

文章编号: 1672-8785(2018)05-0042-07

基于聚合通道特征的红外行人检测方法

石永彪^{1,2} 张 湧²

(1. 中国科学院大学, 北京 100049;

2. 中国科学院上海技术物理研究所红外探测与成像技术重点实验室, 上海 200083)

摘 要: 基于红外图像的行人检测技术在夜间场景监控、汽车夜间辅助驾驶等相关领域具有重要的作用, 然而受红外图像分辨率低、信噪比高等因素影响, 当前的很多方法性能不佳。提出了一种基于图像特征通道的红外行人检测算法。利用快速特征金字塔技术在红外图像上进行了滑动窗口检测。实验结果证明, 相对于其他常规算法, 该算法在实时性和鲁棒性上都有很大的提升。

关键词: 红外图像; 行人检测; 快速特征金字塔

中图分类号: TP18 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.05.008

Algorithm for Infrared Pedestrian Detection Based on Aggregated Channel Features

SHI Yong-biao^{1,2}, ZHANG Yong²

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Key Laboratory of Infrared System Detection and Imaging Technology, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: The pedestrian detection technology based on infrared images has played an important role in night surveillance, night-time driver assistance and other areas. However, because of low resolution and high signal-to-noise ratio, most of the existing infrared pedestrian detection methods have poor performance. An alternative infrared pedestrian detection algorithm based on image feature channels is proposed. In the method, fast feature pyramids are used to implement sliding window detection in infrared images. The results show that compared with other conventional algorithms, this algorithm is improved greatly in real-time performance and robustness.

Key words: infrared image; pedestrian detection; fast feature pyramids

0 引言

红外热成像技术不受照明条件影响且穿透能力强, 在全黑夜间、雨雪天气等人眼能见度

较低的情况下有很好的夜视效果, 因此被广泛用于夜间场景监控、汽车辅助驾驶等众多领域。在这些应用场景中红外行人检测技术具有重要的作用, 并且受到了研究者的广泛关注。

收稿日期: 2018-03-23

作者简介: 石永彪(1989-), 男, 山东菏泽人, 博士生, 主要从事红外光电系统、红外图像处理研究。

E-mail: hainu2008@163.com

然而相对于可见光领域的行人检测, 由于缺少颜色和纹理等信息, 基于红外图像的行人检测系统的性能依然有待提升。

类似于可见光领域的行人检测, 基于红外图像的行人检测也分为两个部分: 特征提取和分类识别。梯度方向直方图(Histograms of Oriented Gradient, HOG)特征结合线性支持向量机(Linear Support Vector Machines, SVM)分类器的行人检测方法首次由 Dalal 等^[1]提出, 并在可见光领域表现出了优异的性能。HOG 特征由于具有较好的鲁棒性, 被广泛用于红外行人检测上, 并且出现了一些基于 HOG 的变种特征。OMalley 等^[2]较早使用 HOG 特征实现了远红外视频序列的行人检测, 此后 Patrick 等^[3]组合 HOG 以及局部二值模式(Local Binary Patterns, LBP)特征训练 SVM, 获得了更好的检测效果。红外热图像一个明显的特征是行人一般比背景更亮, 结合图像亮度信息的位置, Baek 等^[4]将 $T\pi$ HOG 算子用于描述红外行人, 使用自适应 kernel SVM 分类器取得了比 HOG+SVM 优异的性能。目前该检测框架以 HOG 及其改进特征为基础的检测方法的检测速度很难满足实时性的需求, 在综合考虑算法鲁棒性和实时性的前提下, Dollar 等提出了聚合通道特征(Aggregated Channel Features, ACF)检测框架。该检测框架在当前特征统计学习的算法中有很出色的性能。

本文在分析聚合通道特征检测框架的基础上, 提出了针对红外行人检测的改进方法。用

改进的 CENTRIST 描述子结合其他通道特征, 实现了一个鲁棒有效的检测系统。实验结果表明, 该方法比常规的算法具有更好的性能。

1 相关研究基础

1.1 通道特征的选择

Dollar 等从特征描述的角度提出了积分通道特征^[5]的方法, 该方法对目标检测的精度和速度都有很大改善。在可见光的行人数据集 INRIA^[1]、Caltech^[6]上经过大量特征通道组合实验, 最终表明使用颜色通道 LUV、梯度幅值 grad 以及 6 个梯度方向组合的特征可获得出色的检测效果。图 1 展示了各个特征通道的空间权重分布, 偏向红色代表权重高, 偏向蓝色代表权重低。

