

DOI: 10.7652/xjtuxb201304006

消除阴影和高亮噪声的双梯柱体码本前景检测模型

黄进, 金炜东, 秦娜, 周艳, 刘景波

(西南交通大学电气工程学院, 610031, 成都)

摘要: 为解决智能视觉监控中前景检测存在阴影和高亮噪声影响的问题, 提出一种双梯柱体码本(DTCC)前景检测模型。首先, 根据阴影与背景相比亮度较低且色度不同的特点, 将模型下部构造成正立的梯柱体阴影检测区; 随后, 根据高亮噪声与背景相比亮度较高、色度不同的特点, 将模型上部构造成立体的梯柱体高亮噪声检测区域; 最后, 模型中部采用圆柱体构造主体背景区域, 最终形成 DTCC 模型。实验结果表明: DTCC 模型具有更高的实时性, 平均帧率约为 15.61 帧/s, 比 iGMM 模型、CBM 模型和 HC3 模型的帧率分别高出 76.05%、24.60% 和 41.09%; 具有更优的阴影和高亮噪声消除性能, 平均阴影和高亮噪声消除率分别约为 70.61% 和 83.41%, 均高于对比模型。

关键词: 阴影; 高亮噪声; 码本; 前景检测; 智能视觉监控

中图分类号: TN914.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2013)04-0028-07

Double-Trapezium Cylinder Codebook Model for Foreground Detection with Shadow and Highlight Suppression

HUANG Jin, JIN Weidong, QIN Na, ZHOU Yan, LIU Jingbo

(School of Electric Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: A foreground detection model for double-trapezium cylinder codebooks (DTCC) is proposed to solve the problem that there exists shadow and highlight in foreground detection in intelligent visual surveillance. First an erected trapezium cylinder structure for shadow detection is constructed in the lower part of the model based on the characteristics that the shadow is less bright than the background and the chromaticity of shadow is different from that of the background. Then an inverted trapezium cylinder structure for highlight detection is constructed in the upper part of the model based on the characteristics that the highlight is brighter than the background and the chromaticity of highlight is different from the background. The DTCC model is formulated by finally constructing a main background area in the middle part of the model using a cylinder structure. Experimental results show that the average frame rate of the DTCC model is about 15.61 frames per second and the real-time performance is higher than that of iGMM, CBM and HC3 algorithms with 76.05%, 24.60% and 41.09%, respectively. The average shadow suppression rate and average highlight suppression rate of the DTCC model are about 70.61% and 83.41%, respectively, and both the performance are better than those of the compared algorithms.

Keywords: shadow; highlight; codebook; foreground detection; intelligent visual surveillance

收稿日期: 2012-08-17。 作者简介: 黄进(1977—), 男, 讲师, 博士生; 金炜东(通信作者), 男, 教授, 博士生导师。 基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(61134002); 国家自然科学基金资助项目(61075104); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(SWJTU09BR069)。

网络出版时间: 2013-01-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20130110.1159.001.html>

智能视觉监控中前景检测的目标是检测视频流,将运动目标从背景中提取出来,如何有效和精确地提取目标始终是一个热点课题^[1]。阴影和高亮噪声能导致目标混合、目标形状扭曲甚至目标丢失^[2],严重影响前景检测的质量,对其影响的消除已成为前景检测中一个极具挑战性的课题。

