变化较为稳定时的运动检测结果(Jiebai Overpass)
 Fig. 7 Moving pixel detection with stable background (Jiebai Overpass)



图8 含有大量阴影时的运动检测结果(Highway I)
 Fig. 8 Moving pixel detection with large shadows (Highway I)

掩模(C_n^B),为便于显示已经将 C_n^B 翻转;图10(c)中红点的位置表示角点检测结果,黑色的边框所包围的区域是角点聚类掩模(E_n^B)的效果图;图10(d)中黑色区域代表颜色模板(C_n^B)和角点模板

(E_n^B)相或的结果($C_n^B \cup E_n^B$),图中红色边界包围区域代表凸包运算结果($O_n^B = \mathfrak{S}(C_n^B \cup E_n^B) \cap M_n^B$);图10(e)中红色曲线是运动目标掩模(O_n^B)边界在原图标注的结果。

为保证结果的严谨性,采用文献[9]中提出的性能评价方法作为不同算法比较的评估指标:阴影检测率(η)和阴影分辨率(ξ),二者定义为

$$\begin{cases} \eta = TP_s / (TP_s + FN_s) \\ \xi = TP_f / (TP_f + FN_f) \end{cases} \quad (9)$$

式中, TP_s 和 TP_f 分别是被正确地分类为阴影像素点和运动物体(在这里指的是车辆)像素点的个数; FN_s 表示阴影点像素被错误地分类为运动物体点的个数; FN_f 是运动物体像素点被错误地分类为阴影

点的个数,显然 η 和 ξ 是呈正比关系,且期望二值越大越好。

表2中列出了重掩模算法和已经存在的算法的性能对比。通过数据的比较可知多重掩模算法优于所对比的几种算法。除了对于测试图像序列 highway II 性能表现平平(因为其相机抖动、阴影较小且分布在车辆底部等因素)外,对其他测试图像序列都效果良好,尤其对影子较大的监控场景(Jiebai Overpass, Highway I)和光照条件反复变化的监控场景(Genxin Overpass)效果显著。



图9 含有大量阴影时的车辆分割效果(Highway I)

Fig. 9 Vehicle segmentation with large shadows (Highway I)

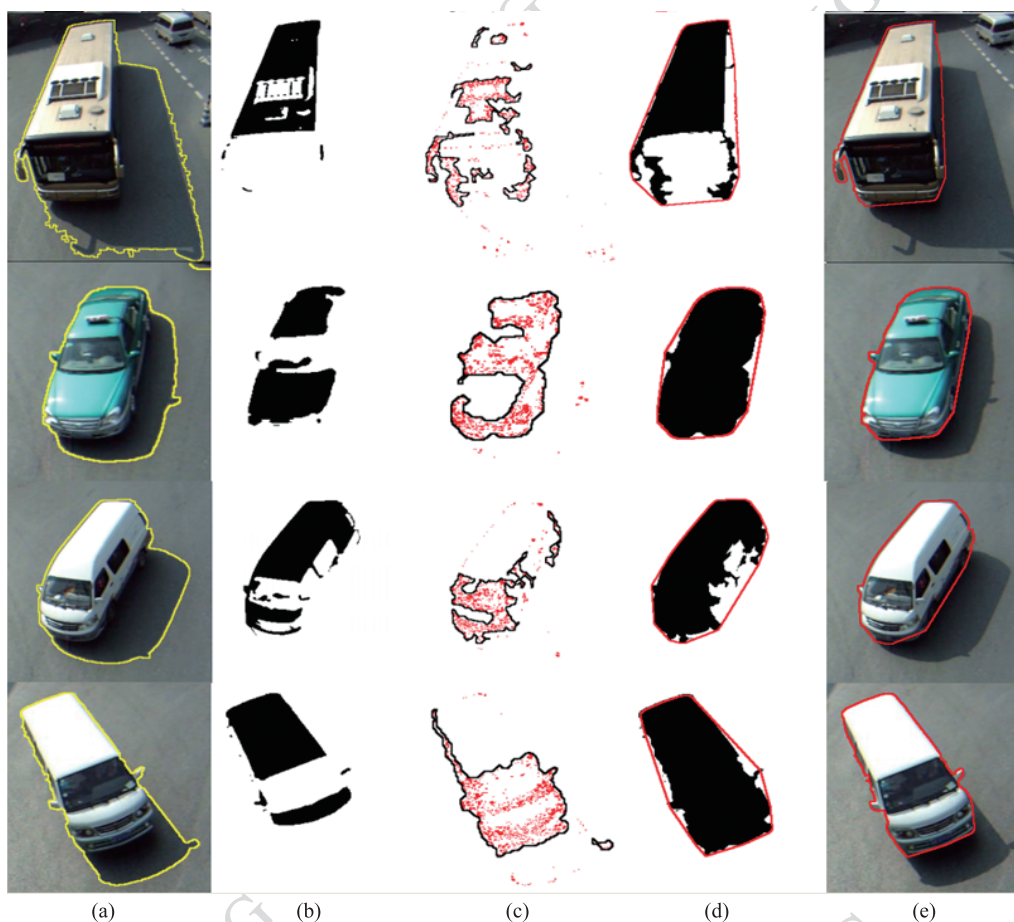


图10 表1中所列运动图像序列部分结果

Fig. 10 The results of moving image sequences in Table 1

表2 实验结果

Table 2 Experimental results

/%

方法	Highway I		Highway II		Jiebai Overpass		Hangbai Overpass		Genxin Overpass	
	η	ξ	η	ξ	η	ξ	η	ξ	η	ξ
SP ^[11]	59.59	84.70	46.93	91.49	*	*	*	*	*	*
SNP ^[11]	81.59	63.76	51.20	78.92	*	*	*	*	*	*
DNM1 ^[11]	69.72	76.93	54.07	78.93	*	*	*	*	*	*
DNM2 ^[11]	75.49	62.38	60.24	72.50	*	*	*	*	*	*
①	88.21	97.00	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	*	*	*	*	*	*
②	67.17	90.19	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	*	*	*	*	*	*
③	84.98	88.97	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	*	*	*	*	*	*
Proposed I	93.21	92.23	75.62	80.55	93.75	89.62	95.03	90.80	94.00	92.61

注: * 测试采集图像序列,故没有对比数据; ①. SVM cotraining^[25]; ②. Ratio Edge^[19]; ③. Adaptive Shadow Estimator^[26].