1.2 快速图像特征金字塔

快速特征金字塔方法^[7]的主要思想是利用图像已有尺度的特征估算其邻近尺度的特征, $R(I, s)$ 表示图像 I 使用尺度 s 缩放因子进行重采样后的结果。假设给定图像 I 的特征 $C = \Omega(I)$, 那么仅使用 C 就可预测新的尺度 s 对应的特征图像, 公式表述为

$$C_s \approx R(C, s) \cdot s^{-\lambda} \quad (1)$$

式中, λ 值是通过训练数据估计得到的由图像的幂指定律特性得出的经验值, 使用传统的计算方法是首选缩放图像 I 为 I_s , 然后计算缩放后的图像特征 $C_s = \Omega(I_s)$ 。两种方法的示意图如图 2 所示。

基于特征估计提出的快速构建特征金字塔

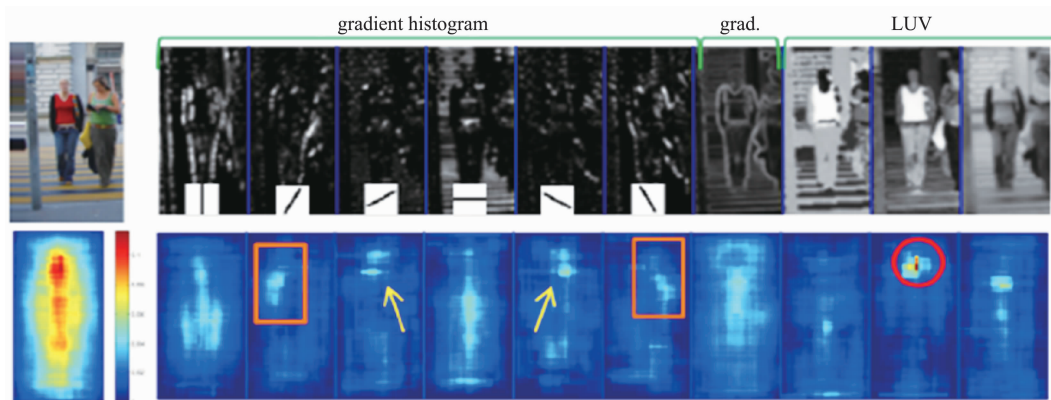


图 1 特征通道以及权重可视化图^[5]

的方法是这样构建的:快速特征金字塔只在每个倍频(octave)内重采样图像计算特征图像,每个 octave 之间尺度对应的特征使用特征通道缩放的方法进行估计,这样在构建精细特征金字塔的同时就显著减少了计算时间。在构建过程中,先计算出原图 1/2 和 1/4 倍的降采样图像,并针对尺度 1、1/2、1/4 提取通道特征,其余尺度的通道特征由已计算好的特征近似估算。图 3 是与传统计算方法的对比。对于输入图像,分别求取对应的不同通道特征,将每个通道特征图分成 4x4 的小块,对每个小块进行

求和,将其作为训练分类器的特征。

Dollar 结合积分通道特征和快速特征金字塔的方法提出了聚合通道特征^[7](Aggregated Channel Features, ACF)的检测框架。目前 ACF 检测框架的鲁棒性和实时性在当前传统机器学习行人检测算法中处于领先水平,并且在红外图像的行人检测中也取得了很好的效果^[8, 9]。