前景检测主要针对动态背景,KaewTraKul-Pong等通过增大学习率因子提高高斯混合模型在背景训练初期的学习效率,并增加检测阴影^[3],但学习率因子不能自适应地改变。黄进等采用三维高斯混合码本模型进行前景检测,实现了较高的实时性和良好的检测质量^[4],但存在噪声和阴影干扰问题。徐胜军等建立局部交互的区域马尔可夫随机场分割模型,提出基于局部区域能量最小化的图像分割算法^[5],但算法需要局部交互且分割结果存在边缘带现象。Kim等提出的码本模型针对动态背景具有良好的检测效果^[6],但不能消除扰动噪声、阴影和移动物体拖影的影响。阴影消除的难点在于阴影与前景具有相同的运动特征,Gallego等采用基于区域的亮度色度失真模型消除阴影,实现增强贝叶斯前景分割^[7],但涉及复杂的先验概率计算。Liu等提出结合运动前景区域纹理和色度属性的基于纹理、亮度、色度及其或映射准则的阴影消除算法^[8],但效率不高。Porikli等提出一种贝叶斯学习方法以获取动态场景的背景统计信息,并采用一种圆锥体结构作为阴影分类器以消除阴影^[9],但该方法计算复杂,效率较低。Doshi等将码本模型从RGB空间转换到HSV空间进行计算,提出了HC3模型,对阴影和高亮噪声进行消除^[10],但效果并不理想。

针对前景检测存在阴影和高亮噪声影响的问题,通过重建码本模型的结构,本文提出了一种新的双梯柱体码本(Double-Trapezium Cylinder Codebook, DTCC)前景检测模型。

1 码本模型原理

码本模型是一种非统计聚类模型,它为每个像素建立一个码本,每个码本对应至少一个码字,每个码字存储该像素学习过程中一段平稳(非剧烈)变化的灰度值范围,对新输入的像素值基于亮度和色度进行聚类以判断是否为前景。码本模型的优势在于:①将像素的观察值分类为码字,然后基于码字进行聚类以分割背景,很好地实现了在树枝摇摆、水面波纹、旗帜飘扬等多模动态背景条件下的检测;②减少了计算量,降低了存储空间(实验表明,对一段30

帧/s的5 min视频,平均每个像素的码本仅需要6.5个码字^[6]);③将亮度和色度分开,简单而高效地解决了光线变化对背景分割的影响;④具有很好的自适应性,在背景分割的同时,引入缓冲码本进行背景的自适应更新。码本模型的不足包括:①在RGB颜色空间下,模型存在低亮度背景逐渐变亮时可能被误判为前景的问题^[11];②参数难以调整,亮度范围和色度误差等先验参数需要权衡;③不能消除阴影和高亮噪声的影响;④光照变化剧烈时,检测效果不好;⑤实时性和检测质量需要进一步提高。

2 DTCC模型分析及实现

阴影是物体部分或全部阻挡直射光源而形成的表面投影区域^[12],是局部照度太低而实际亮度图动态范围有限所导致的阴影区小信号信噪比不足引起的失真。高亮噪声是局部照度太高而实际亮度图动态范围有限所导致的高亮区大信号的饱和失真。

码本模型的颜色模型是一个圆柱体结构。模型中像素的亮度 I 定义为像素观察值向量 $\mathbf{x}_i$ 的模,色度 δ 定义为 $\mathbf{x}_i$ 到均值向量 $\mathbf{v}_i$ 的距离。当亮度和色度满足匹配条件时,即 $\mathbf{x}_i$ 位于圆柱体内部时,该像素为背景像素,否则为前景像素。阴影像素较背景像素具有低亮度异色度的特性,因此在码本模型的圆柱体结构下,背景和阴影(包括彩色阴影)很可能被分别判定位于圆柱体内外,从而导致检测结果中前景及其阴影共同存在,降低了检测质量。同理,高亮噪声较背景像素具有高亮度异色度的特性,在码本模型的圆柱体结构下,背景和高亮噪声很可能被分别判定位于圆柱体内外,从而导致检测结果中前景和高亮噪声共同存在,降低了检测质量。

