

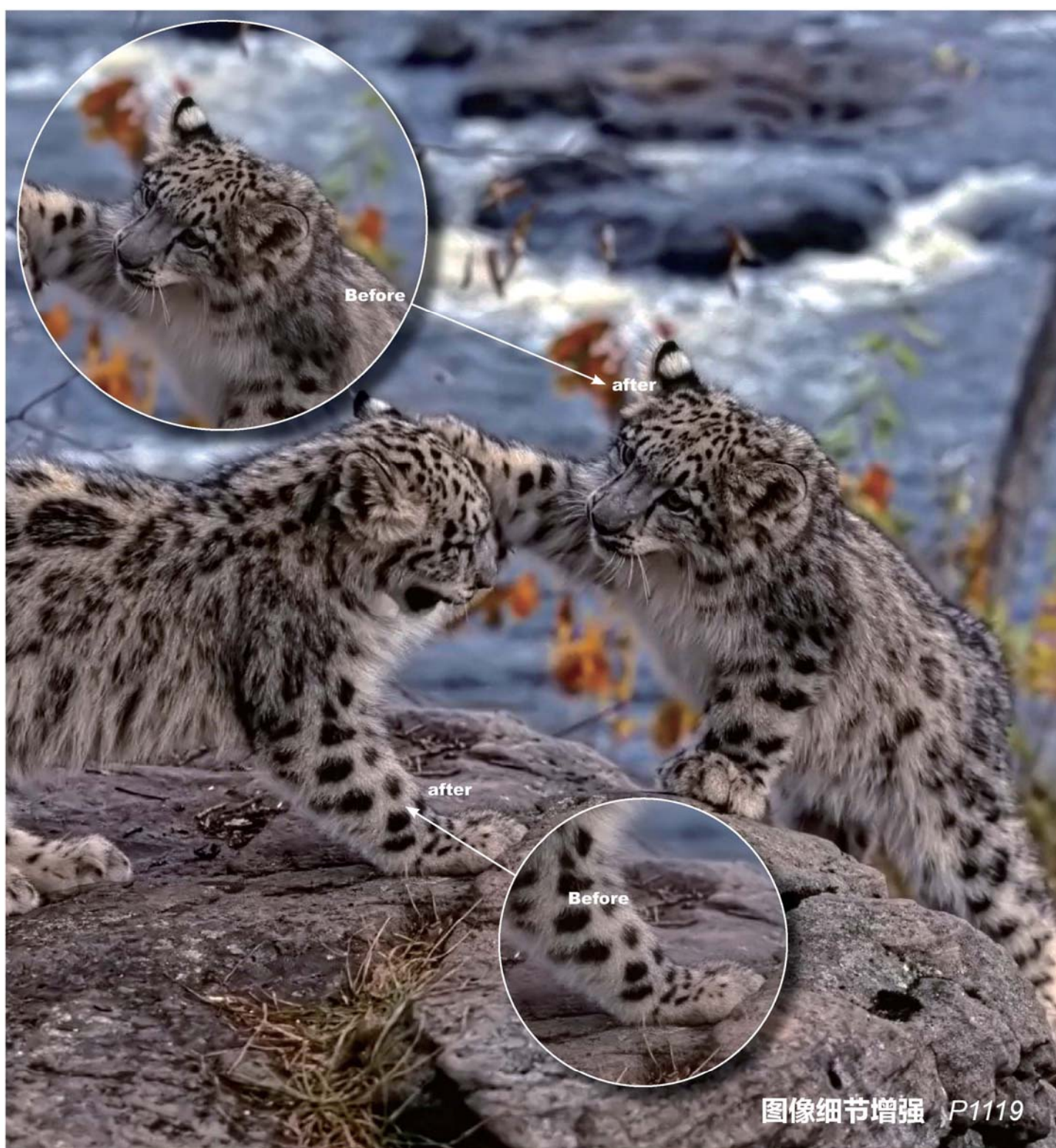


主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2016
09
VOL.21

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像细节增强 P1119



第21卷第9期（总第245期）
2016年9月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

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

主 编 顾行发
编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会
邮政信箱 北京9718信箱
邮 编 100101
电子信箱 jig@radi.ac.cn
电 话 010-64807995
网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司
(邮政信箱: 北京399信箱 邮编: 100048)
印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

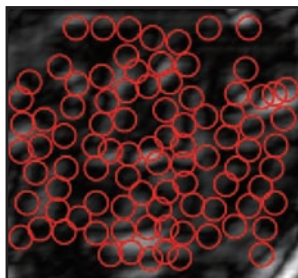
Title inscription: Song Jian Monthly, Started in 1996

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

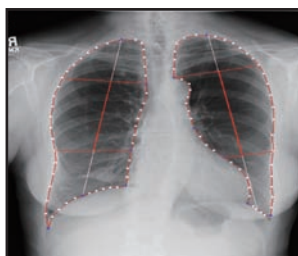
Editor-in-Chief Gu Xingfa
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics
P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China
Zip code 100101
E-mail jig@radi.ac.cn
Telephone 010-64807995
Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Overseas China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)
Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB
ISSN 1006-8961
CODEN ZTTXFZ
国外发行代号 M1406
国内邮发代号 82-831
国内定价 60.00元



基于频率簇模型的人脸识别
(第1166页)



胸部解剖结构回归模型的虚拟双能量X线减影方法(第1247页)



参考1维光谱差异的区域生长种子点选取方法(第1256页)

图像处理和编码

融合梯度信息的改进引导滤波

谢伟, 周玉钦, 游敏 1119

用于屏幕图像编码的索引图快速预测算法

陈规胜, 宋传鸣, 王相海, 刘丹 1127

图像分析和识别

哈希编码结合空间金字塔的图像分类

彭天强, 栗芳 1138

自上而下注意力分割的细粒度图像分类

冯语姝, 王子磊 1147

结合类内和类间距离的可能聚类分割算法

刘璐, 吴成茂 1155

基于频率簇模型的人脸识别

袁姮, 王志宏, 姜文涛 1166

图像理解和计算机视觉

不同池化模型的卷积神经网络学习性能研究

刘万军, 梁雪剑, 曲海成 1178

惰性随机游走视觉显著性检测算法

李波, 卢春园, 金连宝, 冷成财 1191

自适应邻域相关性的背景建模

万剑, 洪明坚, 赵晨丘 1202

实时鲁棒的特征点匹配算法

陈天华, 王福龙 1213

暗通道先验图像去雾的大气光校验和光晕消除

赵锦威, 沈逸云, 刘春晓, 欧阳毅 1221

计算机图形学

定点容量限制质心Power图生成

郑利平, 郜文灿, 李尚林, 曹力 1229

医学图像处理

多相期增强CT中肝内血管的自动分割

袁戎, 石姝玥, 谢庆国 1238

胸部解剖结构回归模型的虚拟双能量X线减影方法

陈胜, 张茗屋 1247

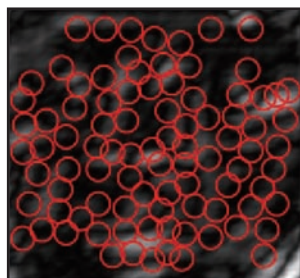
遥感图像处理

参考1维光谱差异的区域生长种子点选取方法

李修霞, 荆林海, 李慧, 唐韵玮, 戈文艳 1256

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Face recognition method based on frequency cluster (P1166)



Virtual dual-energy subtraction method for X-ray radiographs by using regression model based on chest anatomical structure(P1247)



Seed extraction method for seeded region growing based on one-dimensional spectral differences(P1256)

Image Processing and Coding

- Improved guided image filtering integrated with gradient information
Xie Wei, Zhou Yuqin, You Min 1119
- Fast prediction algorithm of index maps for screen image coding
Chen Guisheng, Song Chuanming, Wang Xianghai, Liu Dan 1127