2 基于通道特征的红外行人检测算法

本文所提出的红外行人检测系统以上一节介绍的框架为基础,并针对红外图像中行人的

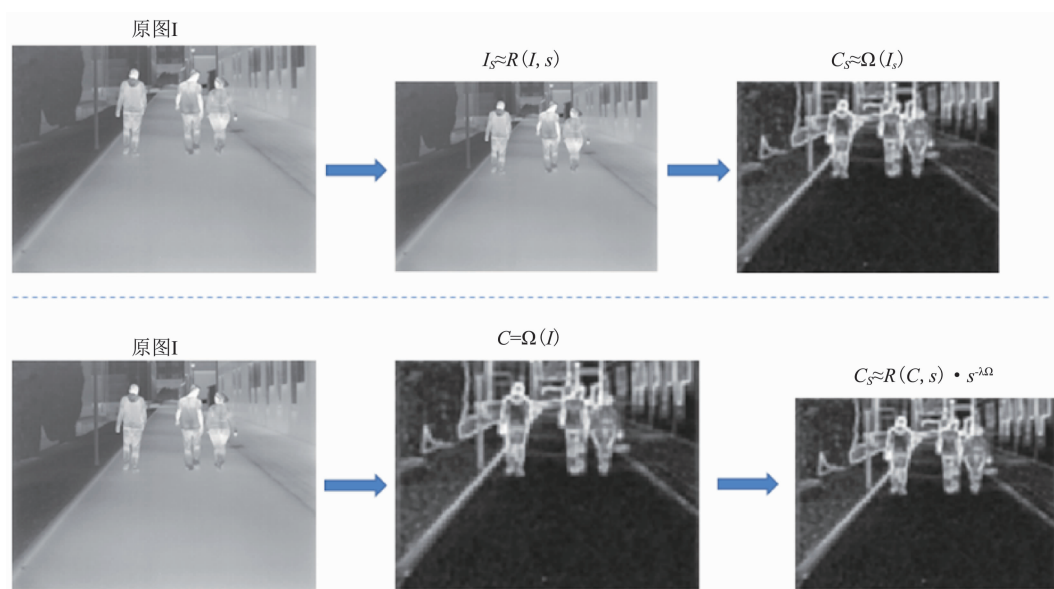


图 2 多尺度特征计算方法对比

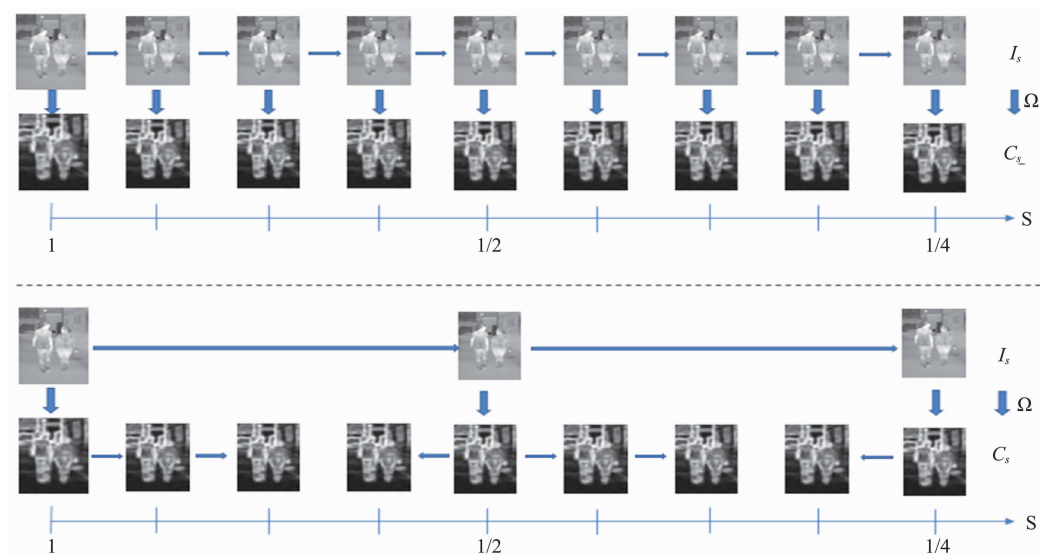


图 3 快速特征金字塔构建示意图

特征进行了改进。在自己建立的红外行人数据集上进行了测试, 相关的试验步骤和参数将在下文详细介绍。

2.1 红外行人检测数据库

为构建自己的红外行人数据集, 使用搭建的车载热成像夜视仪样机采集了大约 3 h 的夜间道路场景的视频序列, 其分辨率是 384×288 , 帧率为 25fps。标记了 500 张正样本图片, 取其中的 300 张构建训练集, 其余的 200 张用于测试集; 标注过程中以直立的未严重遮挡的行人作为主要目标, 标记的信息中包含 1486 个单独行人。筛选其中不含任何行人的 2000 张图片作为负样本集, 获取负样本时从这些图片中随机截取, 所构建的样本集示例图如图 4 所示。