阴影、高亮噪声与前景共同存在的根本原因在于,码本模型的圆柱体结构无法将具有低亮度异色度特征的阴影和具有高亮度异色度特征的高亮噪声与前景有效分割。基于文献[9-10]采用圆锥体结构匹配非彩色阴影特征的思路,本文通过3个步骤改造码本模型的圆柱体结构以匹配彩色阴影的特征,最终形成了一个新的双梯柱体码本模型。①基于阴影低亮度的特征,圆柱体下部构造成阴影检测区域;基于阴影异色度的特征,圆柱体下部构造成正立的梯柱体,以适应阴影色度可能减小、不变或增大的趋势。②基于噪声高亮度的特征,圆柱体上部构造成高亮噪声检测区域;基于噪声异色度的特性,圆柱体上部构造成倒立的梯柱体,以适应噪声色度可能减小、不变或增大的趋势。③圆柱体中部构造成主体

R_{HD} 分别定义为

$$R_{HS} = 1 - \frac{F''_{FP}}{B_{FP} + B_{TN}}; \quad R_{HD} = \frac{H_{TP}}{B_{FP} + B_{TN}} \quad (7)$$

式中: F''_{FP} 表示阴影和前景外像素不为前景且检测结果为前景的像素个数; H_{TP} 表示像素为高亮噪声且检测结果也为高亮噪声的像素个数; B_{FP} 表示像素不为阴影或前景且检测结果为阴影或前景的像素个数; B_{TN} 表示像素不为阴影或前景且检测结果也不为阴影或前景的像素个数。

阴影误检率(Shadow Error Rate) R_{SE} 和高亮噪声误检率(Highlight Error Rate) R_{HE} 分别定义为

$$R_{SE} = \frac{S_{FP}}{S_{FP} + S_{TN}}; \quad R_{HE} = \frac{H'_{FP}}{B_{TP} + B_{FN}} \quad (8)$$

式中: S_{FP} 表示像素不为阴影且检测结果为阴影的像素个数; S_{TN} 表示像素不为阴影且检测结果也不为阴影的像素个数; H'_{FP} 表示阴影和前景内像素不为高亮噪声且检测结果为高亮噪声的像素个数; B_{TP} 表示像素为阴影或前景且检测结果也为阴影或前景的像素个数; B_{FN} 表示像素为阴影或前景且检测结果不为阴影或前景的像素个数。

阴影检测系数(Shadow Detection Coefficient) C_{SD} 和高亮噪声检测系数(Highlight Detection Coefficient) C_{HD} 定义如下。检测系数越大,表示单位误检率的检测率越大,检测性能越优。

$$C_{SD} = \frac{R_{SD}}{R_{SE}}; \quad C_{HD} = \frac{R_{HD}}{R_{HE}} \quad (9)$$

本文的实验平台为:Inter(R) Core(TM)2、CPU T7200 双核 2.00 GHz 处理器,2.50 GB 内存,Windows XP 操作系统,Microsoft Visual C++ 2008 开发环境。在性能分析实验中,CBM、HC3 和 DTCC 采用由 α 、 β 、 ϵ 这 3 个共有参数构成的参数组,iGMM 采用由模型参数构成的参数组,数量为 100 组。

3.1 室外实验

Video1 针对室外的运动人体,分辨率为 $352 \times$

288 像素。CBM、HC3 和 DTCC 的码本构建阶段基于视频的第 1 遍遍历,4 种模型的背景减除阶段基于视频的第 2 遍遍历,即均为第 1 帧至第 1 179 帧。

4 种模型的帧率比较结果为多次实验的平均值,如表 1 所示。实验结果表明:DTCC 在码本构建和背景减除阶段的实时性是 4 种模型中最优的。

表 1 室外实验中 4 种模型的帧率比较

阶段	帧率/帧 $\cdot s^{-1}$			
	iGMM	CBM	HC3	DTCC
码本构建		7.409	4.439	8.030
背景减除	8.764	12.010	8.093	15.031

4 种模型对视频第 409 帧的背景减除效果如图 2 所示。结果表明:4 种模型均能正确检测出运动人体,检测结果基本准确、相对饱满且几乎没有形变,但在阴影和高亮噪声消除方面存在显著差异。iGMM 对阴影几乎没有任何消除,效果最差;HC3 对阴影有轻微消除效果,同时受高亮噪声影响明显;CBM 对阴影有一定消除效果,且受高亮噪声影响较小;DTCC 对阴影有显著消除效果,且受高亮噪声影响较小,效果最理想。