Image Analysis and Recognition

- Image classification algorithm based on hash codes and space pyramid
Peng Tianqiang, Li Fang 1138
- Fine-grained image categorization with segmentation based on top-down attention map
Feng Yushan, Wang Zilei 1147
- Possibilistic clustering segmentation algorithm based on intra-class and inter-class distance
Liu Lu, Wu Chengmao 1155
- Face recognition method based on frequency cluster
Yuan Heng, Wang Zhihong, Jiang Wentao 1166

Image Understanding and Computer Vision

- Learning performance of convolutional neural networks with different pooling models
Liu Wanjun, Liang Xuejian, Qu Haicheng 1178
- Saliency detection based on lazy random walk
Li Bo, Lu Chunyuan, Jin Lianbao, Leng Chengcai 1191
- Background modeling based on adaptive neighborhood correlation
Wan Jian, Hong Mingjian, Zhao Chenqiu 1202
- Real-time robust feature-point matching algorithm
Chen Tianhua, Wang Fulong 1213
- Dark channel prior-based image dehazing with atmospheric light validation and halo elimination
Zhao Jinwei, Shen Yiyun, Liu Chunxiao, Ouyang Yi 1221

Computer Graphics

- Generation method for a centroidal capacity constrained Power diagram with fixed sites
Zheng Liping, Gao Wencan, Li Shanglin, Cao Li 1229

Medical Image Processing

- Automatic hepatic vessel segmentation algorithm in multi-phase contrast-enhanced CT
Yuan Rong, Shi Shuyue, Xie Qingguo 1238
- Virtual dual-energy subtraction method for X-ray radiographs by using regression model based on chest anatomical structure
Chen Sheng, Zhang Mingwu 1247

Remote Sensing Image Processing

- Seed extraction method for seeded region growing based on one-dimensional spectral differences
Li Xiuxia, Jing Linhai, Li Hui, Tang Yunwei, Ge Wenyan 1256

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2016)09-1202-11

论文引用格式: Wan J, Hong M J, Zhao C Q. Background modeling based on adaptive neighborhood correlation[J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(9): 1202-1212. [万剑, 洪明坚, 赵晨丘. 自适应邻域相关性的背景建模[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(9): 1202-1212.] [DOI: 10. 11834/jig. 20160909]

自适应邻域相关性的背景建模

万剑, 洪明坚, 赵晨丘

重庆大学软件学院, 重庆 401331

摘要: 目的 背景建模在计算机视觉领域中是检测、跟踪、行为学习和识别的基础, 被广泛地应用于视频监控的运动目标检测。混合高斯(MOG)和 Codebook 是其中具有代表性的方法, 但它们假设像素点间信息是独立的, 只保留了时域信息而忽略了空域信息, 使得模型对背景的描述局限于时间上的连续性。针对上述问题, 提出了一种自适应邻域相关性的背景建模方法(ANC)。方法 ANC 在保留原始方法时域信息建模特性的同时, 增加对邻域模型的复用, 同时利用计算结果反馈自适应调整邻域区域, 提高对前景值判断的准确性。首先利用原始基于像素点的背景建模方法进行候选前景检测, 然后将候选前景检测结果为前景点的像素与邻域像素点模型进行对比, 若邻域范围存在匹配则为背景点, 若不存在则为前景点; 最后引入像素置信度概念, 自适应调整邻域范围的大小。结果 与 MOG 和 Codebook 相比, 在 changedetection 标准数据库上, ANC 在 ROC(受试者工作特征曲线)和度量值等方面的平均精度和 F-measure 都提高了 7% 以上。结论 自适应邻域相关性的背景建模方法适用于复杂多模态背景, 克服了基于像素点背景建模方法假设的局限性。与普通基于像素点的背景建模方法相比, 具有更好的鲁棒性和抗噪性, 对复杂背景具有更强的适应性。

关键词: 混合高斯模型; Codebook 算法; 背景建模; 自适应邻域; 像素点

Background modeling based on adaptive neighborhood correlation

Wan Jian, Hong Mingjian, Zhao Chenqiu

School of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 401331, China

Abstract: **Objective** Background modeling is widely used to detect moving objects and is the basis for object tracking, behavior learning, and recognition in the field of computer vision. Mixture of Gaussian (MOG) and Codebook are current popular methods based on pixel value. However, these methods usually assume that pixels are independent and retain only time domain information while ignoring spatial information, limiting the model to the continuity of time. This paper proposes an adaptive neighborhood correlation (ANC) background modeling approach. **Method** The ANC approach increases the neighborhood model while retaining the domain information, and considers results to adjust neighborhood area. ANC begins by using the original pixel-based background modeling method to detect the candidate foreground; it then further compares the foreground results of candidate foreground detection with models of neighborhood pixels, with matched pixels considered as background pixels, while others foreground pixels. Finally, pixel confidence is introduced to adjust the neighborhood

收稿日期: 2016-01-05; 修回日期: 2016-05-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2015AA021104); 中央高校基本科研基金项目(CDJZR12090003); 重庆市研究生科研创新项目资助(CYS14034)

第一作者简介: 万剑(1991—), 男, 现为重庆大学软件学院软件工程专业工学硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、模式识别和监控视频分析。E-mail: jian.wan@cqu.edu.cn

Supported by: National High Technology Research and Development Program of China(2015AA021104)

size adaptively. **Result** ANC outperforms MOG and Codebook by more than 7% in average accuracy and F-measure with the ROC curve and other aspects of the measures on change detection standard database. **Conclusion** ANC overcomes the limitations of pixel-based background modeling methods and is suitable for a complex multimodal background. It not only describes the change in pixels accurately, but is also robust and adaptive to the complex background.

Key words: mixture of Gaussian (MOG); Codebook; background modeling; adaptive neighborhood; pixel

0 引言

背景建模是对静态摄像头拍摄的图像序列提取运动目标的常用手段^[1-2], 近些年学者们根据不同的应用场景和方法路线提出了许多不同的背景建模方法, 主要可分为两大类: 基于像素和基于块的背景建模^[3-6]。基于像素的背景建模方法假设每个像素信息独立, 在时域上建立像素模型, 优点是能准确提取运动外形, 但运用场景对算法效果影响较大; 基于块的背景建模是将图像分成小块再分别建模, 优点是保留了时间和空间信息的关联性, 动态背景和局部变化对算法影响较小, 缺点是无法提取精确的目标形状, 对后期目标行为识别和分析等影响较大。目前大部分的背景建模方法都是基于像素点进行建模分析^[7-9], 运用比较广泛的主要包括: 帧差法、中值滤波法、非参数核密度估计、混合高斯(MOG)和Codebook背景建模等。

Elgammal 等人^[10-11]利用概率论中估计未知密度函数的核密度估计提出了一种非参数模型方法, 该方法通过估计分布而不是预知分布来得出核密度函数, 每次都有新的训练样本加入, 对户外复杂背景环境建模可靠性强, 但其计算复杂度过高, 实时性不佳, 并且在光线突变条件下鲁棒性不高。Wren 等人^[12]使用单高斯模型对像素点分布进行建模。这种模型适用于较长时间内运动背景比较单一, 光照强度变化缓慢的单峰环境下具有较好的检测效果。因为只有一个模型, 所以不能很好地将前景和背景分割开来, 容易导致虚报率偏高。为了解决这个问题, Stauffer 等人^[13]提出了 MOG 背景建模方法, 对背景多个模态进行分别建模, 该方法很好地模拟了多峰复杂背景, 缺点是受突变光线影响较大, 动态背景下噪声较多。Kim 等人^[14]提出一种结构化的背景建模方法 CodeBook, 该方法能保留时间的起伏数据, 在处理多峰环境下能得到较好的实验结果, 缺点是在复杂背景情况下, 内存消耗量大且实时性不强。