2.2 改进的红外行人检测算法

针对红外行人检测处理没有颜色通道特征可用的问题, 选择了灰度图、梯度幅值、梯度

方向等特征通道的组合。检测时, 针对滑动窗口的特征描述, 将各个通道对应的特征组合在一起, 如图 5 所示。

对于红外图像中的行人, 除了亮度信息十分明显外, 目标的轮廓线索是极具区分度且非常有用的信息。CENTRIST 描述子使用相邻像素的差值符号描述轮廓。相邻像素的差值符号是轮廓表示的关键信息, 相对而言幅值并不是很重要。CENTRIST 的计算过程是首先对获取的图像计算 Sobel 边缘图像, 然后进行像素的 Census Transform (CT) 变换, 最后对差值符号进行编码。CT 变换是针对图像局部区域的一种变换, 将某一像素点与其周围像素 (比如八邻域) 点灰度值进行比较; 如果中心像素值大于或等于其邻域中的某个像素值, 对应的位置值为 1, 否则设为 0。然后将比较得到的邻域像素值以一定顺序映射为比特串, 转换为 $[0, 255]$ 间的十进制数, 该值就是中心像素的

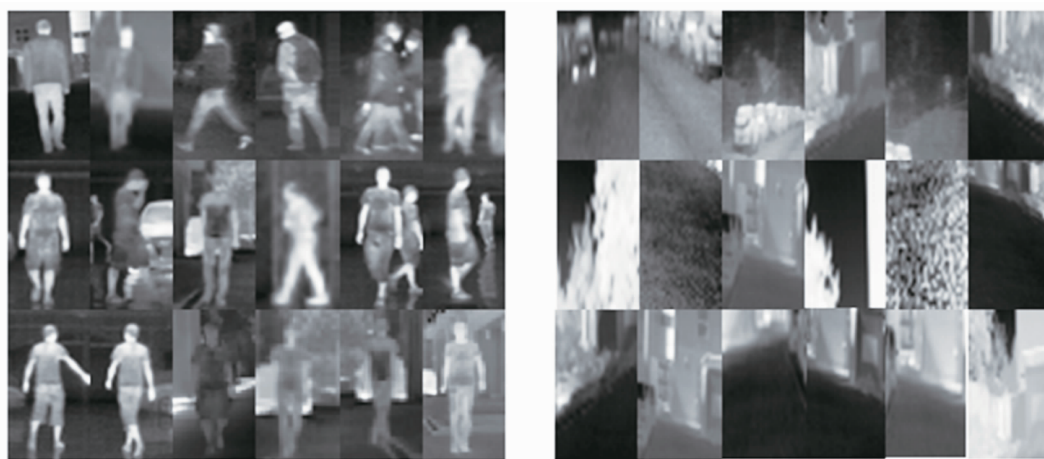


图 4 红外行人数据库的示例图

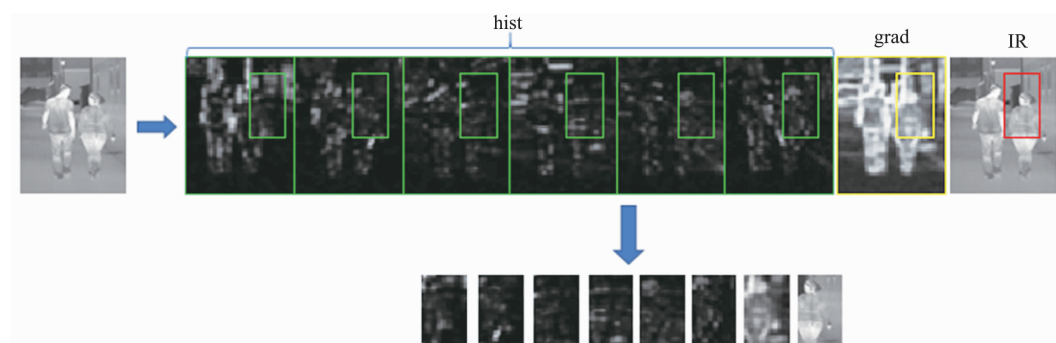


图 5 红外行人检测系统特征通道

CT 值。

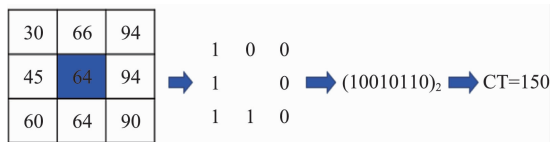


图 6 CT 变换示意图

CENTRIST 描述子就是 CT 值的统计直方图。通常将用于检测的窗口分成互不覆盖的小块 Cell，然后由相邻的 2×2 个 Cell 组成一个大块 Block，每个 Block 的维度是 256，Block 在窗口中的滑动步长一般取小块的像素个数，通过将不同 Block 内的 CT 直方图合并，可获取 CENTRIST 描述子，计算的示意图如图 7 所示。