4 种模型对视频第 409 帧的消除率和误检率性能分析如图 3 所示。图 3 结果表明:DTCC 的平均阴影消除率和平均高亮噪声消除率分别为 61.90% 和 80.48%,平均高于其他 3 个模型分别为 140.88% 和 3.37%;平均阴影和高亮噪声误检率分别为 0.40% 和 0.64%,平均低于其他 3 个模型分别为 60.72% 和 50.84%;阴影和高亮噪声消除性能最优,误检率最低。

3.2 室内实验

Video2 针对室内的运动人体,分辨率为 320×240 像素。CBM、HC3 和 DTCC 的码本构建阶段基于视频的第 1 遍遍历,4 种模型的背景减除阶段基于视频的第 2 遍遍历,即均为第 1 帧至第 300 帧。

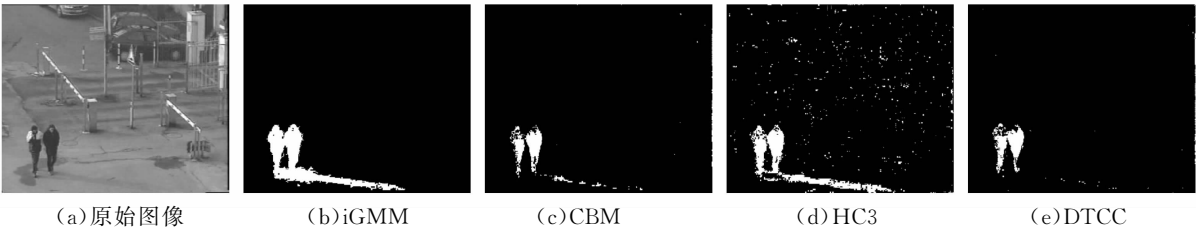


图 2 室外实验中 4 种模型的背景减除效果比较

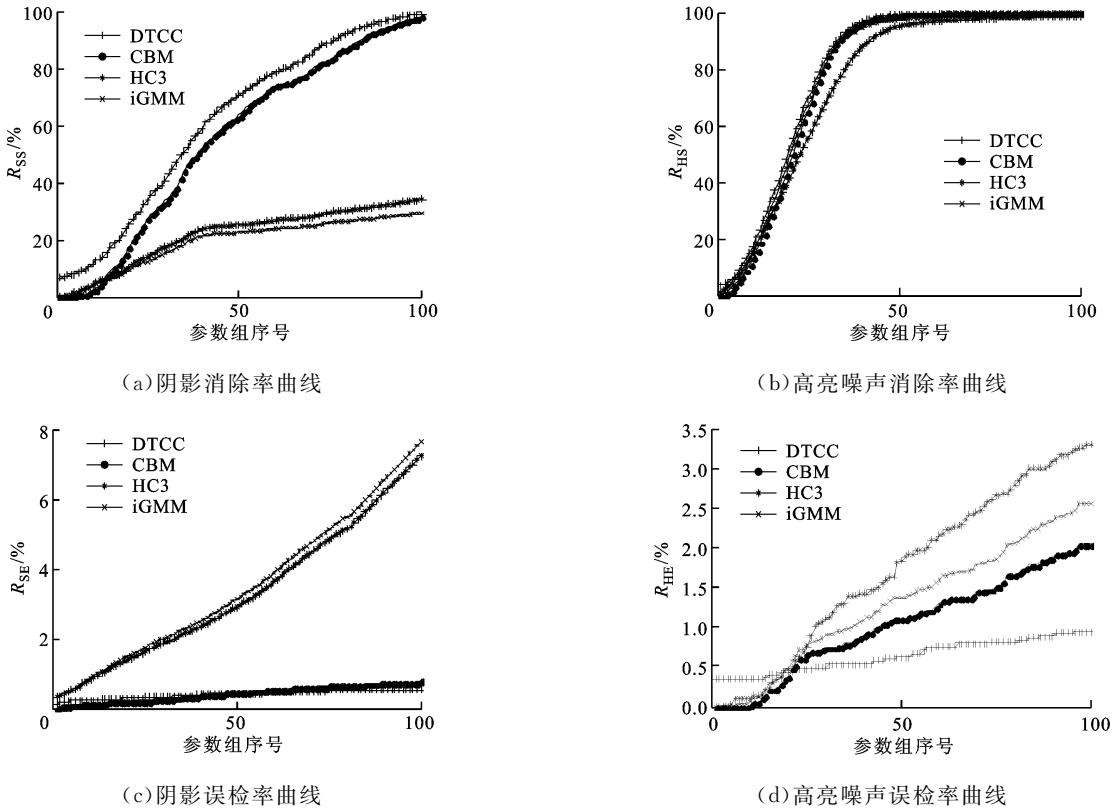


图 3 室外实验中 4 种模型的消除率和误检率性能分析

4 种模型的帧率比较结果为多次实验的平均值,如表 2 所示。结果表明:DTCC 在码本构建和背景减除阶段的实时性是 4 种模型中最优的。

表 2 室内实验中 4 种模型的帧率比较

阶段	帧率/帧·s ⁻¹			
	iGMM	CBM	HC3	DTCC