Barnich 等人^[15-16]提出的一种新的像素级背景建模方法 ViBe, 该算法在模型初始化和更新时考虑了邻域信息, 相对其他算法在抑制虚影和运行速度等方面有较好的效果, 但在复杂背景如晃动树叶情况下效果一般。

分析以上算法不难发现, 这些算法充分考虑了像素点在时域上的连续性, 但像素点间模型信息互相独立, 具体表现为:

1) 方法假设前提都是像素点之间信息不相关, 相互孤立单独建模, 忽略了空间邻域信息的相关性, 对背景像素的描述不够, 受到噪声和背景变化等影响后效果往往比较差。

2) 方法受背景模型的数量影响较大, 背景模型偏多算法的复杂度越高, 内存等资源浪费也更严重; 背景模型偏少, 只能刻画简单背景, 对复杂背景描述力不足。

邻域信息的引入往往能够很好地弥补这缺陷^[17], 图像空间信息存在一种连续性, 像素点间信息即有互异性又有相似性^[18-19]。利用邻域互异性, 对像素点分开建模能保留像素点位置信息的变化规律信息, 能刻画背景的主要信息; 利用邻域相似性可以对互异模型进行补充描述, 共用邻域相似模型, 可以减少像素点上的重复模型, 从而减少建模数量减少内存^[20-21]。

针对以上不足, 提出了一种自适应邻域相关性的背景建模方法(ANC), 对基于像素点建模的背景建模方法的前景检测阶段, 结合像素相邻相似原则^[22], 采用当前像素值与自身模型和邻域范围模型对比的双重决策方式判断是否为前景值, 并针对每个像素建立置信度模型, 对邻域范围的自适应调整。该方法克服了 Codebook、MOG 等基于像素点背景建模而忽略空间邻域信息的局限性, 同时保留了算法原有时域模型的完整性。将基于 MOG 和 Codebook 进行举例说明, 通过实验结果表明, 改进后的方法即使在减少一定的模型数量仍对复杂背景具有很好的适应性、鲁棒性和抗噪性。

1 邻域背景模型分析

1.1 邻域背景模型相似性分析

为了证明邻域背景模型的相似性,对 Goyette 等人^[23]视频序列进行采样实验分析,通过分别对 MOG 和 Codebook 模型的邻域模型相似度进行统计分析,了解基于像素点背景建模模型在空间上的连续性情况。首先对输入的视频序列的前 100 帧作为训练视频帧,分别对视频进行 MOG 和 Codebook 建

模,并在第 100 帧时对像素点模型及像素点的周围 8 邻域像素点模型进行采样分析。为了保持两种算法同一颜色维度上的对比,MOG 采用灰度图像作为输入,Codebook 采用 YUV 格式图像作为输入,最后比较模型码字中与灰度值相近的 Y 成分范围。

通过大量实验分析得到,像素模型与邻域模型分布在不同的区域差异较大。如图 1 所示。通过对比 MOG 各点最高权重的高斯模型分布相似度和 Codebook 每个码字的亮度值范围分布相似度来对比模型。以图像序列 highway^[23]为例主要分为 4 种情

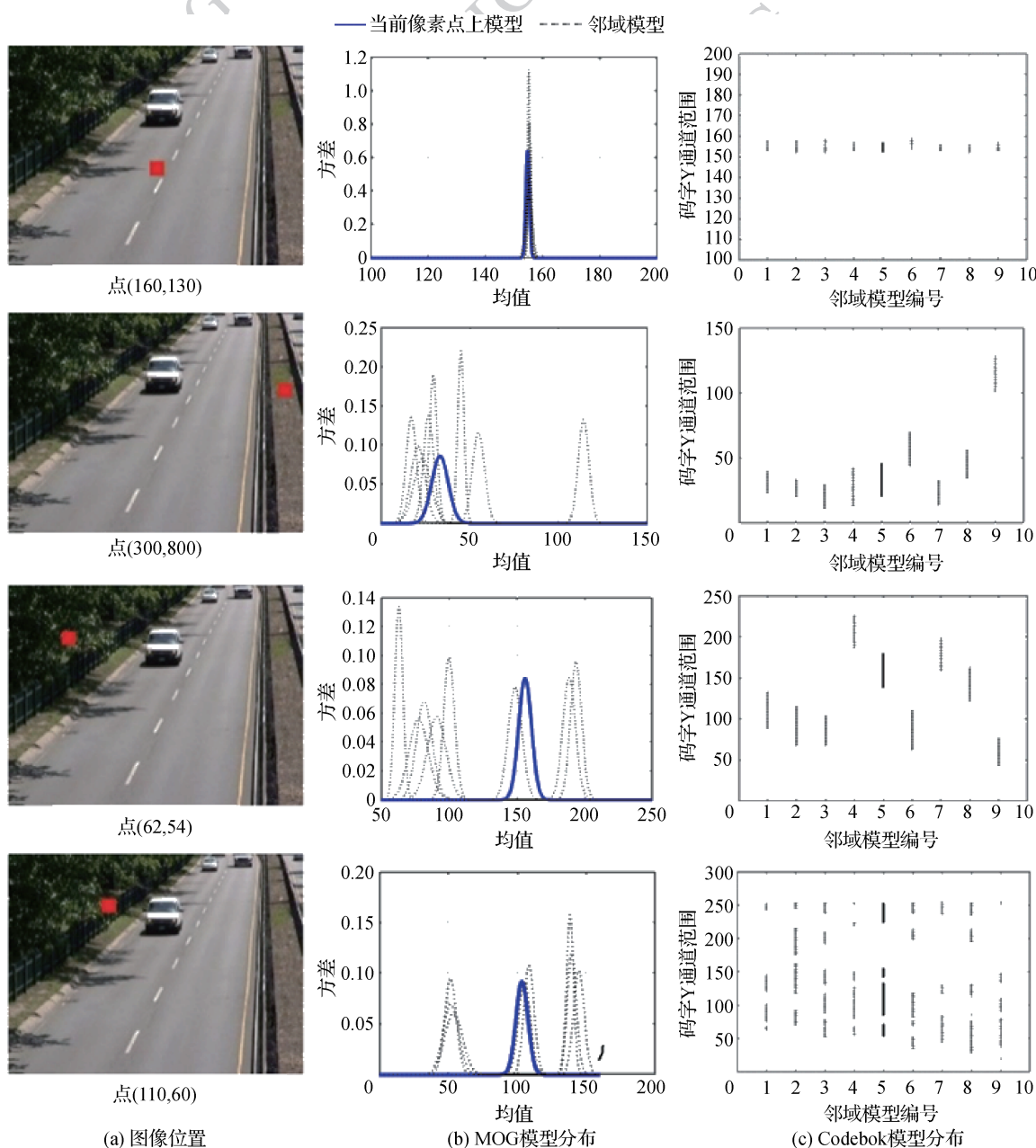


图1 MOG 和 Codebook 模型下图像模型采样

Fig. 1 Sampling of MOG and Codebook models ((a) position in image; (b) distribution of MOG models; (c) distribution of Codebook models)

况:1)坐标点(160,130),背景像素分布在平滑的公路上,周围模型相似性极高;2)坐标点(300,80),该点位于背景纹理较复杂稳定不变的草丛之中,周围模型峰值较为分散但有很多交集;3)坐标点(62,54),像素位于纹理复杂动态抖动的树丛中,周围模型极为分散,噪声频发,邻域背景模型的引入能很好地解决这类问题;4)坐标点(110,60),该点的Codebook模型与周围邻域像素的Codebook模型即存在互异性,又具有互补性;同样可以看出,像素点上固定数量的高斯模型难以描述复杂背景从而出现噪声,相反Codebook却用较多的码字很好地描述了这个背景。