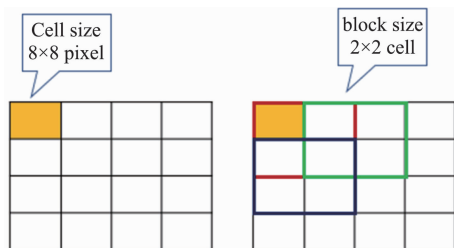


图 7 CENTRIST 特征计算示意图

本文提出了将轮廓描述子用于特征通道的行人检测，使用多特征联合的方式加强对红外图像中行人目标描述能力，以提高检测的精度。

2.3 实验结果和分析

训练时选择模板的尺寸为 $[64, 32]$ 。训练开始时，使用样本库中的 1000 个正样本和 3000 个负样本，由训练组合深度为 2 的决策树组成 Adaboost 检测器。为了提高分类器的性能，训练过程中自举三次，每次新增 3000 个负样本难例。第一轮训练 32 个弱分类器，后面依次为 128 个、512 个。最后，将前面所有样本集合起来，训练最终的由 2048 个弱分类器组成的强分类器。

测试时，我们选择了 CVC 测试库^[10]和自己创建的测试库。这样既能够验证算法的检测性能，又能对算法的泛化能力进行测试。本文实验中除了使用红外图像的 6 个梯度方向通道

Hist、1 个梯度幅值通道 grad 和 1 个强度值通道 T 外，还加入了轮廓描述算子 CENTRIST 特征，并在上一节所介绍的两个红外行人检测库上分别对不同的通道组合进行了测试。

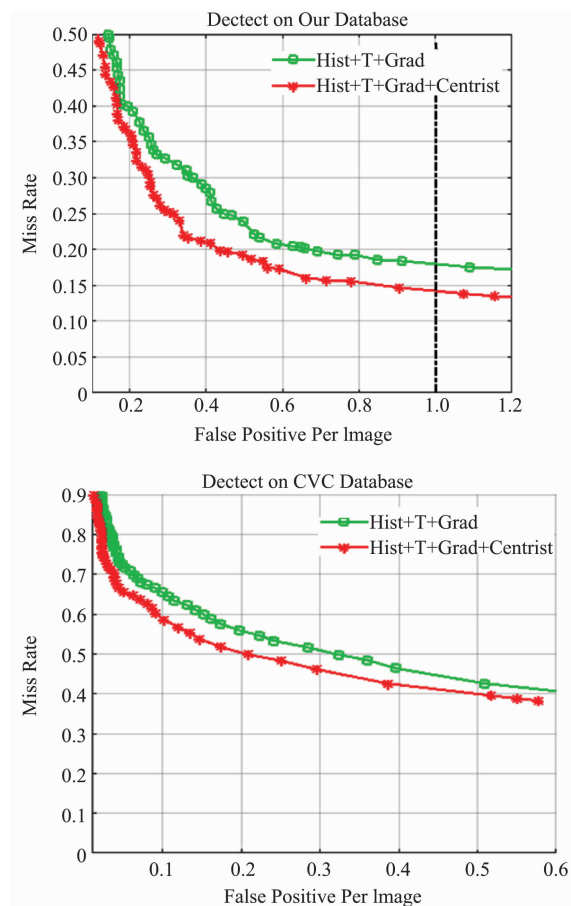


图 8 两种算法在不同行人库的性能对比

经过测试对比可以看到，CENTRIST 特征描述子的使用对于红外行人检测的性能有明显的改善。在两个数据集上的测试结果表明，使用 CENTRIST 特征的检测算法在 fppi 为 0.4 时，漏检率 MR 大约降低 5%，并且在自己构建的数据集上取得了很高的检测精度。由于 CVC 的红外行人数据集标注了包含不同尺寸规模的行人和有不同程度遮挡的目标，由检测器训练的数据集差别较大，因此算法在该数据集上的性能有所降低。