码本构建		14.535	12.694	19.038
背景减除	8.966	16.148	19.019	20.327

4 种模型对视频第 300 帧的背景减除效果如图 4 所示。图 4 结果表明,iGMM 将运动人体及其阴影同时检测出来,人体、人体地面阴影和人体墙上阴影混合,几乎不能准确区分出运动人体,效果最差;CBM、HC3 和 DTCC 均能正确检测出运动人体,检

测目标基本准确、相对饱满且几乎没有形变,但在阴影和高亮噪声消除方面存在显著差异。HC3 对阴影有一定抑制作用,但仍存在地面阴影和墙上阴影,同时受高亮噪声影响明显;CBM 对阴影有抑制作用,但仍存在墙上阴影和高亮噪声影响;DTCC 对阴影有显著消除效果,且受高亮噪声影响较小,在 4 种模型中效果最理想。

4 种模型对视频第 300 帧的消除率和误检率性能分析如图 5 所示。图 5 结果表明:DTCC 的平均阴影消除率为 79.33%,平均高亮噪声消除率为 86.35%,平均阴影误检率为 18.48%,平均高亮噪声误检率为 0.19%,阴影和高亮噪声消除性能最优,误检率较低。

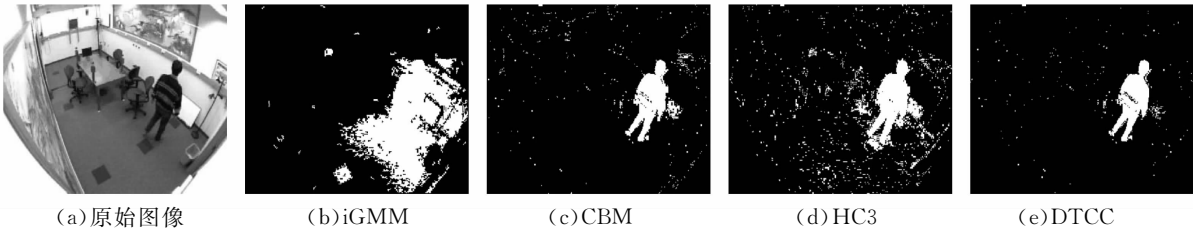
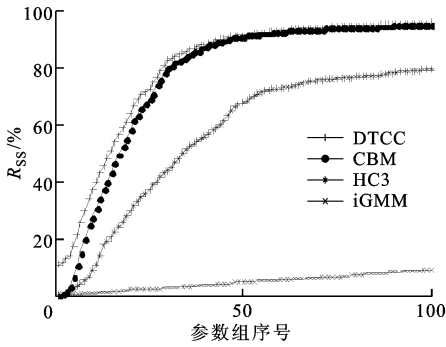
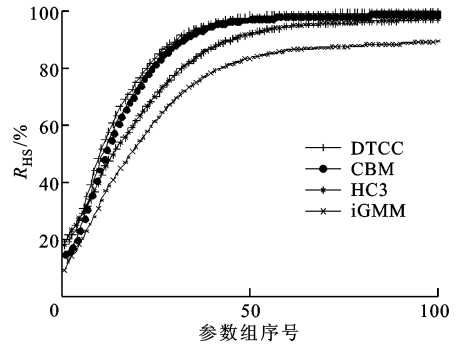