从图1这4组邻域模型可以看出,对于简单背景(如点(160,130)),邻域模型相似度极高,邻域的引入反而会增加计算复杂度;在纹理较为复杂的区域(如点(300,80)(62,54)),邻域模型可以对该像素点模型补充描述,减少噪声发生率;在背景复杂多变的区域(如点(110,60)),邻域像素点模型虽然分散,但相似度高,可以“共享”以节省资源,同时可以解决MOG等因模型数目一定而造成对背景描述不全的问题。

1.2 “共享”邻域背景模型

通常多模态的复杂多变背景区域,基于像素的背景建模方法往往由于背景模型数量有限而导致描述不全,虽然通过自适应调整背景模型个数方法^[24]能够在一定程度上解决这类问题,但模型数量

的增加往往会带来更大的计算量。根据邻域模型的“相邻相似”性,通过对邻域背景模型的“分享”,可以将邻域模型作为当前像素模型的补充模型,在不增加模型数量的同时,解决模型数量不足造成的影响。即使减少对每个像素的模型数量,由于邻域背景模型的补充,每个像素仍拥有较多可用模型。

以MOG算法为例,该算法使用 K (通常取3~5)个高斯模型来表征图像中各个像素点的特征。假设当 $K=3$,且共享邻域范围 $r=1$ 时(即8邻域范围),原始算法每个像素上可用的模型数量固定为3,即最大支持3种模态的复杂背景。此时,每个像素上可用的模型数量为 $3 \times 9 = 27$ 。由于邻域相似性,尽管这27个模型多数存在一定的相似性,但从图1可以看出,在纹理较复杂和动态背景区域较为分散,对复杂背景仍具有较强的描述能力。

为了验证邻域背景模型“共享”的正确性,针对不同的高斯模型数量 K ,对Goyette等人^[23]中动态背景场景overpass视频序列进行实验分析。该场景无运动前景,背景为剧烈抖动的树叶,实验训练帧为前100帧,学习率 $\alpha = 0.005$,邻域半径 $r=1$ 。通过图2可以看出,利用“共享”邻域背景模型能有效地增强背景模型的描述能力。在引入邻域后的MOG方法中当 $K=3$ 时,就可达到原始MOG算法 $K=6$ 的效果,减少了每个像素上的高斯模型数量,且降低检测效果,显著地减少了计算量,提高了算法的性能。

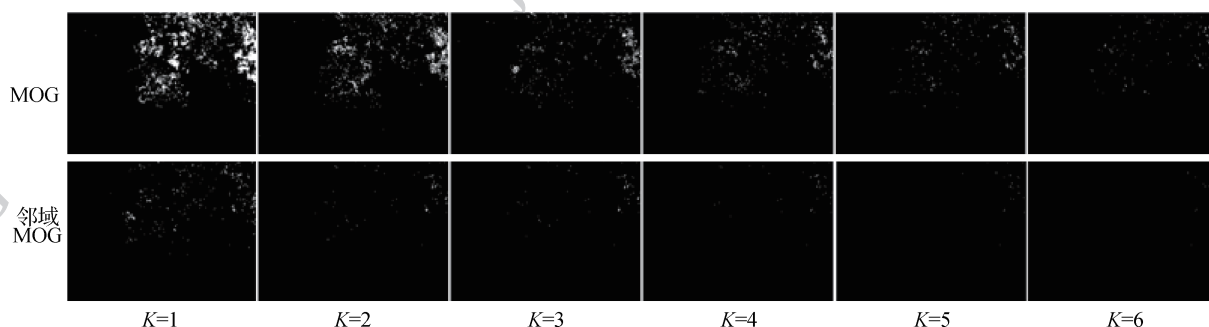


图2 overpass 场景下 MOG 和邻域 MOG 算法在不同 K 值下建模效果

Fig. 2 Results of MOG and MOG-neighborhood under various K values in overpass scene

基于上述观察实验,结合MOG和Codebook算法对背景像素值分布的假设,提出的ANC建模方法,其主要思想是针对原始的基于像素点背景建模算法模型,在前景阶段添加对邻域像素点模型的对比,通过计算在邻域范围内是否存在匹配当前像素

值的模型来确定是否为背景点。同时引入像素置信度概念,自适应调整邻域范围的大小。该方法的优点是引入了邻域信息的相关性,通过自适应扩展邻域范围的方式来“调整”模型的数量,一方面有效地控制了由于复杂背景模型数量增加带来的资源浪费

和计算复杂度;另一方面解决了背景模型不够导致背景描述不全的问题。不仅如此,因为邻域模型的相似性和互补性,“共享”邻域模型可以在保证前景分割效果的前提下,对每个像素点建立更少的模型,既减少了模型数量多带来的计算复杂度和资源的浪费,又增加了像素点上模型的利用率。

2 自适应邻域相关性的背景建模方法

自适应邻域相关性的背景建模方法主要分为两个部分:1)前景检测;2)自适应邻域范围的更新。

前景检测部分,即在前景检测阶段根据原有算法判别法判断输入的未知像素点为前景还是背景,如果是前景,则将该像素点继续和周围邻域的背景模型进行相同的判断,如果均未找到匹配模型时,则为前景,否则为背景。因此将原始背景建模前景检测过程称之为候选前景的检测。自适应邻域范围更新机制,引入像素置信度概念,自适应调整各像素点的邻域范围,提高前景检测的准确性。

结合自适应邻域相关性背景建模流程如图3所示,其中实线部分为基于像素点背景建模算法流程,即候选前景检测流程;点线部分为改进新增部分。

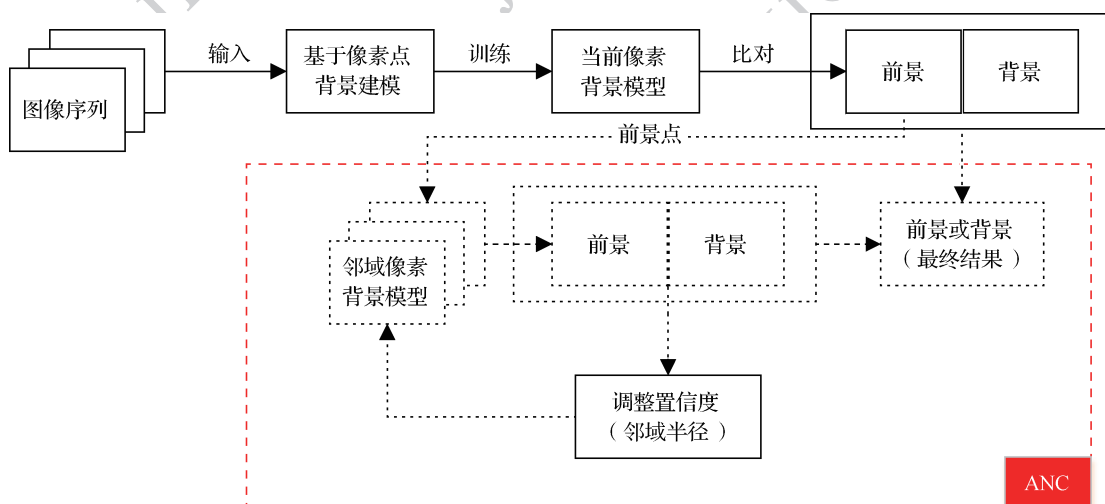


图3 基于像素点背景建模算法流程和改进流程

Fig. 3 The improved flowchart of pixel-based background modeling

2.1 前景检测

本文模型主要是加强了对前景检测决策判别的改进,判别时直接引用邻域模型而不在空间域上单独建立新的模型,这种方法不仅充分提高了模型的利用率,而且在引入空域信息时不带来复杂的计算量。对于输入点 x_{t+1} 判别方法如下:

1) 首先初始化邻域半径 r , 经过训练和更新后, 像素点 x_{t+1} 半径则为 $r_{i,t}$ 。

2) 对图像中每个像素点高斯模型分别按照 $\omega_{i,t}/\sigma_{i,t}$ 从大到小进行排序, 并选取前 B 个高斯模型来代表当前像素点时域分布的最佳描述, 即

$$B = \arg \min_b \left(\sum_{k=1}^b \omega_k > T \right) \quad (0.5 < T < 1)$$

3) 将 x_{t+1} 与对应像素点这 B 个高斯模型进行匹配校验, 如果存在匹配则为背景点; 否则, 标记为待定, 并更新背景模型。

4) 将待定点 x_{t+1} 与周围半径为 r 的邻域范围内像素点的高斯模型匹配校验。如果存在匹配则为背景点, 如果均不存在, 则为前景点。如图4所示, 当 x_{t+1} 所处像素位置的高斯模型不匹配时, 则寻求在邻域范围内继续查找与之匹配的高斯模型。

从判别方法上可以看出, ANC 根据相邻相似原则将邻域的像素模型与自身的像素模型实现共享模式, 从而达到对像素点时域和空域上更好的描述能力, 弥补了 MOG 和 Codebook 等基于像素点建模方法在复杂背景下描述能力不够的不足, 减少背景图像中噪声的影响。

2.2 自适应邻域范围的更新

正如上 2.1 节提到, 模型的数量对直接关系到算法对背景的描述能力。邻域半径越大, 意味着描述能表达的模态信息越多, 反之, 能表达的越少, 但并不是越多越好。如图4所示, $r=2$, 半径 r 越大时,

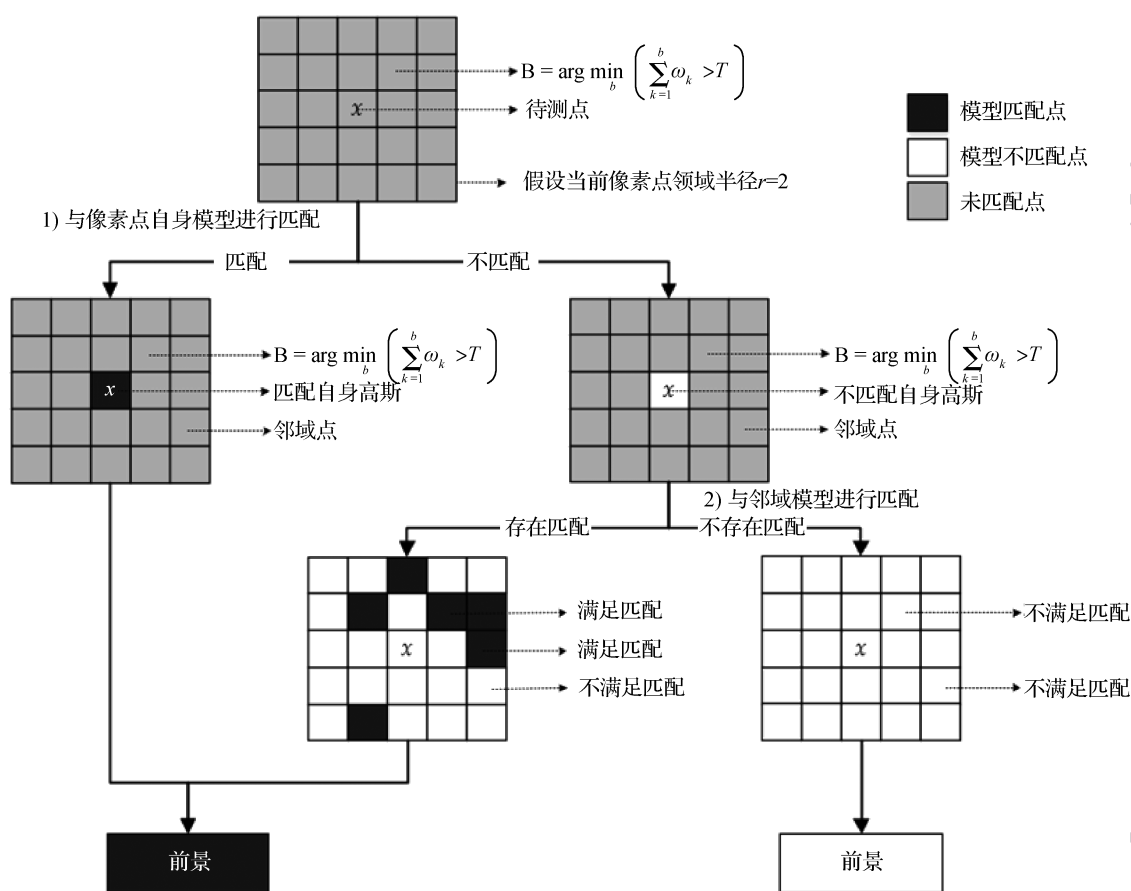


图4 邻域高斯前景检测

Fig. 4 Foreground detection of MOG-ANC

所需比对邻域模型的范围越大,计算复杂度也越大;当半径 r 偏小时,对复杂背景的描述能力又会下降。针对这一现象,结合每个像素点背景复杂程度,自适应的调整邻域半径 r 的大小。

除此之外,通常情况下,动态背景容易导致产生大量噪声,噪声的特征以散列分布特征呈现,如图5(a)中背景噪声往往是由于模型刻画过度,使得检测出的前景图像出现内部空点,缩小半径 r ,就可以减少背景模型数量,让前景目标更完整。如图5(c)前景噪声的出现也从侧面反应出当前的背景模型不足以刻画背景模态信息,该像素的半径 r 的增大能

够进一步利用邻域模型补充时域模型的不足。

结合以上特征,本文设计的自适应邻域半径 r 的更新流程如下:

1) 在算法开始执行第1帧时,初始化每个像素的邻域半径为 r_0 ($r_0 \geq 0$)。

2) 执行前景检测后,检测像素点当前点结果值 $P_{i,t+1}$ 和8邻域点前景点个数 $C_{i,t+1}$ 。

$$0 \leq r_{\text{low}} \leq r_{i,t+1} \leq r_{\text{hi}} \quad (2)$$

r_{low} 和 r_{hi} 分别表示像素点邻域半径的最小下限和最大上限

$$m = 8 - n \quad (3)$$

n ($0 \leq n \leq 7$) 表示当前像素为前景时,8邻域前景数少于 n 时则判定当前像素为噪声;同理, m ($0 \leq m \leq 7$) 表示当前像素为背景时,8邻域背景数少于 n (即 $8 - m$) 时,则判定当前像素为噪声。不难看出, n 是判断当前像素点是否为噪声的阈值,称为噪声阈值。

根据噪声出现情况,可计算出半径增减数 $M(i, t+1)$ 存在判别式

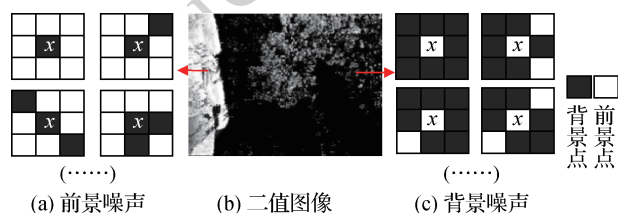


图5 常见噪声

Fig. 5 Various noise ((a) foreground noise; (b) binary image; (c) background noise)

$$M(i, t+1) = \begin{cases} 1 & P_{i,t+1} = FG \text{ 且 } C_{i,t+1} \leq n \\ -1 & P_{i,t+1} = BG \text{ 且 } C_{i,t+1} \geq m \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中, $P_{i,t+1}$ 表示在 i 位置 $t+1$ 时刻前景检测的结果值(FG 表示前景, BG 表示背景); $C_{i,t+1}$ 表示 i 位置 $t+1$ 时刻邻域前景点的个数。