4 结论

本文提出一种适用于复杂光照条件下交通场景的背景模型以检测运动车辆;同时针对运动目标的进一步分割问题,提出一种适用交通场景的阴影检测算法。实验结果分析表明,浮动气球模型的参考背景模型解决了实时监控场景中光照变化问题和运动目标驻留问题,能够实现对实时监控场景的背景学习和背景更新;混合掩模阴影检测算法融合了颜色信息和角点特征,较一般阴影检测算法具有良好性能。两个环节紧密配合形成一个完整算法框架,实现了对运动车辆的检测和分割,此对以后环节如运动目标行为分析和行为理解等有重要意义。

参考文献(References)

- [1] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking [C]//Proceedings of the 1999 on Computer Vision and Pattern Recognition. Los Alamitos, CA, USA, August 1999, 2: 246-252.
- [2] Han B, Comaniciu D, Davis L. Sequential kernel density approximation through mode propagation: applications to background modeling [C]//Proceedings of the 2004 Asian Conference on Computer Vision. Jeju, Korea: Asian Federation of Computer vision Societies 2004;33-36.
- [3] Zhao X. Background modeling adaptive to outdoor illumination variation and foreground detection approach [J], Acta Automatic Sinica, 2011, 37(8): 915-922.
- [4] Wren C, Azarbayejani A, Darrell T, et al. Pfunder: Real-time tracking of the human body [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 780-785.
- [5] Cucchiara K G, Piccardi M, Prati A. Detecting moving objects, ghosts, and shadows in video streams [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(10): 1337-1342.
- [6] Collins R T, Lipton A, Kanade T, et al. A system for video surveillance and monitoring [R]. Tech. Report CMU-RI-TR-00-12. Oakland, california, USA: Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 2000.
- [7] Manzanera A, Richefeu J C. A new motion detection algorithm based on Σ - Δ background estimation [J]. Pattern Recognition Letters, 2007, 28(3): 320-328.
- [8] Piccardi M. Background subtraction techniques: a review [C]//Proceedings of the 2004 International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Oakland, USA: IEEE, 2004: 3099-3104.
- [9] Prati A, Mikic I, Trivedi M, et al. Detecting moving shadows: algorithms and evaluation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(7): 918-923.
- [10] Tian J, Sun J, Tang Y. Tricolor attenuation model for shadow detection [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(10): 2355-2363.
- [11] Nadimi S, Bhanu B. Physical models for moving shadow and object detection in video [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(7): 1079-1087.
- [12] Lu C, Drew M S. A markov random field framework for finding shadows in a single colour image [C]//Proceedings of the 10th Congress of the International Colour Association. Granada: [S. I.], 2005: 1049-1052.
- [13] Horprasert T, Harwood D, Davis L S. A statistical approach for

- real-time robust background subtraction and shadow detection [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision FRAME-RATE Workshop. Kerkyra, Greece: CiteSeerx, 1999, 99: 1-19.
- [14] Cucchiara R, Grana C, Piccardi M, et al. Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information [C]//Proceedings of the Intelligent Transportation Systems. Oakland: IEEE, 2001: 334-339.
- [15] Hu F, Zhang Y, Yao L, et al. A new method of moving object detection and shadow removing [J]. *Journal of Electronics*, 2007, 24(4): 528-536.
- [16] Cho J, Kwon T, Jang D, et al. Moving cast shadow detection and removal for visual traffic surveillance YCrCb [J]. *Advances in Artificial Intelligence*, 2005, 3809: 746-755.
- [17] Bevilacqua A. Effective shadow detection in traffic monitoring applications [J]. *Journal of WSCG*, 2003, 11(1): 57-64.
- [18] Leone A, Distanti C. Shadow detection for moving objects based on texture analysis [J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40(4): 1222-1233.
- [19] Zhang W, Fang X, Yang X K, et al. Moving cast shadows detection using ratio edge [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2007, 9(6): 1202-1214.
- [20] Coifmana B, Beymer D, McLauchlan P, et al. A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance [J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1998, 6(4): 271-288.
- [21] Rosten E, Drummond T. Machine learning for high-speed corner detection [C]//Proceedings of the European Conference on Computer Vision. Graz, Austria: Springer, 2006, 3951: 430-443.
- [22] Barber C B, Dobkin D P, Huhdanpaa H. The quickhull algorithm for convex hulls [J]. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 1996, 22(4): 469-483.
- [23] Moon T K. The expectation-maximization algorithm [J]. *IEEE Signal Processing Magazine*, 1996, 13(6): 47-60.
- [24] Wang B, Feng Y, Guo H, et al. An Effective Shadow Detection Approach in Traffic Scenes [C]//Proceedings of the 30th Chinese Control Conference. Yantai, PRC: IEEE, 2011: 3088-3093.
- [25] Joshi A J, Papanikolopoulos N P. Learning to detect moving shadows in dynamic environments [J]. *IEEE Transactions on PAMI*, 2008, 30(11): 2055-2063.
- [26] Choi J, Yoo Y J. Adaptive shadow estimator for removing shadow of moving object [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2010, 114(9): 1017-1029.