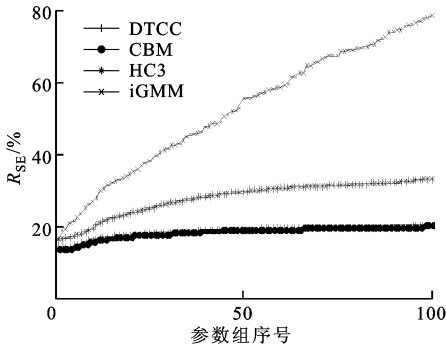
图 4 室内实验中 4 种模型的背景减除效果比较



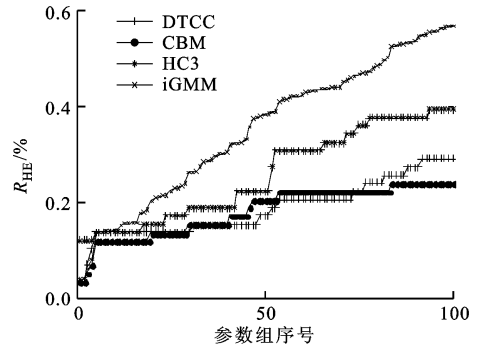
(a) 阴影消除率曲线



(b) 高亮噪声消除率曲线



(c) 阴影误检率曲线



(d) 高亮噪声误检率曲线

图5 室内实验中4种模型的消除率和误检率性能分析

4 结 论

为解决智能视觉监控中前景检测存在阴影和高亮噪声影响的问题,提出一种双梯柱体码本(DTCC)前景检测模型,主要具有3大特点:①采用梯柱体结构匹配阴影低亮度异色度和噪声高亮度异色度的特征,实现了阴影和高亮噪声的有效消除;②定义了一种更精确的颜色模型,实现了背景、阴影和高亮噪声与前景的有效分割;③提出衡量模型性能的8个定量分析指标。实验结果表明,DTCC模型具有较高的实时性、良好的前景检测质量,同时有效消除了阴影和高亮噪声的影响。

参考文献:

- [1] ZHANG Xiayi, LIU Fuqiang, LI Zhipeng. An improved foreground object detection method based on Gaussian mixture models [C]// Proceedings of 2010 International Conference on Multimedia Communications. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 90-93.
- [2] GUAN Yepeng. Spatio-temporal motion-based foreground segmentation and shadow suppression [J]. IET Computer Vision, 2010, 4(1): 50-60.
- [3] KAEWTRAKULPONG P, BOWDEN R. An im-