因此,最后得出新邻域半径值

$$r_{i,t+1} = r_{i,t} + M(i, t+1) \quad (5)$$

式中, $r_{i,t}$ 表示在 i 位置像素点 t 时刻邻域半径大小。

3) 将新的 $r_{i,t+1}$ 作为下一帧前景检测的 i 位置像素的邻域范围。

3 实验和结果分析

为了验证本文方法的有效性和实用性,在 matlab R2015b 下实现了本文方法,实验的硬件环境为 Intel Core i3 3.40 GHz, 6 GB 内存,选择 changdetec-tion 数据集^[23]中的不同环境分别进行实验测试,这些测试数据集分别是 baseline 中的 highway, dynamicBackground 中的 overpass 和 cameraJitter 中的 badminton。其中 highway 中包含 320×240 像素 1 700 帧, overpass 中包含 320×240 像素 3 000 帧, badminton 中包含 320×240 像素 1 150 帧。

在进行对比实验时,本文实现了 MOG 和 Codebook 背景建模算法这两种基于像素点建模最具体

表也是目前应用最广泛的方法,以及这两种方法加入自适应邻域后的 ANC 方法。实验效果表明,引入邻域模型信息后得到了更好的效果。

3.1 ROC 曲线分析

ROC(受试者工作特征曲线),又称为感受性曲线(sensitivity curve)是一种反应敏感度和特异性相互关系的一种曲线图,可以直观清晰地反应一个分类算法的优劣。前景检测即可看成一个分类算法,将待测图像分类为前景和背景。本文对原始 MOG、原始 Codebook 算法以及这两种算法的改进算法分别对 highway、overpass、badminton 通过调节算法阈值参数获取了 ROC 曲线数据,其实验结果如图 6 所示。

在 highway 简单场景中,4 种算法无明显差异,但 ANC 方法相比于原始算法对角线有稍稍提高;在复杂场景 overpass 中,ANC 方法 ROC 曲线距离对角线均比原始算法远,曲线下面积明显更大;在抖动场景 badminton 中,场景地标线的消除有明显效果,但地标线与前景目标中白衣人颜色相似,导致 MOG-ANC 方法下前景目标提取不完整,因此 MOG-ANC 方法相比于 MOC 分类效果优势并不明显,但 Codebook-ANC 方法却有较大的改善。由此可知,本文方法在分类效果上要优于原始 Codebook 和 MOG,尤其是在动态背景和抖动摄像头场景中,邻域信息的引入在动态背景下对算法检测效果具有更大的提升。

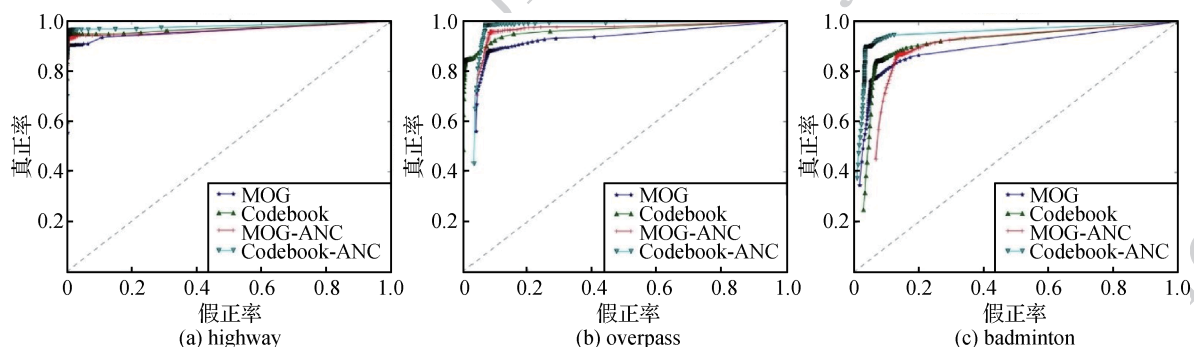


图6 MOG、Codebook 及其改进方法的 ROC 曲线

Fig. 6 ROC curves of MOG, Codebook and the proposed improvements((a) highway; (b) overpass; (c) badminton)

3.2 实际检测效果

在实验检测实验中,4 种算法选用的参数如表 1 所示,训练帧数均为 30 帧。图 7 给出了不同算法的实验结果,在普通 highway 场景中树枝的微微抖动容易产生噪声信息;在室外复杂场景的 overpass 中,

MOG 算法对树叶抖动处理效果十分不佳,误检率高;对于抖动场景 badminton 而言,背景变化更大,球场上的地标线呈现来回抖动,原始算法容易将其检测为前景。而引入邻域信息后,增强了背景模型的描述能力,对抖动区域自适应增大邻域半径起到

表1 算法参数选取

Table 1 Parameters of various methods

算法	参数
MOG	$k=3, \alpha=0.005$
MOG-ANC	$k=3, \alpha=0.005, r_0=2, n=2, r_{hi}=5$
Codebook	$\alpha=0.4, \beta=1.5, \varepsilon=100$
Codebook-ANC	$\alpha=0.4, \beta=1.5, \varepsilon=100, r_0=2, n=2, r_{hi}=5$

了很好的抑制噪声,这也证明了本文对邻域模型“可共享”和“互补性”假设的正确性。

从图7可以看出,ANC方法的优点主要表现在干扰噪声的去除,提高了检测效果。但与传统形态学处理方法不同,传统形态学处理方法前后帧信息独立,实际意义是对检测结果进行“修正”,通过腐蚀膨胀等处理,容易将小的前景目标处理掉,而将较大的错误前景放大,且处理后的前景目标轮廓容易走样。与传统形态学处理方法相比,ANC方法具有以下3个优点:

1) ANC方法并不是对检测结果进行“修正”,主要目的是减少由于模型数量有限导致模型描述能力不足产生的噪声数量,提高在复杂背景下的检测效果。

2) 邻域像素模型不仅包含了时间域上信息,还保留了空间连续性信息。邻域像素模型实际是对邻域区域内像素在时间域上的历史信息描述,通过将候选前景与邻域范围内历史信息进行比对从而降低噪声发生率,这与形态学处理方法只考虑空间连通性的处理方式具有本质的不同,即使是小的前景目标也能

检测出来,对较大的错误前景同样具备抑制效果。

3) 可以理解为,ANC方法是对每个像素建立了不同的、独立的空间模型,该空间模型由邻域范围、邻域像素历史信息两部分组成。该空间模型会随着时间、背景纹理的变化更新出不同的、新的空间模型,能有效地保持前景目标外形轮廓的完整性。

实验中邻域半径是根据场景的不同自动变化的,但对于算法初始化 r_0 宜小不宜大:1) r_0 初始化偏大,前景检测需要比对的模型更多,计算复杂度增大;2) r_0 偏大,即初始化时默认候选前景检测算法对背景的描述力不够,需要邻域信息补充,这与ANC方法假设基于原始算法正确性相违背;3) 初始化 $r_0 \neq 0$,可以让模型初始化有少量的邻域信息,有一定的鲁棒性。图8给出了3个场景下的自适应邻域半径,可以看出,动态背景区域邻域半径较大,而对于动态目标出现的区域邻域半径都较小。半径越小,描述像素点的背景模型越少,对前景分割则越清楚;反之,描述像素点的背景越多,对背景噪声的抑制越明显。在这些场景中,MOG-ANC邻域半径较大的点(即白点)区域更大,这也从侧面反映出MOG在时域上对背景模态描述不足,需要更多的邻域信息进行补充描述,而Codebook能在复杂场景中建立更多的码字来适配多模态背景,对复杂场景描述能力更强,但由于训练的背景不能实时更新容易出现时域模型过时,邻域范围的增大能更好地弥补时域模型的不足。