图 9 是不同场景下两种检测算法的检测结果对比。其中 (b)、(d) 是不使用 CENTRIST 描述子的检测结果。与 (a) 检测结果相比，(b)

中将树干误检为行人; 与(d)与(c)相比存在漏检的情况, 进一步说明 CENTRIST 描述子的使用增强了对目标的描述能力。

3 总结

针对红外夜视仪系统中行人检测识别率低的问题, 在分析基于通道特征检测框架的基础上, 根据红外图像中行人轮廓显著的特点, 提出了使用 CENTRIST 描述符的改进方法。通过在不同红外行人数据集上的验证, 证明该方法在性能上比原有框架以及其他传统检测算法有了很大提升。

参考文献

- [1] Dalal N, Triggs B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection [C]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, 2005.
- [2] Omalley R, Jones E, Glavin M. Detection of Pedestrians in Far-infrared Automotive Night Vision Using Region-growing and Clothing Distortion Compensation [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2010, **53**(6): 439–449.
- [3] Hurney P, Waldron P, Morgan F, et al. Night-time Pedestrian Classification with Histograms of Oriented Gradients-local Binary Patterns Vectors [J]. *Iet Intelligent Transport Systems*, 2015, **9**(1): 75–85.
- [4] Baek J, Hong S, Kim J, et al. Efficient Pedestrian Detection at Nighttime Using a Thermal Camera [J]. *Sensors* (Basel, Switzerland), 2017, **17**(8): 1850.
- [5] Dollár P, Tu Z, Perona P, et al. Integral Channel Features [C]. British Machine Vision Conference, 2009.
- [6] Dollar P, Wojek C, Schiele B, et al. Pedestrian Detection: A Benchmark [C]. Computer Vision and Pattern Recognition, 2009: 304–311.
- [7] Dollár P, Appel R, Belongie S, et al. Fast Feature Pyramids for Object Detection [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine In-*