- proved adaptive background mixture model for real-time tracking with shadow detection [C]// Proceedings of 2nd European Workshop on Advanced Video-Based Surveillance Systems. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001: 149-158.
- [4] 黄进, 金炜东, 秦娜. 基于三维高斯混合码本模型的运动目标检测算法 [J]. 西南交通大学学报, 2012, 47(4): 662-668.
- HUANG Jin, JIN Weidong, QIN Na. Moving objects detection algorithm based on three-dimensional Gaussian mixture codebook model [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2012, 47(4): 662-668.
- [5] 徐胜军, 韩九强, 赵亮, 等. 用于图像分割的局部区域能量最小化算法 [J]. 西安交通大学学报, 2011, 45(8): 7-12.
- XU Shengjun, HAN Jiuqiang, ZHAO Liang, et al. Algorithm of minimizing local region energy for image segmentation [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2011, 45(8): 7-12.
- [6] KIM K, CHALIDABHONGSE T H, HARWOOD D, et al. Real-time foreground-background segmentation using codebook model [J]. Real-Time Imaging, 2005, 11(3): 172-185.
- [7] GALLEGO J, PARDAGRAVES M. Enhanced Bayes-

- ian foreground segmentation using brightness and color distortion region-based model for shadow removal [C] // Proceedings of 17th IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 3449-3452.
- [8] LIU Zhigang, ZHAO Fei, YANG Hua. A new method of moving shadow elimination combining texture and chrominance of moving foreground region based on criterion [C] // Proceedings of 8th World Congress on Intelligent Control and Automation. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2010: 6282-6286.
- [9] PORIKLI F, TUZEL O. Bayesian background modeling for foreground detection [C] // Proceedings of the third ACM International Workshop on Video Surveillance & Sensor Networks. New York, USA: ACM, 2005: 55-58.
- [10] DOSHI A, TRIVEDI M. Hybrid cone-cylinder codebook model for foreground detection with shadow and highlight suppression [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Video and Signal Based Surveillance. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006: 19-19.
- [11] 徐成, 田峥, 李仁发. 一种基于改进码本模型的运动检测算法 [J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(12): 2149-2156.
- XU Cheng, TIAN Zheng, LI Renfa. A fast motion detection method based on improved codebook model [J]. Journal of Computer Research and Development, 2010, 47(12): 2149-2156.
- [12] AMATO A, MOZEROV M G, BAGDANOV A D, et al. Accurate moving cast shadow suppression based on local color constancy detection [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(10): 2954-2966.

(编辑 刘杨)

(上接第21页)

- [3] 殷勤业, 张莹, 丁乐, 等. 协作分集: 一种新的空域分集技术 [J]. 西安交通大学学报, 2005, 39(6): 551-557.
- YIN Qinye, ZHANG Ying, DING Le, et al. Cooperation diversity: a new spatial diversity technique [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(6): 551-557.
- [4] JING Yindi, JAFARKHANI H. Relay power allocation in distributed space-time coded networks with channel statistical information [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011, 10(2): 443-449.
- [5] 吕政, 余志军, 刘海涛, 协作通信中联合信道-网络编码的性能分析与资源分配 [J]. 西安交通大学学报, 2012, 46(4): 83-87.
- LÜ Zheng, YU Zhijun, LIU Haitao. Combination channel of cooperation communication-the performance analysis and resources allocation of the network [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2012, 46(4): 83-87.
- [6] YANG Weiwei, CAI Yueming. Distributed space-time-frequency coding for broadband wireless Relay networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2012, 61(1): 15-21.
- JING Yindi, HASSIBI B. Distributed space-time coding in wireless relay networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2006, 5(12): 3524-3536.
- [8] JING Yindi, JAFARKHANI H. Using orthogonal and quasi-orthogonal designs in wireless relay networks [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2007, 53(11): 4106-4118.
- [9] JING Yindi, JAFARKHANI H. Distributed differential space-time coding in wireless relay networks [J]. IEEE Transactions on Communication, 2008, 56(7): 1092-4118.
- [10] JING Yindi. Combination of MRC and distributed space-time coding in networks with multiple-antenna relays [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2010, 9(8): 2550-2559.
- [11] JING Yindi. Unitary space-time modulation via Cayley transform [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51(11): 2891-2904.
- [12] ACOLATSE K, BAR-NESS Y. Performance analysis of space-time spreading DS-CDMA systems over fast-fading general time-correlated channels [J]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(11): 993-995.

(编辑 刘杨)