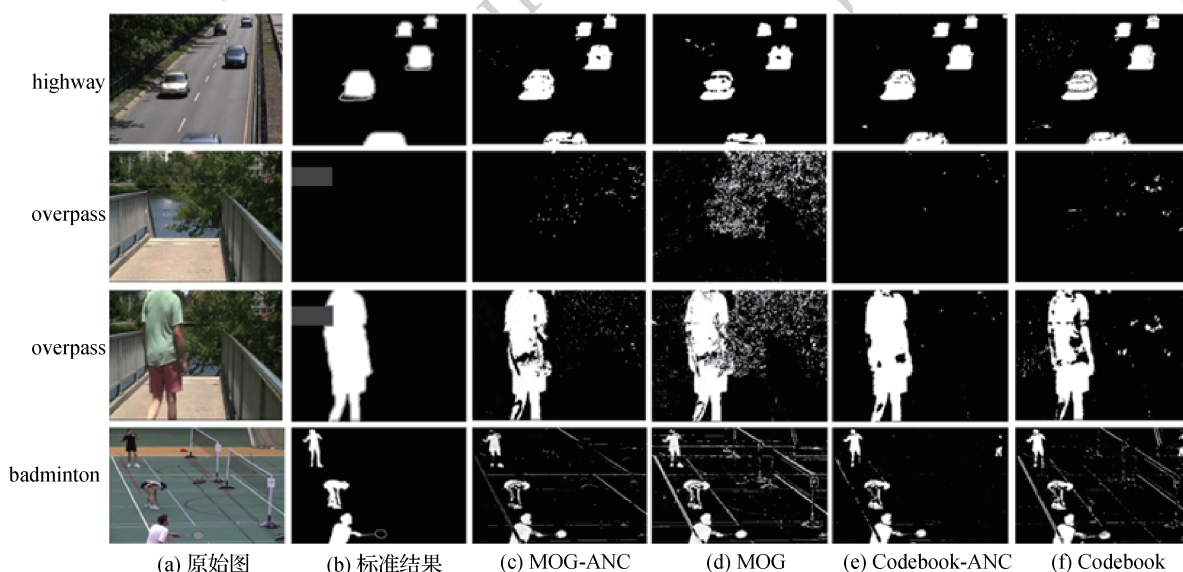


图7 MOG、Codebook及其改进方法的实验结果

Fig. 7 Experimental results of MOG, Codebook and the proposed improvements ((a) original; (b) ground truth; (c) MOG-ANC; (d) MOG; (e) Codebook-ANC; (f) Codebook)

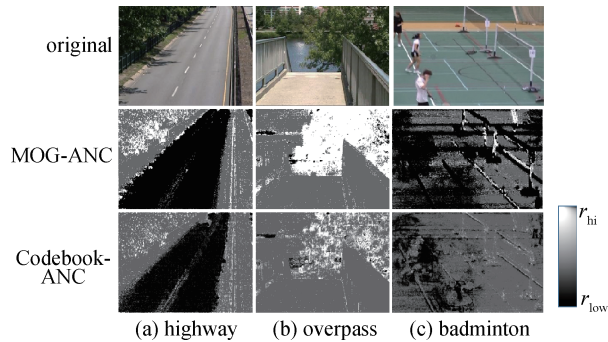


图8 3个场景下的自适应邻域半径

Fig. 8 Adaptive neighbor radius of three scenes
((a) highway; (b) overpass; (c) badminton)

表2列出了算法在这3个场景中一些算法指标的对比,这些指标是区别于ROC分辨分类算法好坏的另一种参考,其中召回率即查全率 $\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN})$, 特指度 $\text{Specificity} = \text{TN} / (\text{TN} + \text{FN})$, 精确度 $\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP})$; F度量 $\text{F-measure} = (2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}) / (\text{Precision} + \text{Recall})$ 。TP为从Precision和F-measure值可以看出,使用本文方法后均有明显的提升。对于Codebook算法而言,背景不能实时更新,背景训练帧适合在无前景环境下进行,而实验中视频highway和badminton均为有前景帧,生成的背景模型中常常包含前景信息而影响值Recall指标。但从整体效果来看,引入ANC方法后,对算法各指标均有较大的提升,效果明显优于原始算法。

表2 算法指标对比

Table 2 Comparison of metrics using various algorithms

算法	平均值			
	Recall	Specificity	Precision	F-measure
MOG	0.827 6	0.960 7	0.616 2	0.706 5
MOG-ANC	0.910 5	0.984 6	0.705 9	0.795 2
Codebook	0.854 4	0.979 5	0.638 0	0.730 5
Codebook-ANC	0.841 5	0.992 7	0.777 4	0.808 2

3.3 参数讨论

通过噪声阈值 n 可以判定某像素是否为噪声,当 n 太小,只能判别单点噪声,噪声覆盖率小;反之,当 n 太大,容易将前景目标边缘误判为噪声。图9给出了原始MOG和Codebook算法在3个场景中前景及背景噪声团块大小 b_{noise} 的统计结果图。从图9中可以看出, $b_{\text{noise}} \leq 3$ (即 $n = 2$) 覆盖了近75%的噪

声,同时避免了 n 太大对前景边缘的影响。

邻域半径 r 能根据当前像素噪声发生情况自适应调节直到达到平衡值, r_{low} 和 r_{hi} 则分别是 r 的下限和上限阈值。当 r 较小时,引入邻域信息也较少,但当 r 较大时,不仅会增大计算复杂度,而且超过相邻相似原则的相邻性。通常在静态场景中大部分像素模态较为单一,不引入邻域信息的原始算法就可达到较好的效果,即设置 $r_{\text{low}} = 0$ 。

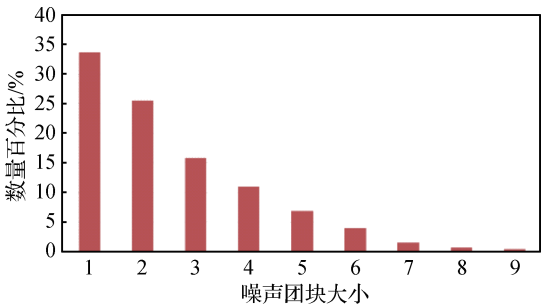


图9 8邻域噪声团块大小分布百分比

Fig. 9 Distribution percentage of noise blob size within eight neighborhood range

针对MOG和Codebook两种算法在不同场景下对背景噪声和与之匹配的邻域模型所在半径 $\bar{r}$ 进行统计分析。首先将原始算法的结果图与真实结果图相减提取大于0的所有像素即为背景噪声像素;将这些背景像素与周围邻域模型进行对比,采用 r 从1开始递增的形式进行对比,直到找到与之匹配的半径 $\bar{r}$, $\bar{r}$ 称之为噪声匹配半径。如图10和图11分别是MOG和Codebook在不同场景下噪声匹配半径的分布百分比,匹配半径在 $\bar{r} \leq 3$ 的范围内能消除90%左右的背景噪声,而在 $\bar{r} \geq 5$ 几乎只占少部分。并且当 $\bar{r}$ 较大时,模型不具备相邻相似性,因而通常 r_{hi} 取3~5。

本文方法并没有结合每个算法的特性分别设计,只是针对一类基于像素点背景建模方法的改进,在邻域半径的反馈训练中,可以根据不同算法的特性自适应的调整算法参数、阈值等,以达到更好的实验效果。另外,在邻域的自适应范围模型上并没有考虑噪声在场景中出现形式的不同特征加入考虑之中,仅仅通过8邻域范围内前景数和背景数作简单对比来估计是否噪声点,容易导致训练邻域半径结果误差大,因此在检测效果中容易出现目标空洞现象。因此邻域在大多数为点噪音的情况下,效果往往比较好;但在团块噪音比较多的情况下,效果稍

差。并且邻域范围可能不以某个半径区域出现,“可共享”的区域往往是不规则区域或者更相似的点具有更高的权重比等,在以后的工作中将继续修改自适应邻域范围的选择方式以达到最好的实验效果。