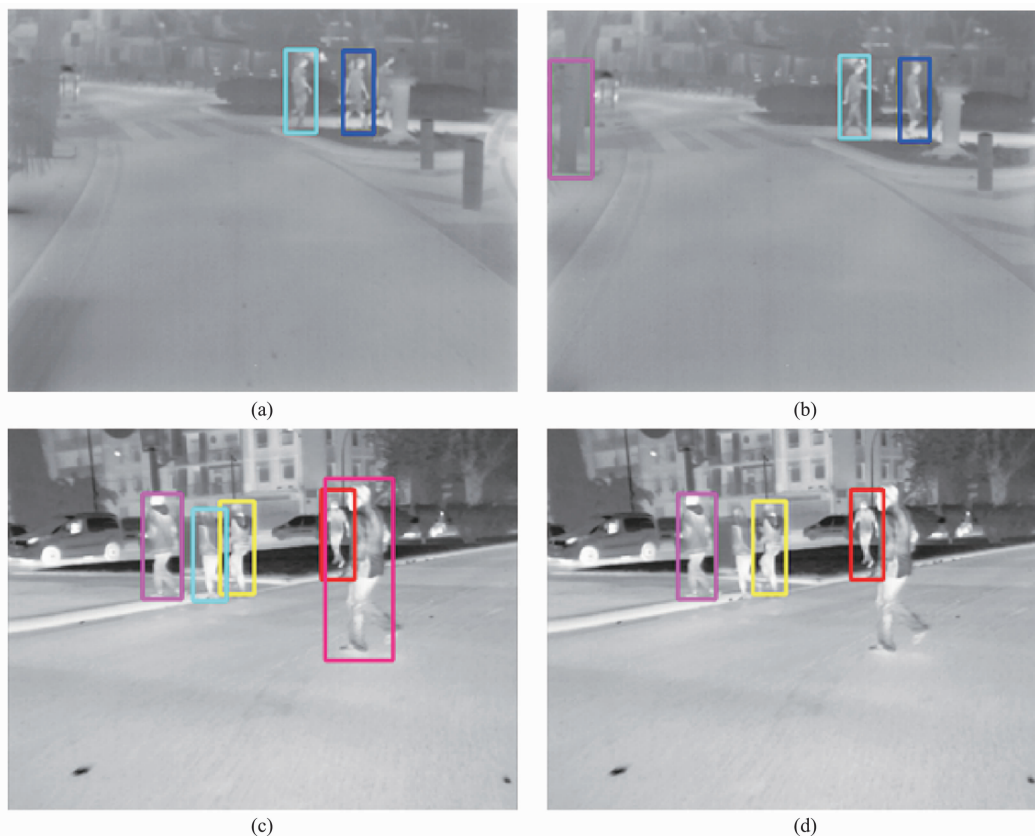


图 9 不同场景检测结果示例

- telligence, 2014, **36**(8): 1532–1545.
- [8] Hwang S, Park J, Kim N, et al. Multispectral Pedestrian Detection: Benchmark Dataset and Baseline [C]. Computer Vision and Pattern Recognition, 2015. 1037–1045.
- [9] Biswas S K, Milanfar P. Linear Support Tensor Machine: Pedestrian Detection in Thermal Infrared Images [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2016:99.
- [10] González A, Fang Z, Socarras Y, et al. Pedestrian Detection at Day/Night Time with Visible and FIR Cameras: A Comparison [J]. *Sensors*, 2016, **16**(6): 820.
-
- (上接第 24 页)
- [3] Liu H C, Murarka S P. Elastic and Viscoelastic Analysis of Stress in Thin Films [J]. *Journal of Applied Physics*, 1992, **72**(8):3458–3463.
- [4] Freund L B. Some Elementary Connections between Curvature and Mismatch Strain in Compositionally Graded Thin Films [J]. *Journal of the Mechanics & Physics of Solids*, 1996, **44**(5): 723–736.
- [5] Hsueh C H. Modeling of Elastic Deformation of Multilayers Due to Residual Stresses and External Bending [J]. *Journal of Applied Physics*, 2002, **91**(12):9652–9656.
- [6] Teixeira V. Mechanical Integrity in PVD Coatings Due to the Presence of Residual Stresses [J]. *Thin Solid Films*, 2001, **392**(2):276–281.
- [7] Gao C, Zhao Z, Li X. Modeling of Thermal Stresses in Elastic Multilayer Coating Systems [J]. *Journal of Applied Physics*, 2015, **117**(5):R53–R80.
- [8] Teixeira V, Andritschky M, Fischer W, et al. Effects of Deposition Temperature and Thermal Cycling on Residual Stress State in Zirconia-based Thermal Barrier Coatings [J]. *Surface & Coatings Technology*, 1999, 120–121:103–111.
- [9] Townsend P H, Barnett D M, Brunner T A. Elastic Relationships in Layered Composite Media with Approximation for the Case of Thin Film on a Thick Substrate [J]. *Journal of Applied Physics*, 1987, **62**(11):4438–4444.
- [10] Chang K H, Kim S H. Derivation of the Center-wavelength Shift of Narrow-Bandpass Filters under Temperature Change [J]. *Optics Express*, 2004, **12**(23):5634.
- [11] Hsueh C H. Thermal Stresses in Elastic Multilayer Systems [J]. *Thin Solid Films*, 2002, **418**(2):182–188.
- [12] 张麟, 倪榕, 黄春, 等. 中心波长 14.95 μm 超窄带滤光片的研制 [J]. *光学学报*, 2014, **34**(7): 314–317.
- [13] Houston B, Strakna R E, Belson H S. Elastic Constants, Thermal Expansion, and Debye Temperature of Lead Telluride [J]. *Journal of Applied Physics*, 1968, **39**(8):3913–3916.
- [14] Chung D H, Buessem WMR. The Voigt-Reuss-Hill Approximation and Elastic Moduli of Polycrystalline MgO, CaF₂, ZnS, ZnSe, and CdTe [J]. *Journal of Applied Physics*, 1967, **38**(6): 2535–2540.
- [15] Moriaki W, Keiei K, Takehisa S. 周海宪, 程云芳, 译. *光学材料手册* [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010:213–218.