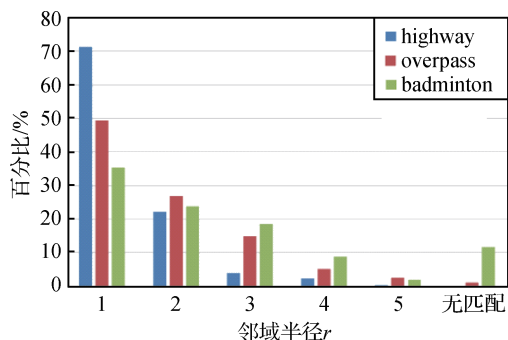


图 10 MOG 噪声匹配半径的分布百分比

Fig. 10 Distribution percentage of MOG noise matching radius

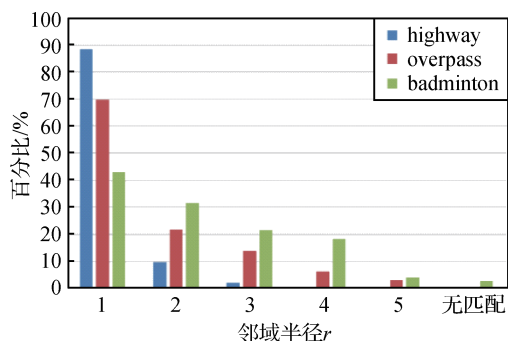


图 11 Codebook 噪声匹配半径的分布百分比

Fig. 11 Distribution percentage of Codebook noise matching radius

4 结 论

本文提出的一种自适应邻域相关性的背景建模方法,结合 MOG、Codebook 等基于像素点建立的时间背景模型,有效地弥补这些方法的不足,从而更准确地描述了复杂动态的背景。首先,结合时间信息和空间邻域信息的双重决策,增强了对动态背景的鲁棒性;其次,自适应生成邻域相关性的区域半径,有效地抑制了背景噪声,提高了前景检测的精确度。实验结果表明,该方法检测率高、适应性更强,且具有较好的抗噪性,适用于复杂动态的背景。由于在原始方法基础上引入了空间邻域模型,增加了模型的复杂度,导致模型更新和前景检测阶段时间延长,

但仍能达到实时性的要求。因此,下一步将进一步研究改善空间邻域模型的更新策略和比对方式,降低模型复杂度,提高前景检测速度。

参考文献 (References)

- [1] Díaz R, Hallman S, Fowlkes C C. Detecting dynamic objects with multi-view background subtraction[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. Sydney, NSW: IEEE, 2013: 273-280. [DOI: 10.1109/ICCV.2013.41]
- [2] Mumtaz A, Zhang W, Chan A B. Joint motion segmentation and background estimation in dynamic scenes[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Columbus, OH: IEEE, 2014: 368-375. [DOI: 10.1109/CVPR.2014.54]
- [3] Kim H, Ku B W, Han D K, et al. Adaptive selection of model histograms in block-based background subtraction[J]. Electronics Letters, 2012, 48(8): 434-435. [DOI: 10.1049/el.2011.4068]
- [4] Guo J M, Hsu C S. Cascaded background subtraction using block-based and pixel-based codebooks[C]//Proceedings of the 20th International Conference on Pattern Recognition. Istanbul: IEEE, 2010: 1373-1376. [DOI: 10.1109/ICPR.2010.339]
- [5] Wei Z, Jiang S Q, Huang Q M. A pixel-wise local information-based background subtraction approach[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Hannover: IEEE, 2008: 1501-1504. [DOI: 10.1109/ICME.2008.4607731]
- [6] Gallego J, Pardàs M, Haro G. Bayesian foreground segmentation and tracking using pixel-wise background model and region based foreground model[C]//Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Image Processing. Cairo: IEEE, 2009: 3205-3208. [DOI: 10.1109/ICIP.2009.5414380]
- [7] Chen S Y, Zhang J H, Li Y F, et al. A hierarchical model incorporating segmented regions and pixel descriptors for video background subtraction[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2012, 8(1): 118-127. [DOI: 10.1109/TII.2011.2173202]
- [8] Jodoin J P, Bilodeau G A, Saunier N. Background subtraction based on local shape[J]. arXiv preprint arXiv: 1204.6326, 2012.
- [9] Jiang S J F, Muchtar K, Lin C Y, et al. Background subtraction by modeling pixel and neighborhood information[C]//Proceedings of the Signal & Information Processing Association Annual Summit and Conference, 2012 Asia-Pacific. Hollywood, CA: IEEE, 2012: 1-5.
- [10] Elgammal A, Harwood D, Davis L. Non-parametric model for

- background subtraction [C]//Proceedings of the 6th European Conference on Computer Vision. Dublin, Ireland: Springer, 2000: 751-767. [DOI: 10.1007/3-540-45053-X_48]
- [11] Elgammal A, Duraiswami R, Harwood D, et al. Background and foreground modeling using non-parametric kernel density estimation for visual surveillance[J]. Proceedings of the IEEE, 2002, 90(7): 1151-1163. [DOI: 10.1109/JPROC.2002.801448]
- [12] Wren C R, Azarbayejani A, Darrell T, et al. Pfister: real-time tracking of the human body[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 780-785. [DOI: 10.1109/34.598236]
- [13] Stauffer C, Grimson W E L. Adaptive background mixture models for real-time tracking[C]//Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Fort Collins, CO: IEEE, 1999, 2: 2246. [DOI: 10.1109/CVPR.1999.784637]
- [14] 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. [DOI: 10.1016/j.rti.2004.12.004]
- [15] Barnich O, Van Droogenbroeck M. ViBe: a universal background subtraction algorithm for video sequences[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(6): 1709-1724. [DOI: 10.1109/TIP.2010.2101613]
- [16] Barnich O, Van Droogenbroeck M. ViBe: a powerful random technique to estimate the background in video sequences[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Taipei, China: IEEE, 2009: 945-948. [DOI: 10.1109/ICASSP.2009.4959741]
- [17] Noh S J, Jeon M. A new framework for background subtraction using multiple cues[M]//Computer Vision-ACCV 2012. Berlin Heidelberg: Springer, 2013: 493-506. [DOI: 10.1007/978-3-642-37431-9_38]
- [18] Chu Y, Chen J, Chen X. An improved ViBe background subtraction method based on region motion classification[C]//Proceedings of the SPIE 8918, MIPPR 2013: Automatic Target Recognition and Navigation. Wuhan, China: SPIE, 2013: 891801-891801-5. [DOI: 10.1117/12.2030866]
- [19] Chen Y Y, Wang J Q, Lu H Q. Learning sharable models for robust background subtraction[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Turin: IEEE, 2015: 1-6. [DOI: 10.1109/ICME.2015.7177419]
- [20] Lu B, Liu H X, Zhang Q. The research of moving object detection based on complex background[C]//Proceedings of the International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer. Jilin: IEEE, 2011: 1366-1369. [DOI: 10.1109/MEC.2011.6025724]
- [21] Goyette N, Jodoin P M, Porikli F, et al. Change detection. net: a new change detection benchmark dataset[C]//Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. Providence, RI: IEEE, 2012: 1-8. [DOI: 10.1109/CVPRW.2012.6238919]
- [22] Mason M, Duric Z. Using histograms to detect and track objects in color video[C]//Proceedings of the 30th Conference on Applied Imagery Pattern Recognition Workshop. Washington D C, USA: IEEE, 2001: 154-159. [DOI: 10.1109/AIPR.2001.991219]
- [23] Shimada A, Arita D, Taniguchi R. Dynamic control of adaptive mixture-of-Gaussians background model[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Video and Signal Based Surveillance. Sydney, Australia: IEEE, 2006: 5. [DOI: 10.1109/AVSS.2006.44]
- [24] Wang Y Z, Liang Y, Pan Q, et al. Spatiotemporal background modeling based on adaptive mixture of gaussians[J]. Acta Automatica Sinica, 2009, 35(4): 371-378. [王永忠, 梁彦, 潘泉, 等. 基于自适应混合高斯模型的时空背景建模[J]. 自动化学报, 2009, 35(4): 371-378.] [DOI: 10.3724/SP.J.1004.2009.00371]